

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE OPERACIONAL E
ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS
AVANÇADAS DE RADIOTERAPIA EM
MEDICINA VETERINÁRIA**

BIANCA DE FÁTIMA PINHEIRO FABRI RAMOS

**Botucatu - SP
Dezembro 2022**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE OPERACIONAL E
ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS
AVANÇADAS DE RADIOTERAPIA EM
MEDICINA VETERINÁRIA**

BIANCA DE FÁTIMA PINHEIRO FABRI RAMOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Animais Selvagens da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, para obtenção do Título de Doutora.

Orientador: Prof. Associado Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes

Botucatu - SP
Dezembro 2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Ramos, Bianca de Fátima Pinheiro Fabri.

Estudo da viabilidade operacional e econômica da
implantação de técnicas avançadas de radioterapia em
medicina veterinária / Bianca de Fátima Pinheiro Fabri
Ramos. - Botucatu, 2022

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina
Veterinária e Zootecnia

Orientador: Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Capes: 50501038

1. Radioterapia. 2. Animais selvagens. 3. Medicina
veterinária. 4. Oncologia veterinária.

Palavras-chave: Administração da prática veterinária;
Animais selvagens; Radioterapia.

BIANCA DE FÁTIMA PINHEIRO FABRI RAMOS**ESTUDO DA VIABILIDADE OPERACIONAL E ECONÔMICA DA
IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE RADIOTERAPIA EM
MEDICINA VETERINÁRIA**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Animais Selvagens

Orientador: Prof. Associado Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes

Comissão examinadora (Titulares)

Prof. Associado Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Departamento de Infectologia, Dermatologia, Diagnóstico por
imagem e Radioterapia
FMB – UNESP – Botucatu

Profa. Associada Dra. Vania Maria de Vasconcelos Machado
Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal
FMVZ – UNESP – Botucatu

Prof. Titular Dr. Vidal Haddad Junior
Departamento de Infectologia, Dermatologia, Diagnóstico por
imagem e Radioterapia
FMB – UNESP – Botucatu

Prof. Dr. Rodrigo Sanchez Giarola
Faculdade de Tecnologia de Botucatu
FATEC – Centro Paula Souza

Prof. Dr. Carlos Alberto Zeituni
Centro de Tecnologia das Radiações
Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – IPEN/CNEN
USP

Botucatu, 08 de dezembro de 2022

Comissão examinadora (Suplentes)

Profa. Dra. Talita Salles Coelho
Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – IPEN/CNEN-
USP

Prof. Associado Dr. Joel Mesa Hormaza
Departamento de Física e Biofísica
IBB – UNESP – Botucatu

Profa. Titular Dra. Sheila Canevese Rahal
Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal
FMVZ – UNESP – Botucatu

Botucatu, 08 de dezembro de 2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Padre Orestes Gomes Filho (*In memoriam*), por ser meu maior exemplo e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me guiar e proteger sempre.

Meus pais, Ione Antunes da Silva Pinheiro e Sebastião Gomes Pinheiro, pelos bons exemplos, apoio e amor.

Ao meu esposo Matheus Fabri, meus sogros, Angela Fabri Ramos e José Ramos, pelo incentivo.

Meu orientador Dr. Marco Antonio Rodrigues Fernandes, pelos ensinamentos e partilha, e por me acompanhar desde a graduação, orientando na minha evolução acadêmica.

Aos professores da FMVZ-Botucatu e ao Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens por todo conhecimento compartilhado.

Aos amigos que ganhei nesse período de doutorado, de modo especial, Letícia Rodrigues e Maria Fabiana Almeida. Nossas conversas foram enriquecedoras e terapêuticas.

Ao Setor de Radioterapia do HC de Botucatu-SP, especialmente a minha amiga Rafaela Camargo, por me instruir no período de acompanhamento de rotina, além de toda a amizade e consideração.

Ao Guilherme Bulgraen, Vander Berti, Roberto Soares e Simone Cunha que me forneceram informações e ensinamentos fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Ao Michel Vettorato e Jéssica Fogaça, por compartilharem comigo suas experiências da Pós-Graduação.

Enfim, agradeço a todos que de maneira direta e indireta contribuíram com este trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Não é na ciência que está a felicidade, mas
na aquisição da ciência”.
(Edgar Allan Poe)*

*“O que fazemos para nós, morre conosco. O
que fazemos pelos outros e pelo
mundo, continua e é imortal”.
(Albert Pine)*

*“Cada pessoa deve trabalhar para o seu
aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo,
participar da responsabilidade coletiva por
toda a humanidade”.
(Marie Curie)*

RAMOS, B. F. P. F. **ESTUDO DA VIABILIDADE OPERACIONAL E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE RADIOTERAPIA EM MEDICINA VETERINÁRIA**. Botucatu, 2022. 105p. Tese (Doutorado) Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO: Esse trabalho apresenta as principais modalidades disponíveis de radioterapia, seus benefícios e suas aplicações nas práticas da oncologia veterinária, além de analisar a viabilidade operacional e econômica da implantação e manutenção de serviços de radioterapia veterinária. A pesquisa ilustra também as normas técnicas para a implantação de um serviço de radioterapia, conforme preconizam os órgãos regulamentadores. Os valores referentes a construção do serviço, equipamentos e acessórios foram consultados junto aos profissionais, empresas e fornecedores do ramo. As rotinas dos serviços de radioterapia aplicados na medicina humana foram acompanhadas na modalidade convencional em um serviço público e nas modalidades avançadas em um serviço privado. Foram analisados os prontuários dos animais atendidos no Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens-CEMPAS da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da Unesp de Botucatu, com foco nos casos oncológicos. Para melhor compreender a rotina de um serviço de radioterapia veterinária, analisou-se as informações fornecidas por uma clínica especializada e já consolidada nesta modalidade. Durante o trabalho foi elaborado um Guia de Orientação para a implantação de um Serviço de Radioterapia Veterinária. Os resultados mostram a necessidade da atuação de uma equipe qualificada e especializada durante todo o processo de implantação e funcionamento do serviço. Os equipamentos e acessórios radioterápicos são similares aos usados na radioterapia humana, os custos serão proporcionais ao nível de tecnologia aplicada. No caso da FMVZ, a implantação de um serviço de radioterapia beneficiaria além dos casos oncológicos, também o desenvolvimento de pesquisas e estudos que envolvam radiações ionizantes. Concluí-se que a radioterapia aplicada na medicina veterinária é exequível, tendo em vista a crescente busca por melhor qualidade de vida das diferentes espécies de animais e o avanço tecnológico. Essa técnica demanda um alto investimento, e é pouco difundida no Brasil, todavia, tem ganhado notoriedade com o crescente aumento de pesquisas na área.

Palavras-chave: Radioterapia, Administração da prática veterinária; Animais selvagens.

RAMOS, B. F. P. F. **ESTUDO DA VIABILIDADE OPERACIONAL E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE RADIOTERAPIA EM MEDICINA VETERINÁRIA**. Botucatu, 2022. 105p. Tese (Doutorado) Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT: This study presents the main available modalities of radiotherapy, their benefits and applications in the practice of veterinary oncology, besides analyzing the operational and economic feasibility of implementation and maintenance of veterinary radiotherapy services. The research also illustrates the technical standards for the implementation of a radiotherapy service, as recommended by the regulatory agencies. The values referring to the construction of the service, equipment and accessories were consulted with professionals, companies and suppliers in the field. The routines of radiotherapy services applied to human medicine were followed in the conventional modality in a public service and in the advanced modalities in a private service. The medical records of animals treated at the Center for Medicine and Research in Wild Animals (CEMPAS) of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (FMVZ/UNESP) of Botucatu were analyzed, focusing on oncological cases. In order to better understand the routine of a veterinary radiotherapy service, the information provided by a specialized and already consolidated clinic in this modality was analyzed. During the work, an Orientation Guide for the implementation of a Veterinary Radiotherapy Service was developed. The results show the necessity of the performance of a qualified and specialized team during the whole process of implantation and operation of the service. The radiotherapeutic equipment and accessories are similar to those used in human radiotherapy, and the costs will be proportional to the level of technology applied. In the case of FMVZ, the implementation of a radiotherapy service would benefit not only oncological cases, but also the development of research and studies involving ionizing radiation. We conclude that radiotherapy applied to veterinary medicine is feasible, considering the increasing search for a better quality of life of different animal species and the technological advances. This technique demands a high investment, and is little diffused in Brazil; however, it has gained notoriety with the growing increase of research in the area.

Keywords: Radiotherapy; Veterinary practice administration; Wild animals.

Th	Tório
TLC	Taxa de Licenciamento e Controle
TLI	Taxa de Licença de Importação
TPaaS	<i>Treatment Planner as a Service</i>
TPS	Sistema de Planejamento de Tratamento
U	Urânio
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
VMAT	Radioterapia em Arco Modulado Volumétrico

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Limites de doses anuais.....	17
Tabela 2. Tecnologia feixe de elétrons.....	27
Tabela 3. Tecnologia RT-3D	28
Tabela 4. Tecnologia IMRT.....	28
Tabela 5. Tecnologia IGRT.....	29
Tabela 6. Tecnologia SBRT.....	29
Tabela 7. Classificação tumoral por radiosensibilidade.....	32
Tabela 8. Simplificação dos cargos e responsabilidades para o serviço de radioterapia veterinária.....	44
Tabela 9. Quantidade de pacientes atendidos no CEMPAS	61
Tabela 10. Casos oncológicos conclusivos nas espécies atendidas no Cempas (26/05/2015 – 29/11/2021).....	61
Tabela 11. Neoplasias não especificadas ou inconclusivas das espécies atendidas no CEMPAS (26/05/2015 – 29/11/2021).....	62
Tabela 12. Principais tratamentos realizados no centro radioterápico do Rio de Janeiro-RJ.....	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Radiografia da mão da esposa de Roentgen	4
Figura 2. Chapa revelada por Becquerel.....	5
Figura 3. Casal Pierre Curie e Marie Curie.....	5
Figura 4. Poder de penetração das partículas.....	6
Figura 5. Aparelho de telecobaltoterapia do HC-FMB.....	10
Figura 6. Acelerador linear do HC-FMB.....	10
Figura 7. Exemplos de acessórios utilizados na rotina de radioterapia em humanos. (a) rampa de mama; (b) filtro em cunha; (c) máscara termoplástica; (d) suportes de apoio de cabeça e pescoço; (e) colchão à vácuo; (f) bólus.....	16
Figura 8. Tigre (<i>Panthera tigris</i>) imobilizado e posicionado para a radioterapia...	31
Figura 9. Linha do tempo das pesquisas com radioterapia veterinária na Unesp (FMVA e FMVZ).....	34
Figura 10. Fluxograma simplificado com os passos para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária	40
Figura 11. Exemplos de sistemas de segurança do Setor de Radioterapia do HC-FMB. a) sinalização luminosa fora da sala, com a luz vermelha indicando que o feixe de radiação está ligado; luz verde que indicará quando o feixe de radiação estiver desligado; avisos indicando a proibição da entrada de pessoas não autorizadas; b) dispositivos que possibilitam o acompanhamento e observação do paciente durante o tratamento	43
Figura 12. Planta baixa de um serviço de radioterapia.	46
Figura 13. Principais acessórios utilizados para imobilização e posicionamento na radioterapia veterinária. a) Exemplos de modelos de colchões a vácuo; b) exemplos de modelos de máscaras termoplásticas disponíveis; c) bomba a vácuo; d) aquecedor de água usado na moldagem das máscaras termoplásticas; e) base desenvolvida para fixação das máscaras termoplásticas durante o tratamento.....	49

Figura 14. Acelerador Linear - serviço particular da cidade de São Paulo. A) Acelerador Linear com a mesa 6D (seta amarela) e o <i>phantom</i> (seta vermelha) utilizado no controle de qualidade; B) Parte traseira do equipamento (sistemas elétricos); C) US utilizado para guiar o procedimento por imagem em casos específicos, como por exemplo, em tratamento da próstata; D) mesa de comandos, onde ocorre a liberação da dose e acompanhamento do paciente durante o tratamento.	51
Figura 15. Sensores, <i>lasers</i> (seta verde) e câmeras (seta azul) na sala de tratamento.....	52
Figura 16. Armário organizado com os acessórios de posicionamento e imobilização.....	54
Figura 17. Simulador para planejamento radioterápico	55
Figura 18. Tomógrafo adaptado para planejamento radioterápico.....	56
Figura 19. Sequência de aquisições das imagens no planejamento radioterápico.	57
Figura 20. Acessórios moldados de acordo com a anatomia do paciente. A) colchão a vácuo moldado para paciente; B) máscara termoplástica moldada e marcada para paciente.	58
Figura 21. Aplicadores de elétrons e blocos de chumbo. A) Diferentes tamanhos de aplicadores de elétrons (utilizados para lesões mais superficiais); B) blocos de chumbo construídos com o formato das lesões dos pacientes..	58
Figura 22. Portal para realização da imagem no setor de técnico de radioterapia do HC-FMB... ..	59
Figura 23. Mesa de comandos do Setor Técnico de radioterapia do HC-FMB... ..	60
Figura 24. Origem dos animais oncológicos atendidos no CEMPAS no período de (26/05/2015 – 29/11/2021).....	64
Figura 25. Projeções das paredes da sala de radioterapia. a) Sala projetada com a parede labirinto; b) Sala projetada sem a parede labirinto.....	67

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
Abstract	viii
LISTA DE ABREVIACÕES.....	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos Gerais.....	2
1.1.1 Objetivos Específicos	2
1.2 Justificativas.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Breve histórico da radiação.....	4
2.2 Breve histórico da Radioterapia.....	7
2.3 Radioterapia – conceitos gerais	8
2.3.1 Braquiterapia.....	9
2.3.2 Teleterapia convencional	9
2.3.3 Radioterapia conformacional tridimensional (RT-3D).....	11
2.3.4 Radioterapia por intensidade modulada (IMRT).....	11
2.3.5 Radioterapia em arco modulado volumétrico (VMAT).....	12
2.3.6 Radioterapia guiada por imagem (IGRT)	12
2.3.7 Radioterapia estereotáxica fracionada corpórea (SBRT).....	13
2.3.8 Radiocirurgia.....	13
2.3.9 Radioterapia Intraoperatória (IORT).....	14
2.4 Planejamento radioterápico.....	15
2.5 Posicionamento radioterápico.....	15
2.6 Controle de qualidade em radioterapia.....	16
2.7 Proteção radiológica em radioterapia.....	17
2.8 Oncologia veterinária.....	18
2.9 Câncer em animais selvagens – diagnóstico e abordagem terapêutica	20
2.10 Radioterapia aplicada na veterinária.....	22
2.11 Radioterapia aplicada em animais selvagens	29
2.12 Estudos sobre a radioterapia aplicada na medicina veterinária realizados na FMVZ-Unesp-Botucatu-SP	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 Pesquisa Bibliográfica.....	34
3.2 Acompanhamento de rotina	34
3.3 Levantamento de custos, acompanhamento das técnicas avançadas de radioterapia e radioterapia veterinária.....	36
3.4 Estudo legais e normativos para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária	36
3.5 Elaboração de um Guia de Orientação para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária	37
4. RESULTADOS	37
4.1 Estudos legais e normativos para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária	37
4.1.1 Projeto arquitetônico	41

4.1.2 Responsabilidades do serviço de Radioterapia	43
4.1.3 Taxas cobradas pela CNEN	45
4.2 Análise de projeto arquitetônico – aspectos econômicos	46
4.3 Contato com fornecedores de equipamentos e acessórios	47
4.4 Acompanhamento da rotina de radioterapia com técnicas avançadas	50
4.5 Acompanhamento das rotinas na radioterapia do HC-FMB e Cempas-FMVZ	54
4.5.1 Rotina no Setor Técnico de Radioterapia do HC-FMB	54
4.5.2 Análise de prontuários do CEMPAS-FMVZ	60
4.6 Contato com serviço de radioterapia veterinária no Brasil	64
5. DISCUSSÃO	66
6. CONCLUSÕES	71
7. BIBLIOGRAFIA	72
ANEXO I	83
Atestado da CEUA	83
APÊNDICE I	84
Guia de Orientação para Implantação de um Serviço de Radioterapia Veterinária	84
APÊNDICE II	94
Artigo Científico	94

1. INTRODUÇÃO

A medicina veterinária em seu importante papel de diagnóstico e tratamento das diferentes doenças, apresenta também o uso de fontes de radiações ionizantes na terapêutica veterinária com resultados eficientes, principalmente nos casos oncológicos (SILVA *et al.*, 2015).

Os constantes avanços tecnológicos no campo da saúde têm proporcionado o desenvolvimento de modernos e sofisticados equipamentos e medicamentos que são prontamente absorvidos pelos clínicos veterinários (FERNANDES, 2018).

A radioterapia é a modalidade médica que utiliza fontes de radiações ionizantes no tratamento de doenças (SCAFF, 2010). Estas fontes de radiação podem liberar feixes de raios X ou de raios gama de alta energia e alto poder de penetração, com capacidade de atravessar o tecido humano ou mesmo as estruturas físicas as quais ele atinge (KHAN, 2003). Os procedimentos radioterápicos dividem-se em duas modalidades: a teleterapia e a braquiterapia (SALVAJOLI, 2013). Na teleterapia, a fonte de radiação está posicionada a certa distância do volume alvo de irradiação, equivalente ao ponto geométrico do isocentro da máquina de tratamento, que em aparelhos do tipo acelerador linear é de 100,0 cm e nas Unidades de Telecobaltoterapia é de 80,0 cm. Na braquiterapia, a fonte de radiação fica próxima ou mesmo no interior do tumor (FERNANDES, 2000).

Em ambas as modalidades de radioterapia, o uso de fontes de radiação de alta energia requer cuidados especiais do ponto de vista de proteção radiológica, que visam principalmente minimizar os efeitos radiobiológicos indesejáveis, aos quais estão sujeitos todos aqueles que se utilizam destes procedimentos médicos, tanto pacientes, quanto profissionais da área ou indivíduos do público (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000).

Estudos anteriormente desenvolvidos na Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba (FMVA-Unesp) e Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu (FMVZ-Unesp) por Fernandes (2000); Fernandes *et al.* (2010); Fernandes; Andrade (2014); Vetoratto (2016); Fernandes (2018); Silva (2018); Ferreira (2019); Carvalho (2019); Vetoratto (2020), difundiram os

conhecimentos da radioterapia perante a comunidade veterinária, no tocante às técnicas aplicadas e preceitos de proteção radiológica para o manuseio seguro destes feixes de radiação. Todavia, a literatura da área da oncologia veterinária ainda carece de informações mais precisas quanto aos custos de implantação e manutenção de um serviço de radioterapia dedicado à medicina veterinária, frente às especificidades dos equipamentos e procedimentos radioterápicos disponíveis e que possam ser ajustados para a prática da oncologia animal.

Este trabalho realizou um estudo detalhado da viabilidade operacional e econômica da implantação e manutenção de serviços de radioterapia veterinária, avaliando custos de equipamentos, procedimentos e de equipe de profissionais especializados, frente aos diferentes procedimentos e técnicas radioterápicas que possam ser incorporadas na rotina da medicina veterinária.

1.1 Objetivos Gerais

Analisar a viabilidade operacional e econômica da implantação e manutenção de serviços de radioterapia veterinária.

Compreender o mercado da radioterapia aplicada na medicina veterinária.

Divulgar as técnicas, os benefícios e as aplicações de radioterapia nas práticas da oncologia veterinária.

1.1.1 Objetivos Específicos

Avaliar os custos de equipamentos, procedimentos e de equipe de profissionais especializados, necessários para a execução dos diferentes procedimentos e técnicas radioterápicas, visando suas incorporações na rotina da medicina veterinária.

Desenvolver um Guia de Orientação, detalhando os passos para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária, desde a obtenção das respectivas autorizações dos órgãos fiscalizadores e regulamentadores envolvidos, etapas de construção, até a efetivação da operacionalização dos procedimentos radioterápicos adotados.

Contribuir para o incremento da assistência oncológica de animais atendidos na FMVZ.

1.2 Justificativas

Os profissionais da comunidade veterinária carecem de informações detalhadas quantos aos requisitos e custos da implantação de um serviço de radioterapia veterinária.

O desenvolvimento desta pesquisa contribui para que estes profissionais possam compreender de forma mais integral a viabilidade e os benefícios da prática radioterápica nas suas respectivas especialidades.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Breve histórico da radiação

Foi por meio de estudos de descarga elétrica com tubos de raios catódicos (tubo de *Crookes*) que o professor universitário de Física Wilhelm Conrad Roentgen em 1895 notou uma fraca luminescência na tela ao aplicar uma diferença de potencial entre os eletrodos do tubo, além disso, uma placa de vidro que estava distante do tubo também estava luminescente (DEYLLLOT, 2014). A partir daí, Roentgen realizou vários testes com diversos objetos de estudo, concluindo que os raios catódicos não eram os responsáveis pela luminescência, e sim raios mais potentes emitidos pelo tubo, capazes de atravessar matérias e que, no entanto, ainda não eram conhecidos, portanto, denominou-os de raios X (OKUNO, 2018).

Na Figura 1 é apresentada a primeira radiografia realizada na mão da esposa de Roentgen.



FIGURA 1 - Radiografia da mão da esposa de Roentgen. Fonte: MARTINS, 1998.

Henri Becquerel, outro pesquisador renomado e com experiência em materiais fosforescentes, deu continuidade em seus experimentos a partir da divulgação da descoberta dos raios X. Becquerel realizou estudo com sal de urânio, e notou que mesmo sem ter exposto o material ao sol havia exposição na chapa fotográfica (apresentado na Figura 2) igualmente as expostas ao sol,

verificando que a radiação teria sido emitida pelo próprio material sal de urânio (MALLEY, 2019).



FIGURA 2 – Chapa revelada por Becquerel. Fonte: ANDRÉ, 2012.

No ano de 1898, dois pesquisadores, Gehardt Carl Schmitd e Marie Sklodowska Curie, de forma independente saíram a procura de outros materiais que emitissem radiação, descobrindo que assim como o urânio (U) o tório (Th) também emite radiação. Curie deu o nome a esse fenômeno de Radioatividade, sendo os elementos com essa propriedade denominados de elementos radioativos. Após alguns meses, em continuidade com suas buscas aos elementos radioativos, Marie Curie e seu esposo Pierre Curie (Figura 3), descobriram o polônio (Po) e o rádio (Ra) (MARTINS, 1998).



FIGURA 3 – Casal Pierre Curie e Marie Curie. Fonte: BRASIL ESCOLA, c2021.

Seguindo as mesmas linhas de pesquisa, vários cientistas foram contribuindo e aperfeiçoando as descobertas, verificando que os elementos radioativos possuem um núcleo com grande quantidade de energia e, para se estabilizarem, emitem partículas que se diferenciam na sua forma e poder de

penetração (Figura 4), sendo denominadas partículas alfa, beta e ondas eletromagnéticas gama (CARDOSO *et al.*, 2010).

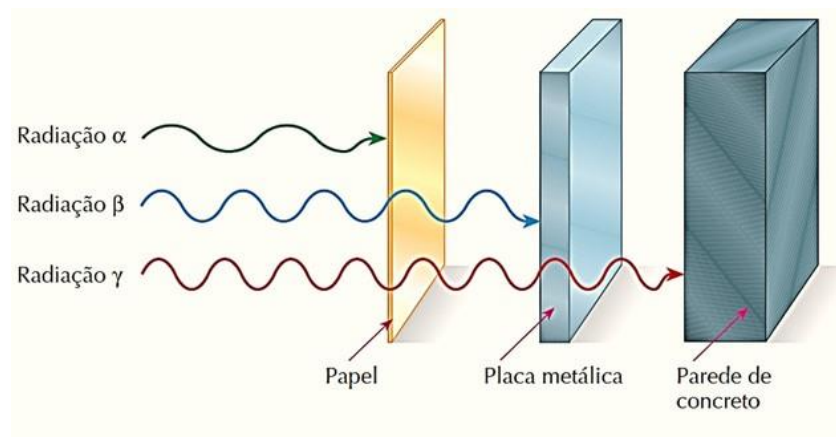


FIGURA 4 – Poder de penetração das partículas. Fonte: BATISTA, 2020.

Com destaque em seus estudos, os cientistas Ernest Rutherford juntamente com Frederick Soddy foram responsáveis na elaboração da teoria da desintegração radioativa, a qual mostra que com a emissão dos raios alfa e beta o elemento se transforma em outro, em consequência diminuindo a sua atividade (OKUNO, 2018).

Dando continuidade a herança genética deixada pelo casal Curie, sua filha Irène Curie e seu esposo Frédéric Joliot-Curie, em 1934 conseguem produzir artificialmente elementos radioativos, por meio de bombardeamento de núcleos estáveis, mostrando então a possibilidade de se criar radioisótopos inexistentes na natureza (XAVIER *et al.*, 2007).

No Brasil o primeiro aparelho de raios X foi comprado em 1897 pelo médico José Carlos Ferreira Pires, e instalado na cidade de Formiga-MG. O tempo aproximado para uma radiografia de tórax era de 30 minutos (FRANCISCO *et al.*, 2006).

2.2 Breve histórico da Radioterapia

Foi em 1896 que o então estudante de medicina Emil Grubbe, após ter testado o uso da radiação de maneira terapêutica para o tratamento de uma dermatite em suas próprias mãos, testou o tratamento com radiação em uma paciente com câncer de mama, expondo-a quase uma hora, e mesmo Grubbe protegendo os tecidos vizinhos, foi observado efeitos radiobiológicos tanto na paciente, quanto nos operadores do equipamento, marcando então o início da radioterapia externa, assim como também lançando uma maior importância para os efeitos nocivos da radiação (LEDERMAN, 1981).

Em 1901 Becquerel se queimou com o elemento radioativo rádio acidentalmente e pouco tempo depois Curie sugere o uso do rádio (Ra) para tratamentos de tumores. Mas, foi em 1911 que estudiosos aplicaram os conhecimentos sobre a utilização de um elemento radioativo em contato direto com algumas doenças, e foram ao decorrer do tempo, aprimorando seus métodos de aplicações e elementos radioativos utilizados, dando início a modalidade radioterápica conhecida como braquiterapia (GARZÓN; NIGORRA, 1995).

Em 1951 um equipamento denominado “Bomba de Cobalto” entrava em funcionamento. Seu nome é em razão de na época sua blindagem ser em uma carcaça de bomba. A unidade de telecobaltoterapia apresenta uma baixa complexidade se comparada com equipamentos como o acelerador linear (AL), assim como limitações. (GARZÓN, 1995; LAUGHLIN, 1989).

No decorrer dos anos a radioterapia foi fonte de muitos estudos, nos quais vários equipamentos foram surgindo para aprimoramento e eficácia no resultado. Como consequência do esforço desses estudiosos, em 1953 foi instalado em um hospital na Inglaterra o primeiro equipamento do tipo AL. Esse equipamento possuía um sistema moderno que permitia o giro completo em torno do paciente, fornecendo uniformidade das doses e delimitação de campo. Tanto foi a eficácia do AL que após melhorias aliadas ao avanço tecnológico, ele é até os dias atuais o de maior prevalência nos tratamentos (LAUGHLIN, 1989).

No Brasil, foi em 1901 no Rio Grande do Sul que o primeiro paciente foi tratado usando um equipamento de raios X. Mas foi na década de 20 quando a radioterapia já estava se estabelecendo e mostrando seus resultados pelo mundo que o Brasil criou então seu primeiro centro de tratamento do câncer, localizado em Minas Gerais e denominado Instituto Radium, inaugurado em 1923. Vários estados brasileiros impulsionados por seus médicos pesquisadores foram inaugurando seus próprios centros de radioterapia com diferentes tipos de aparelhos. No ano de 1954 foi instalada a primeira unidade de telecobaltoterapia do Brasil e da América Latina (CUPERSCHMID; CAMPOS, 2005).

Atualmente duas empresas se destacam no ramo de radioterapia (Varian Medical Systems e Elekta Medical Systems), sendo que ambas possuem seus próprios equipamentos, *softwares* e tecnologias, demandando formação específica para o seu manuseio.

2.3 Radioterapia – conceitos gerais

As radiações ionizantes são ondas eletromagnéticas capazes de interagir com o átomo e remover um elétron de sua órbita, sendo esse processo denominado de ionização. Portanto, o contato da radiação ionizante com a matéria consiste na transferência de energia, gerando uma excitação e ionização das células, causando por consequência a destruição ou diminuição do crescimento da mesma (SALVAJOLI; SOUHAMI; FARIA, 2013).

A radioterapia é um tratamento no qual se aplica radiação ionizante no tumor para destruir ou diminuir o seu desenvolvimento, causando o menor dano possível nas células sadias circunvizinhas, sendo dividida em duas modalidades: braquiterapia e teleterapia (INCA, 2020).

2.3.1 Braquiterapia

Na braquiterapia a fonte de radiação selada é acondicionada em molde específico para então ser colocada próxima ou no íntimo da lesão tratada. A radiação beta (betaterapia) é utilizada no tratamento de lesões superficiais, por conta do seu curto alcance. A radiação gama é utilizada para tratar tumores maiores e mais profundos (FERNANDES,2000).

2.3.2 Teleterapia convencional

Na teleterapia convencional a fonte de radiação fica a uma distância do paciente, de 80 cm (equipamentos de telecobaltoterapia) a 100 cm (acelerador linear). Os feixes de radiação são fracionados em baixas doses e distribuídos em sessões e no momento da aplicação são direcionados para o local do tumor, atravessando a pele do paciente para atingir o alvo (SALVAJOLI, 2012).

A fonte de radiação pode girar até 360° ao redor do isocentro (ponto definido para o tratamento), portanto, para o projeto de um centro radioterápico é necessário que o físico médico especializado realize os cálculos de blindagens da sala que receberá o equipamento, considerando a dose de radiação que as paredes (laterais, teto, porta) possam receber, definindo assim as suas espessuras (FERNANDES, 2018).

O aparelho de telecobaltoterapia contém o radioisótopo cobalto-60 encapsulado dentro de uma blindagem de 2cm de diâmetro e 2cm de altura, sendo somente exposta quando o aparelho é ligado e o colimador se abre. Os equipamentos de telecobaltoterapia mais modernos possibilitam que tanto o cabeçote quanto o *gantry* sejam movimentados, permitindo que não ocorra alteração de posição no paciente, aumentando a reprodutibilidade do tratamento (INCA, 2010).

A Figura 5 mostra o aparelho de telecobaltoterapia da marca GE-CGR-MEV, modelo ALCYON-II, do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu-SP (HC-FMB).



FIGURA 5 – Aparelho de telecobaltoterapia do HC-FMB. Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

O AL é um equipamento mais sofisticado quando comparado ao aparelho de telecobaltoterapia, podendo emitir energias maiores, ou seja, mais penetrantes. Para que ocorra a produção dos raios X, o acelerador linear utiliza a interação de elétrons com o alvo metálico. A aceleração dos elétrons em alta velocidade é realizada em um tubo a vácuo. Os elétrons chocam-se com um alvo metálico, desacelerando e liberando energia. Para que sejam feixes homogêneos, após a produção eles são selecionados e colimados por sistemas específicos (BERDAKY, 2000).

A Figura 6 mostra o acelerador linear da marca Varian, modelo 2100C, utilizado no HC-FMB.



FIGURA 6 – Acelerador linear do HC-FMB. Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

Com o avanço tecnológico e a necessidade de aperfeiçoamentos foram surgindo métodos sofisticados de aquisição de imagem para a visualização da área irradiada e maior preservação dos tecidos sadios, além de sistemas avançados para uma distribuição de dose mais homogênea, ganhando espaço as técnicas avançadas de radioterapia, que são cada vez mais aplicadas na medicina (MARTA *et al.*, 2014).

2.3.3 Radioterapia conformacional tridimensional (RT-3D)

A radioterapia conformacional tridimensional utiliza as imagens criadas por tomografia computadorizada (TC) ou ressonância magnética (RM), possibilitando a visualização volumétrica da região tratada, permitindo que sejam criados múltiplos feixes de radiação que são distribuídos de maneira uniforme no tumor, resguardando os tecidos adjacentes sadios e otimizando o tratamento (MACKIE *et al.*, 2003; CARVALHO *et al.*, 2009).

2.3.4 Radioterapia por intensidade modulada (IMRT)

A radioterapia por intensidade modulada é o avanço da RT-3D, já que além da visualização volumétrica da área tratada, também permite que no momento do tratamento os feixes de radiação sejam modulados de maneira computacional, facilitando o tratamento de tumores irregulares, além de poupar com maior eficiência os tecidos adjacentes e concentrar a entrega da dose no volume alvo (SANTOS, 2009).

Por possibilitar a modulação do feixe de radiação gerando uma maior dose no tumor e ainda proteger os tecidos sadios, a técnica de IMRT supera a técnica de RT-3D. No entanto, por se tratar de uma técnica sofisticada, com maior quantidade de campos de tratamento, também necessita de maior tempo de planejamento, além do aumento do custo proporcional a tecnologia (NUNES, 2018).

2.3.5 Radioterapia em arco modulado volumétrico (VMAT)

A técnica de radioterapia em arco modulado volumétrico surgiu como o avanço da radioterapia por intensidade modulada. Essa técnica utiliza além da modulação da intensidade do feixe, o movimento do *gantry* ao longo do tratamento. É fundamental que se tenha um controle de qualidade rigoroso, principalmente para avaliar a distribuição da dose do aparelho de VMAT (BRAVIM, 2015).

A principal vantagem da técnica de VMAT sobre técnica de IMRT é o tempo de entrega do tratamento, reduzindo a dose de radiação. No entanto, os processos de controle de qualidade e planejamento são tão complexos que acabam sendo inviabilizados para muitos centros de tratamentos (SAKURABA, 2015).

2.3.6 Radioterapia guiada por imagem (IGRT)

Buscando uma precisão na entrega das doses, principalmente em técnicas que utilizam uma maior dose aplicada, a técnica de radioterapia guiada por imagem (IGRT) é utilizada como aliada, pois permite que antes do tratamento com o paciente posicionado na mesa sejam realizadas imagens e então verificadas se o paciente está na posição correta, e somente assim é liberada a dose (GONÇALVES, 2012).

São instalados no próprio AL equipamentos de raios X, onde são realizadas antes de cada tratamento duas imagens e comparadas com as imagens tomográficas realizadas no planejamento. Outros equipamentos mais sofisticados permitem a captura de movimentos respiratórios por meio de câmara emissora e detectores de infravermelho, sendo o feixe liberado somente na fase respiratória planejada (SOCIEDADE BENEFICENTE ISRAELITA BRASILEIRA, c2020).

2.3.7 Radioterapia estereotóxica fracionada corpórea (SBRT)

A radioterapia estereotóxica fracionada corpórea (SBRT) utiliza uma maior dose de radiação em uma área extremamente delimitada, para que não haja exposição dos tecidos circunvizinhos e sadios. Com essa entrega de dose em maior quantidade, diminuí-se o fracionamento se comparada com a radioterapia convencional, a qual utiliza pequenas doses fracionadas (VILELA, 2017).

Além de todo planejamento realizado antes do tratamento, a técnica de SBRT requer a imobilização do paciente, e o acompanhamento da área irradiada é realizado por imagens em tempo real (IGRT), possibilitando o ajuste no posicionamento do paciente de acordo com o movimento de órgãos internos (SOCIEDADE BRASILEIRA DE RADIOTERAPIA, c2021).

A escolha do paciente apto para a realização do tratamento pela técnica SBRT é criteriosa, pois como a entrega da dose é alta, dependendo do local da lesão pode apresentar toxicidade nos tecidos vizinhos sadios. A SBRT é um grande avanço da radioterapia e a solução para casos específicos, mas sua eficácia vai depender desde o tipo da lesão até o tempo de irradiação aplicado (CHAIRMAN *et al.*, 2010).

2.3.8 Radiocirurgia

A radiocirurgia ou radiocirurgia estereotóxica consiste em uma técnica que utiliza uma única e alta dose de radiação aplicada externamente em tumores específicos que possuam margens bem delimitadas, na maioria dos casos tumores inaccessíveis por cirurgia e tumores cerebrais. A tecnologia utilizada pode ser o AL, *Gamma Knife* (aparelho com múltiplos feixes de alta precisão), ou ciclotrons (produtores de partículas pesadas), sendo esse último caso menos utilizado (MASCARENHAS *et al.*, 2005).

O avanço da informática contribuiu para a consolidação da técnica de radiocirurgia, gerando exames de imagens com alta resolução, além disso conta com sistemas de planejamento sofisticados, permitindo o exato posicionamento do paciente (CANTERAS, 2005).

Portanto, a técnica de radiocirurgia se difere da técnica de radioterapia estéreo-taxica fracionada corpórea, pelo fato de aplicar uma única e alta dose de radiação, sem a necessidade de fracionamento (JOAQUIM *et al.*, 2013).

2.3.9 Radioterapia Intraoperatória (IORT)

A radioterapia intraoperatória consiste em uma técnica onde a radiação é aplicada em única dose no leito tumoral, permitindo que os tecidos adjacentes sejam retirados do campo ou protegidos durante a exposição (BROMBERG *et al.*, 2013).

A aplicação pode ser por meio do equipamento AL, já utilizado na rotina convencional, nesse caso o centro cirúrgico é construído próximo da sala do AL, então no momento da irradiação o paciente é descolado por um ambiente estéril e posicionado no AL. Para a realização da IORT, são acomodados no AL acessórios específicos que irão delimitar o campo e ficar em contato com a área cirúrgica (BROMBERG *et al.*, 2007).

Outra tecnologia que é empregada para a realização da IORT, é o equipamento irradiador móvel, o qual por produzir baixa energia e ser compacto pode ser deslocado com facilidade e então realizado o procedimento no próprio centro cirúrgico. Essa tecnologia é limitada somente para o uso em procedimentos de IORT, não sendo utilizada para a realização de radioterapia convencional (ZEISS, 2013).

Comparando questões econômicas das duas tecnologias utilizadas na IORT, o equipamento móvel se limita ao atendimento em pequenas lesões, mas apresenta um menor custo para a aquisição. Enquanto o acelerador linear apresenta um custo maior para a aquisição e instalação, mas abrange o atendimento para todos os procedimentos em teleterapia convencional (PINHEIRO, 2017).

2.4 Planejamento radioterápico

O planejamento radioterápico é o princípio do tratamento de radioterapia, independentemente da modalidade ou técnica aplicada. Consiste em planejar o tratamento por sistemas avançados de computação a partir de imagens obtidas da anatomia do paciente, levando em consideração o diagnóstico, estadiamento, localização do tumor e tecidos vizinhos sadios, com o objetivo de maior entrega da dose no alvo e menor nos tecidos circunvizinhos (VAN DYCK, 1999).

Primeiramente é realizado a aquisição da imagem do paciente, sendo a TC a escolha da maioria dos centros radioterápicos, para então por métodos computacionais dedicados a radioterapia serem realizados os contornos da área irradiada, delimitando o volume do tumor e as regiões internas sadias. No momento da elaboração do plano de tratamento, após a aquisição das imagens, a equipe de médico radioterapeuta e o físico, definem a dose, feixes de radiação aplicados, acessórios necessários, entre outros parâmetros radiométricos (PINHEIRO, 2017).

Basicamente, o sistema computacional consiste em um computador com o *software* específico para o planejamento radioterápico, sendo já incluso no pacote do fabricante após a aquisição do equipamento de teleterapia (CAMPANELLI, 2018).

Para que se tenha a reprodutibilidade do que foi planejado no momento do tratamento, é fundamental que o paciente seja posicionado igualmente, a linha do plano da mesa ser indicada, e ser feito o acompanhamento por imagem frequente do tumor, pois muitos reduzem com a irradiação, alterando-se anatomicamente (SCAFF, 1997).

2.5 Posicionamento radioterápico

O posicionamento correto é fundamental na radioterapia para que se tenha a reprodutibilidade do planejamento no tratamento. A eficácia da radioterapia depende da entrega da dose no volume tumoral, principalmente em técnicas que utilizam hipofracionamento ou doses conformadas, sendo nesses

casos a IGRT utilizada em conjunto para que se tenha um controle exato do posicionamento do paciente no momento do tratamento (NADALIN, 2010).

Outros fatores fundamentais para a exatidão do tratamento que contribuem para o correto posicionamento e devem ser observados criteriosamente são a calibração do aparelho, alinhamento dos *lasers* e os dados anotados na ficha do paciente (LEONARDO *et al.*, 2019).

Para auxiliar no posicionamento e contribuir com a entrega de dose correta no tumor, muitas vezes são necessários acessórios, podendo ser individuais (confeccionados especificadamente para o paciente em tratamento) ou coletivo (que pode ser reutilizado no tratamento de outro paciente). Os acessórios (Figura 7) são escolhidos no momento do planejamento radioterápico de acordo com a técnica aplicada e devem ser utilizados durante o tratamento (SCAFF, 1997).

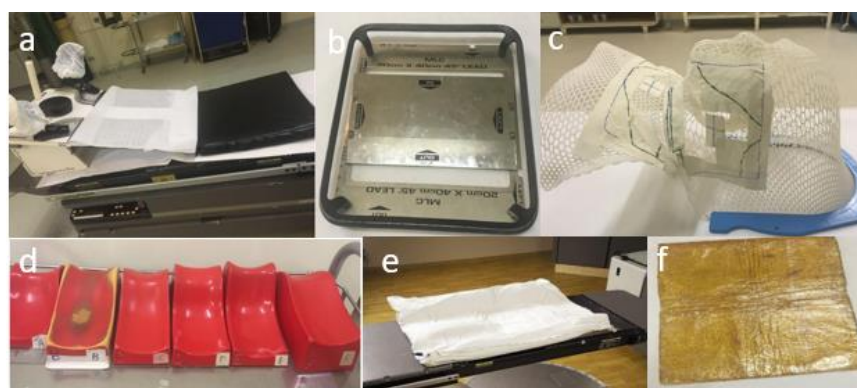


FIGURA 7 – Exemplos de acessórios utilizados na rotina de radioterapia em humanos. (a) rampa de mama; (b) filtro em cunha; (c) máscara termoplástica; (d) suportes de apoio de cabeça e pescoço; (e) colchão à vácuo; (f) bólus.

Fonte: Adaptado de PINHEIRO, 2017.

2.6 Controle de qualidade em radioterapia

Após o teste de aceitação de um equipamento novo, é realizado o teste de comissionamento, onde serão elaborados os parâmetros que devem ser seguidos em futuros testes de controle de qualidade. Os parâmetros elaborados no teste de comissionamento servirão como referência, não devendo ultrapassar a tolerância estipulada para cada teste (BERDAKY; CALDAS, 2001).

Todas as técnicas de radioterapia passam pelo controle de qualidade, e cada técnica possui os testes específicos, assim como a frequência que deve ser realizado. Conforme a complexidade da técnica, maior a complexidade dos testes, para que se tenha o funcionamento correto do equipamento e a reprodutibilidade do tratamento (KLEIN *et al.*, 2009).

O físico médico especialista é o responsável pelo controle de qualidade, e deve manter documentado os testes realizados, assim como a frequência das realizações e os valores encontrados (FURNARI, 2009).

2.7 Proteção radiológica em radioterapia

A Norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) - CNEN-NN-3.01 (2014), estabelece os Requisitos Básicos para a Proteção Radiológica, sendo eles:

Justificação: Toda prática com o uso de radiação ionizante deve produzir benefícios maiores que os efeitos ocasionados. Para a exposição médica deve-se levar em conta os benefícios do diagnóstico ou terapia.

Limitação de dose individual: Estipula o limite de dose anual a ser seguido para a exposição normal de indivíduos, não se aplicando para exposições médicas. A Tabela 1 mostra as doses anuais estipuladas, adaptada da Norma CNEN-NN-3.01 (2014).

TABELA 1 – Limites de doses anuais. Fonte: Adaptado de CNEN, 2014.

Grandeza	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo público
Dose Efetiva	Corpo inteiro	20 mSv*	1 mSv
	Cristalino	20 mSv	15 mSv
Dose Equivalente	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	-----

*Média em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

Otimização: A exposição médica é caracterizada pela aplicação da dose suficientemente para obter um diagnóstico ou terapêutica adequada, com o objetivo de minimizar a dose no paciente e profissional, e obter o resultado satisfatório.

A Norma CNEN NN 6.12 (2022) estabelece os Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica em Radioterapia e Medicina Nuclear Veterinária, a qual é aplicada junto com as Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, contidas na Norma CNEN-NN-3.01 (2014).

Os Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica em Radioterapia de acordo com a CNEN-NN-3.01 (2014) estão resumidos e apresentados a seguir:

- a) Requisitos gerais: o qual estabelece que a permanência de pacientes em área controlada só é autorizada durante o tratamento e com supervisão; e durante procedimentos com braquiterapia não é permitida a presença de acompanhantes em quartos terapêuticos;
- b) Controle e monitoração da área: onde são verificadas as condições de instalações, incluindo medições dos níveis de radiações;
- c) Blindagens das fontes de radiações: controlando os limites de doses e as blindagens estipuladas;
- d) Programa de garantia de qualidade das fontes de radiação e de sistemas de planejamento de tratamento: onde são aplicados testes que garantam que os requisitos de proteção radiológica e segurança estão sendo seguidos.

2.8 Oncologia veterinária

A oncologia veterinária é a especialidade que se dedica ao estudo e tratamentos de neoplasias nos animais. É uma especialidade que está em crescimento na veterinária, pois com o avanço de diagnósticos e cuidados, nota-se o aumento da longevidade dos animais, em especial os de companhia, ocasionando uma maior predisposição em desenvolver algum tipo de câncer no estágio adulto ou idoso (SILVA; FALEIRO; MOURA, 2015).

O estudo realizado por Bentubo *et al.* (2007) na cidade metropolitana de São Paulo-SP no período de 1995 a 2005 com 2.011 animais, descreveu as

neoplasias como segundo lugar nas causas de óbitos, sendo a idade média de sobrevivência desses animais de 36 meses.

A maioria dos dados disponibilizados sobre a incidência de câncer em animais no Brasil não são padronizados ou multicêntricos como é o caso dos dados disponibilizados sobre a incidência de câncer em humanos, dificultando a análise, e causando uma necessidade de concentração dos registros. No entanto, por análise de estudos populacionais já realizados em alguns países, tem-se visto o aumento de incidências, particularmente em cães (TEDARDI, 2014).

No caso dos animais selvagens, quando vivem em cativeiros tendem a ter uma longevidade maior do que soltos na natureza, por exemplo, a espécie *Leopardus pardalis* (Jaguatirica) tem uma média de vida na natureza de 10 anos, enquanto em cativeiro pode chegar a aproximadamente 20 anos, sendo o câncer um grande incidente nesses animais idosos e causando preocupação nos veterinários responsáveis pelos zoológicos, os quais buscam tratamentos e terapias para melhorar a qualidade de vida desses animais (STOSKOPF; BROWN; DEVOE, 2012; MIRANDA *et al.*, 2015).

Assim como em humanos, o câncer pode atingir qualquer parte do corpo de um animal, sendo os principais fatores de risco relacionados com a idade avançada, hormonais e ambientais, além dos relacionados com a genética. Os principais sintomas são os aumentos de volume da região, e dependendo do tipo de câncer o animal também pode apresentar sangramentos, perda de peso e tosse (PASQUALE, 2016).

Segundo estudo realizado por De Nardi *et al.* (2002), confirmou a predisposição do câncer em animais idosos, sendo os tumores mamários e o mastocitoma os mais frequentes nos cães, estando relacionados principalmente com a falta de alimentação balanceada e a administração de hormônios contraceptivos no decorrer da vida do animal.

É importante para a preservação a monitoração e conhecimento das neoplasias que afetam os animais selvagens, pois em uma comparação dos fatores de risco das neoplasias nas famílias dos carnívoros selvagens, tiveram a longevidade e fatores ambientais como principal causa. Algumas famílias se mostraram menos propensas do que as outras, sendo que a falta de relato pode

ser a razão do não conhecimento de casos (OCHOA; AMAYA; CASALLAS, 2017).

2.9 Câncer em animais selvagens – diagnóstico e abordagem terapêutica

São considerados animais selvagens os que habitam no ecossistema de origem, já os animais silvestres, segundo o Artigo 29, § 3º, da Lei nº 9.605/98 são:

Espécies nativas, migratórias ou quaisquer outras, aquáticas ou terrestres, que tenham todo ou parte do seu ciclo de vida ocorrendo dentro do território brasileiro, ou águas jurisdicionais brasileiras (BRASIL, 1998).

Os animais selvagens também estão propensos as mais variadas doenças, tanto os soltos na natureza, quanto os de cativeiro, destacando-se as neoplasias, tornando fundamental o conhecimento dos casos e protocolos terapêuticos, especialmente em regiões onde se tem uma grande biodiversidade (GONZÁLEZ-R *et al.*, 2015).

Os animais silvestres, por não apresentarem sinais clínicos com facilidade, dificultando o diagnóstico precoce e o início dos protocolos terapêuticos, têm a maioria dos relatos diagnósticos conclusivos por necropsia. A prevalência dos diagnosticados são animais de cativeiros, o que aumenta a importância dos relatos dessas doenças, suas principais causas, assim como tratamentos disponíveis, possibilitando o aumento de opções e consequentemente a entrega da melhor qualidade de vida para esses animais (BATISTA *et al.*, 2014).

Estudo realizado com grandes felinos mostrou a preocupação com a incidência de óbito em animais diagnosticados com algum tipo de neoplasia, com consequência principalmente da demora no diagnóstico, levando em conta a necessidade de sedação para a realização de exames de imagem, exames clínicos e biópsias invasivas. A taxa alta de óbito nesses casos também está diretamente relacionada com alguns dos métodos de tratamento (cirúrgico e quimioterápico). No caso do tratamento cirúrgico, tem-se a dificuldade de cicatrização, infecção e automutilação. Enquanto os tratamentos quimioterápicos são administrados de forma oral, por conta da dificuldade de contenção dos

animais, impedindo a realização de protocolos completos (PIMENTA *et al.*, 2013).

Em felinos a presença de dois ou mais tumores primários são poucos documentados, e o primeiro caso de um leão africano com duas neoplasias (melanoma ocular e carcinoma mucinoso mamário), onde ambas apresentaram metástases foi relatado em 2012, sendo o quadro agravante e o animal foi sacrificado dois meses após o diagnóstico (CAGNINI *et al.*, 2012).

No relato de caso de timoma em tigre siberiano, nota-se a semelhança histopatológica das neoplasias quando comparadas dos animais selvagens com os animais domésticos carnívoros (ALLAN *et al.*, 2014). Assim como o mesotelioma pleural, o qual foi relatado o caso de um leão, sendo encontrado com maior frequência nos cães e bovinos (ROCHA *et al.*, 2019).

Tumores que estão relacionados principalmente com questões hormonais, como é o caso do leiomioma, são achados com maior facilidade em fêmeas não castradas e idosas. O diagnóstico confirmativo é dado por meio de exame citológico, sendo a cirurgia o tratamento mais indicado, onde é realizado a remoção tumoral combinada com ovariectomia em animais não castrados, ou a remoção tumoral em animais castrados. No estudo relatado em um lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*), seguiu-se o mesmo protocolo de tratamento realizados em cães fêmeas, e obteve um resultado satisfatório (IGLESIAS, 2017).

Os prognósticos favoráveis são principais quando as neoplasias são detectadas precocemente, no entanto, algumas são silenciosas e não apresentam sinais clínicos significantes, sendo a descoberta somente no estágio avançado. O colangiocarcinoma quando descrito, dificilmente apresenta sintomas iniciais, tornando seu diagnóstico conclusivo encontrado na maioria das vezes em necropsia (MALLMANN, 2018).

Um tumor facial transmissível que afeta a população de diabo-da-tasmânia é preocupação para os pesquisadores. A doença foi relatada pela primeira vez há 20 anos e desde então por ser transmissível se espalhou rapidamente. Para fins de proteção da espécie teve o aumento da criação em cativeiro, além de planos para imunização dos animais selvagens, delineamento

das zonas afetadas e a tentativa de diagnosticar precocemente os animais (WOODS *et al.*, 2018).

Assim como os demais animais, as aves também estão propensas as neoplasias, sendo os maiores relatos em Psitacídeos, tendo em vista criação em cativeiros ou como *pets*, ocasionado por uma mudança alimentar, consaguinidade, exposição a agentes cancerígenos, além do aumento da expectativa de vida. Os tratamentos em aves são poucos documentados, seguindo na sua grande maioria os protocolos aplicados em outras espécies, e o bom prognóstico vai ser de acordo com o tipo da lesão e o tempo para o diagnóstico (ARAÚJO, 2018).

2.10 Radioterapia aplicada na veterinária

Com o primeiro relato de tratamento em animais ocorrido há mais de 100 anos, é na atualidade que a técnica de radioterapia vem ganhando maior destaque na veterinária, tendo em vista a crescente busca pela melhor qualidade de vida dos animais e o avanço tecnológico que permite sofisticados planejamentos e aquisições de imagens. As elaborações dos protocolos de fracionamentos das doses se deram lá no início através das observações das aplicações na medicina humana por Henri Coutard, mas ainda levantam discussões entre os veterinários sobre o melhor protocolo a seguir: fracionamento (a dose total é entregue em pequenas frações diárias), ou hipofracionamento (aumento da dose por fração, diminuindo o tempo total do tratamento) (NOLAN; DOBSON, 2018).

Em 1994 a radioterapia veterinária foi reconhecida com uma especialidade pelo *American College of Veterinary Radiology*, contando com mais de 90 especialistas e mais de 60 centros de radioterapia dedicada a veterinária nos Estados Unidos e Canadá, estando disponível também na Europa, Ásia e América do Sul (LARUE; CUSTIS, 2014).

A maioria das doses relatadas que são aplicadas em animais de companhia (cães e gatos) são de 40 a 60Gy, tendo sua eficácia relacionada com a radiosensibilidade e/ou radiorresistência tanto do tumor quanto dos tecidos adjacentes. Os protocolos de tratamento são elaborados de acordo com a

condição clínica do paciente e idade, com propostas de fracionamentos das doses, ou hipofracionamento. Outro fator importante na veterinária é a sedação do paciente durante o tratamento, o qual é indicado a utilização de anestésico de curta duração, levando em conta que a aplicação da dose radioterápica é rápida (MOORE, 2002).

Em cães é mais comum o aparecimento de neoplasias cerebrais, se comparado com outras espécies domésticas e humanos. A radioterapia pode significar um prolongamento da vida desses animais, pois estudo realizado com cães submetidos a radioterapia de ortovoltagem mostrou um prolongamento da vida em comparação com outros cães que não realizaram a radioterapia. Mesmo assim, é destacado que a radioterapia de megavoltagem quando disponível é mais eficaz nesses casos (EVANS *et al.*, 1993). Com o tratamento de tumores cerebrais realizados com megavoltagem as doses no tratamento de cães variaram de 35Gy a 52,5Gy, com fracionamento de 2,5Gy a 4Gy, resultando em um aumento da sobrevida desses animais, assim como uma melhor qualidade de vida (BLEY *et al.*, 2005).

Na medicina humana a combinação de radioterapia com quimioterápicos são satisfatórias em muitos casos, no entanto, a radioterapia ainda é pouco explorada na veterinária, principalmente em combinação com quimioterápicos, e os protocolos na veterinária seguem os realizados na medicina humana, sendo fundamental estudos que abordem esses aspectos para o devido conhecimento dos benefícios e possíveis efeitos colaterais (LEBLANC *et al.*, 2004).

Graves *et al.* (2007) relataram sobre o limitante da radioterapia com relação ao tratamento de pequenos animais, pois a radioterapia na veterinária ainda tem como base os valores e campos da medicina humana, isso se torna um obstáculo a ser superado pelos pesquisadores da área. A técnica RT-3D apresenta maior precisão na entrega de dose quando aplicada em humanos, e ainda precisa de muitas adaptações para ser utilizada com precisão em pequenos animais.

O desenvolvimento de pequenos dispositivos de radioterapia por intensidade modulada está revolucionando a uso da radioterapia em pequenos animais, principalmente por ser possível a partir daí a realização de estudos *in vivo*, consequentemente por meio dos resultados obtidos trazer benefícios para

a medicina humana. Ambos os equipamentos utilizam sistemas sofisticados para o planejamento e posicionamento, e o controle de qualidade deve ser rigoso, sendo necessários demais estudos e adaptações para no futuro resultados conclusivos (BUTTERWORTH; PRISE; VERHAEGEN, 2014)

Zhou *et al.* (2010), descreveram a adição de um *scanner* de tomografia microcomputadorizada (micro CT) na radioterapia conformada para tratamento em ratos, mostrando-se que a radioterapia guiada por imagem pode agregar a tecnologia, além de facilitar na entrega de dose com maior precisão em pequenos animais.

Como a modalidade IGRT mostrou-se eficaz principalmente na entrega da dose de radiação em pequenos animais, com o avanço tecnológico a modalidade foi aperfeiçoada, permitindo que a conformação da dose no local da lesão e possuindo alta resolução de imagem, possibilitando a avaliação diagnóstica e planejamento do tratamento (TILLNER *et al.*, 2016).

Quando escolhido o método de tratamento por radiação em animais é fundamental um planejamento que vise menor dano na pele, isso pode ser adquirido com a escolha de múltiplos campos e uso de filtros. Outro fator fundamental quando realizada a radioterapia, é o início do tratamento o quanto antes, pois atrasos podem causar a progressão da lesão, dificultando o sucesso da radioterapia. Além disso, os animais precisam de sedação para a realização do tratamento, isso pode ser preocupante, principalmente em animais de idade avançada, sendo uma solução a diminuição da quantidade de frações (SILVER; CATER, 1964).

A radioterapia intraoperatória também pode ser uma opção para o tratamento de animais, por ser uma técnica onde a dose é empregada em única fração no leito cirúrgico, evita posteriores sedações que seriam necessárias com fracionamento de dose, além de permitir o afastamento e proteção de estruturas sadias do campo de radiação. No entanto, por ser uma alta dose de radiação empregada em única fração, deve-se atentar a possíveis efeitos colaterais causados pela dose absorvida e maiores esforços em afastar estruturas sadias do campo de radiação (JOHNSTONE *et al.*, 1996).

Os cavalos, assim como os demais animais, estão suscetíveis aos variados tipos de câncer, os quais muitas vezes retornam mesmo após a excisão cirúrgica. A radioterapia pode ser uma aliada no tratamento, no entanto, o tamanho dos animais pode ser um limitante, frente aos equipamentos e salas. O uso da modalidade de braquiterapia, onde a fonte de radiação é implantada próxima ou no íntimo da lesão, pode ser a única solução em alguns casos (SILVER; CATER, 1964).

São frequentes os relatos na literatura sobre o surgimento de sarcomas associados a vacina em felinos, onde a radioterapia mostrou-se eficaz gerando um aumento da sobrevida dos animais que realizaram o tratamento, tanto com dose fracionada como com dose hipofracionada, nesse último caso houve maior aceitação dos proprietários por conta das despesas e contratempos de deslocamento (ECKSTEIN *et al.*, 2009). Assim como comumente realizado em humanos, a radioterapia apresenta melhor resultado quando combinada com a cirurgia, tanto no pré-operatório quanto no pós-operatório, aumentando a sobrevida desses animais e melhores resultados cosméticos. Para o tratamento dos felinos com fibrossarcoma a radioterapia aplicada antes da cirurgia apresentou bons resultados no controle de recorrência (CRONIN *et al.*, 1998).

A técnica de radioterapia utilizando equipamentos de ortovoltagem pode não ser a melhor escolha no caso de lesões mais profundas, como por exemplo, tumores na medula espinhal, no entanto, por ser um equipamento de maior disponibilidade na veterinária pode ser a única opção e ainda apresentar resultados melhores do que se não realizado o tratamento por radiação (UENO *et al.*, 2006).

Para o tratamento de linfoma nasal avançado em felinos a radioterapia combinada com quimioterapia mostrou-se eficaz, sendo o tratamento realizado com o equipamento de ortovoltagem, dose de 300cGy fracionadas em 12 vezes. Nesses casos específicos a radioterapia sozinha consegue a longo prazo levar a remissão da doença, no entanto, a quimioterapia sozinha não apresentou resultado satisfatório, sendo que ambas em combinação são consideradas tratamentos agressivos e apresentaram bons resultados (CUNHA; CORGOZINHO; FERREIRA, 2016).

No caso de tumor de pele, o tipo de câncer mais frequente em animais de pequeno porte, a ressecção cirúrgica é o método de tratamento mais indicado e realizado, no entanto, a radioterapia combinada com a cirurgia apresenta bons resultados, principalmente quando não é possível a excisão completa do tumor, prevenindo a recorrência (MELEO, 1997).

No tratamento de osteossarcoma apendicular em cães a radioterapia utilizada de forma paliativa em combinação com a quimioterapia tem o objetivo de aliviar a dor do animal e diminuir as chances de metástases, se tornando também uma opção de tratamento, tendo em vista que a amputação ainda é o principal tratamento (RAMIREZ *et al.*, 1999).

Segundo Northrup *et al.* (2001), para o tratamento de tumores nasais em cães com radioterapia de ortovoltagem, foi detectado efeitos colaterais clinicamente significantes como lesões oculares, sendo que em comparação com outros estudos, a radioterapia com megavoltagem pode apresentar melhores resultados. A modalidade de IMRT apresenta melhores resultados se comparada com a convencional, pois consegue modular o feixe de radiação no tumor, minimizando a dose nos tecidos adjacentes, em especial na região nasal, onde se fica próximo de estruturas sensíveis como o cérebro, cavidade oral e olho, se tornando uma melhor opção quando disponível (HUNLEY *et al.*, 2010).

Para o tratamento de mastocitoma canino incompletamente ressecado a radioterapia de megavoltagem apresentou melhores resultados quando fracionada diariamente, ao invés de frações com dias alternados, com dose total variando de 45Gy a 57Gy, fracionadas em um período de 14 a 28 dias (LaDue *et al.*, 1998).

O carcinoma de células escamosas é o tipo de neoplasia mais comum na cavidade oral de gatos, com tratamento tradicional por cirurgia combinada ou não com radioterapia e quimioterapia. A radioterapia é utilizada de maneira paliativa, principalmente nos casos em que já se tem metástase ou tumores irresssecáveis e os proprietários optam por não realizar a eutanásia. Nesses casos o tratamento é entregue em uma dose maior e um fracionamento menor, no entanto, pela agressividade do tumor muitos dos pacientes não chegam ao final do tratamento (BREGAZZI *et al.*, 2001).

Os tumores de tireóide representam cerca de 15% dos tumores primários em cabeça e pescoço em cães. Aproximadamente dois terços dos tumores de tireóide são caracterizados como massa fixa e infiltrada nos tecidos vizinhos, não possibilitando a remoção cirúrgica completa. A radioterapia pode ser aplicada nesses casos em combinação ou não com a cirurgia, com a finalidade de controlar o crescimento tumoral e aumentar a sobrevida do animal (PACK *et al.*, 2001). A aplicação hipofracionada da radioterapia em tumores de tireóide em cães também diminui o crescimento tumoral, sendo uma opção paliativa em casos específicos, gerando uma maior sobrevida que em casos em que o tratamento foi baseado na cirurgia e quimioterapia (BREARLEY; HAYES; MURPHY, 1999).

A radioterapia pode ser considerada como uma opção de tratamento nos casos de tumores extramedulares intradurais em cães jovens quando não é possível a ressecção cirúrgica total, no entanto, é recomendado o fracionamento da dose em animal jovem, levando em conta o raro risco de indução tumoral da radiação e a expectativa de vida do animal (DICKINSON *et al.*, 2001).

Segundo LARUE; CUSTIS (2014), a radioterapia aplicada na veterinária ainda tem como base a medicina humana, assim como os cães e gatos servem como base para a realização do tratamento em outras espécies, e dentre as modalidades radioterápicas disponíveis, é possível verificar suas particularidades e vantagens nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6.

TABELA 2 – Tecnologia feixe de elétrons

Feixe de elétrons	
Indicação	Tumores ao longo do tórax e abdômen e tumores próximos das pálpebras (aonde um escudo protetor pode proteger os olhos).
Vantagem	Penetração limitada com entrega rápida de dose
Desvantagem	Dose mais previsível em superfícies planas

Adaptado: LARUE; CUSTIS, 2014.

TABELA 3 – Tecnologia RT-3D

RT-3D	
Indicação	Radioterapia fracionada em tumores do cérebro e da coluna (tumores da medula espinhal), tumores pélvicos, tumores do mediastino e na base do coração, tumores de cabeça e pescoço;
Vantagem	Radioterapia paliativa de muitos sítios. Pode usar modificadores de feixe, como cunhas, para alterar a distribuição de dose; Possibilitada por planejamento avançados de imagem para o tratamento; Pode usar campos e múltiplos feixes; Pode obter um histograma de volume de dose para avaliar melhor a dose para o tumor e as estruturas de tecido normal.
Desvantagem	Imagem avançada necessária (alto custo); Sem dose desenhada.

Adaptado: LARUE; CUSTIS, 2014.

TABELA 4 – Tecnologia IMRT

IMRT	
Indicação	Tumores nasais, tumores orais, tumores cerebrais, tumores da parede do corpo, os tumores do trato urinário.
Vantagem	Capaz de poupar melhor as estruturas do tecido normal, minimizando os efeitos da radiação; Pode ser usado para tratar doenças macroscópicas ou microscópicas; O aumento da dose pode levar a um melhor controle do tumor.
Desvantagem	Requer acelerador avançado, planejamento de tratamento inverso e tecnologia de registro e verificação.

Adaptado: LARUE; CUSTIS, 2014.

TABELA 5 – Tecnologia IGRT

IGRT	
Indicação	Tumores caninos de bexiga, próstata e uretral; tumores da parede abdominal ou torácica.
Vantagem	Pode tratar tumores que se movem em relação à anatomia óssea, como tumores de bexiga e próstata.
Desvantagem	Requer equipamento avançado, incluindo tecnologia para verificar a localização do tumor antes do tratamento.

Adaptado: LARUE; CUSTIS, 2014.

TABELA 6 – Tecnologia SBRT

SBRT	
Indicação	Tumores hipofisários felino, meningiomas, tumores nasais, tumores ósseos, tumores da tireoide, tumores do pulmão, tumores do mediastino, tumores na base do coração e tumores pélvicos; Bom para palição durável em quase qualquer local.
Vantagem	Tratamento concluído em 1–5 frações; Efeitos mínimos de radiação aguda.
Desvantagem	Requer equipamento avançado, incluindo tecnologia para verificar a localização do tumor antes do tratamento. Não indicado para tratar tumores hipofisários caninos; Não utilizado para tratar doenças microscópicas.

Adaptado: LARUE; CUSTIS, 2014.

2.11 Radioterapia aplicada em animais selvagens

Os protocolos para tratamentos oncológicos de espécies selvagens ainda têm como base os utilizados no tratamento de cães e gatos onde se tem o crescente avanço de tratamentos. É importante uma maior atenção para a técnica radioterápica, pois ela é capaz de fornecer uma melhor qualidade de vida, principalmente para animais de zoológico, tendo em vista o aumento da sobrevivência e consequentemente o aumento de neoplasias (GOODNIGHT *et al.*, 2008).

Para a aplicação da radioterapia em animais exóticos, ainda se tem poucos relatos, no entanto, faz-se importante o conhecimento desses casos para futuros estudos e aplicações, onde o melhor aproveitamento da radioterapia é através do estabelecimento de dosagens e protocolos de tratamento considerando as particularidades de cada espécie (GRAHAM; KENT; THÉON, 2004).

Quando realizado o tratamento em aves são necessários mais estudos relacionados as doses e efeitos da radiação, tendo em vista alguns relatos que mostraram que os tecidos das aves são mais resistentes a radiação, sugerindo a necessidade de doses maiores se comparadas a outras espécies. Outro

desafio com o tratamento de aves, está na necessidade de se irradiar tumores de sacos aéreos, onde o acúmulo da dose é atenuado (KENT, 2017; MAULDIN; SHIOMITSU, 2005).

No tratamento de pequenos animais e aves o desafio da distribuição da dose para o efeito radiobiológico pode ser minimizado com o uso de equipamentos de baixa energia ou feixe de elétrons que não necessitam de uma significativa zona de acumulação para exercer o efeito biológico, blocos que são acoplados no equipamento e desenham o campo da irradiação, ou o uso do acessório bólus que simula o tecido, superficializando a dose entregue (MAULDIN; SHIOMITSU, 2005).

Boudreaux *et al.* (2019) relataram o uso da modalidade avançada de radioterapia estereotáxica em conjunto com a arco modulado volumétrico para um tratamento de um tigre de 10 anos diagnosticado com leiomiossarcoma na região facial (Figura 8). Foi realizado o planejamento tridimensional e selecionadas as áreas de interesse e sadias, sendo de 22Gy a dose entregue no volume alvo e de 16Gy no volume alvo adjacente ao cérebro. O tempo de exposição do tratamento foi de 3 a 4 minutos e 3 meses após o tratamento o tigre recuperou a simetria na face e foi observado o crescimento de pelos. No entanto, 4 meses após o tratamento o tigre apresentou uma piora no quadro e foi confirmado metástase pulmonar, sendo submetido a eutanásia.



FIGURA 8 – Tigre (*Panthera tigris*) imobilizado e posicionado para a radioterapia. Fonte: Boudreaux *et al.*, 2019.

Assim como os mamíferos, os répteis que vivem em zoológicos tendem a viver mais quando comparados aos livres na natureza, ficando mais propensos a apresentar algum tipo de câncer no decorrer da sua vida. Deve-se considerar que as terapias aplicadas em neoplasias de ectotérmicos podem não responder como em mamíferos, no entanto, o diagnóstico precoce é um fator fundamental para o bom prognóstico em ambos os casos, e técnicas radioterápicas que administram doses maiores de radiações parecem ser mais apropriadas para o tratamento de neoplasias em répteis (BRYANT; VOGELNEST; HULST, 1997).

São necessários mais estudos que mostrem a radiosensibilidade tumoral de acordo com a espécie, principalmente em aves e pequenos mamíferos, no entanto, a Tabela 7 classifica a radiosensibilidade de determinados tumores.

TABELA 7 – Classificação tumoral por radiosensibilidade. Adaptado: MAULDIN; SHIOMITSU, 2005.

Altamente sensível	Sensibilidade moderada	Sensibilidade baixa
Linfoma	Tumor nasal	Melanoma
Mieloma	Tumor de mastócitos	Tireoide
Plasmocitoma	Tumores mamários	Osteossarcoma
Timoma (Linfóide)	Pituitária, tumores gliais	Condrossarcoma
Seminoma	Sarcomas de tecidos moles	
	Cutâneo (carcinoma de células escamosas, basal)	

A tabela 7 foi adaptada dos autores Mauldin; Shiomitsu (2005), os quais realizaram a classificação tumoral de acordo com o nível de radiosensibilidade de tumores específicos levando em consideração as experiências com humanos, cães e gatos. Foram divididos em tumores altamente sensíveis, tumores com sensibilidade moderada e com baixa sensibilidade.

2.12 Estudos sobre a radioterapia aplicada na medicina veterinária realizados na FMVZ-Unesp-Botucatu-SP

Estudos sobre acessórios de imobilização usados em radioterapia veterinária foram realizados na FMVZ com importantes resultados e contribuições que além de abrir caminhos para demais pesquisas na área, proporcionaram o desenvolvimento de equipamentos e novos documentos que podem ser incorporados na rotina da radioterapia veterinária (VETTORATO, 2016). Estudos arquitetônicos para elaboração e implantação de um centro de treinamento em radioterapia veterinária foram desenvolvidos na FMVZ-Unesp Botucatu-SP e foram submetidos à apreciação do órgão de normatização (CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear) tendo obtido o Termo de Autorização (FERNANDES, 2018).

Estudos sobre a implementação do planejamento radioterápico aplicado na medicina veterinária, por meio de imagens tomográficas de animais selvagens, puderam contribuir para adequação e uso do *software* tri-dimensional para planejamento de tratamento (TPS) utilizado na radioterapia humana na clínica veterinária (SILVA, 2018).

Pesquisas para otimização do *layout* e da blindagem de sala de teleterapia aplicada à veterinária, analisando a efetividade da construção sem a parede de labirinto (barreira de primeira atenuação), mostraram que se obtém maior mobilidade para o manuseio de grandes animais (FERNANDES, 2018).

Tendo em vista a necessidade de procedimentos de dosimetria em equipamentos radioterápicos, Ferreira (2019), detalha em seu estudo esses procedimentos e periodicidades de execução, assim como apresenta um Plano de Radioproteção elaborado para o uso na Medicina Veterinária.

Carvalho (2019), realizou um estudo para a determinação das blindagens das paredes nos ambientes destinados para a realização de teleterapia (ortovoltagem) e braquiterapia, onde procedimentos de braquiterapia de alta e baixa taxa de dose podem ser executados na mesma sala do equipamento de ortovoltagem, ou para viabilizar os procedimentos, pode-se utilizar o canil para recuperação, sendo necessário nesse caso, a adequação dosimétrica das paredes.

Os estudos sobre radioterapia aplicada na medicina veterinária realizados na UNESP estão ilustrados nas pesquisas desenvolvidas por Fernandes (2000); Fernandes *et al.* (2010); Fernandes; Andrade (2014). Os trabalhos iniciais realizados na Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba (UNESP-FMVA) proporcionaram a orientação e o desenvolvimento de várias dissertações de mestrado e teses de doutorado também na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Unesp de Botucatu (FMVZ): Vettoratto (2016); Silva (2018); Ferreira (2019); Carvalho (2019); Vettoratto (2020). Uma proposta metodológica para elaboração, dimensionamento e implantação de um serviço de radioterapia veterinária está ilustrada no estudo desenvolvido por Fernandes (2018).

A Figura 9 ilustra uma cronologia das principais pesquisas realizadas pelos pesquisadores da UNESP visando maior compreensão das técnicas de radioterapia aplicadas à medicina veterinária. Dessas pesquisas surgiram diversos artigos que até hoje contribuem para a abordagem do tema da radioterapia veterinária no Brasil.



FIGURA 9 – Linha do tempo das pesquisas com radioterapia veterinária na Unesp (FMVA e FMVZ). Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Foi realizado um levantamento bibliográfico junto à literatura específica abordando os temas relacionados à radioterapia, focando as diversas técnicas e tipos de equipamentos e fontes de radiação aplicada e já consolidada na medicina humana, bem como a atual situação da oncologia na área da medicina veterinária, e as formas terapêuticas de abordagem dos tumores em animais selvagens.

Nesta etapa foram utilizadas as bases de dados disponíveis na FMVZ e FMB, além de plataformas virtuais e consultas em periódicos e acervo disponível nas bibliotecas das faculdades.

3.2 Acompanhamento de rotina

A rotina de um serviço de radioterapia foi acompanhada junto ao Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu (HC-FMB), onde foram estudados os protocolos dos tratamentos oferecidos, bem como as relações entre os parâmetros clínicos, radiométricos e físicos dos procedimentos radioterápicos realizados em humanos, os quais devem ser adequados para as especificidades da oncologia veterinária.

No acompanhamento da rotina na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP de Botucatu foi realizado um levantamento da casuística dos tipos de lesões e pacientes assistidos no período de 26/05/2015 até 29/11/2021 pelo CEMPAS (Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens), fazendo uma correlação com os casos oncológicos, a fim de compreender melhor as especificidades na Medicina Veterinária.

A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da FMVZ (Protocolo nº 0120/2020) (Anexo I).

3.3 Levantamento de custos, acompanhamento das técnicas avançadas de radioterapia e radioterapia veterinária

Os custos de equipamentos e acessórios novos exigidos na rotina da radioterapia foram levantados junto a empresas fabricantes e representantes comerciais do ramo.

Os custos sobre a construção do serviço de radioterapia foram levantados junto com engenheiros, empreiteiros e empresas fornecedoras de materiais para construção.

Foram realizadas visitas em serviços de radioterapia que realizam técnicas avançadas de tratamentos, tais como: técnica de RT-3D, IMRT, VMAT, SBRT, IGRT, Radiocirurgia, visando à adequação das técnicas para o tratamento de tumores em medicina veterinária, e a coleta de informações referentes aos custos dos equipamentos e acessórios para técnicas avançadas.

Foi realizado contato via e-mail com um serviço de radioterapia veterinária já instalado e referência no Brasil, localizado na cidade do Rio de Janeiro-RJ. Nesta etapa foram analisados os equipamentos e acessórios utilizados, com a finalidade de se conhecer previamente a rotina, assim como as especificidades da radioterapia veterinária frente a radioterapia em humanos.

3.4 Estudo legais e normativos para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária

Nesta etapa os processos legais e normativos para implantação de um serviço de radioterapia veterinária foram analisados junto aos órgãos regulamentadores, tais como: Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), autarquias da Receita Federal (órgão responsável pelas licenças de importação dos equipamentos).

Os seguintes documentos foram estudados:

A - Normas Técnicas da CNEN:

A.1 – Norma – CNEN- NN 3.01 – 2014 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.

A.2 – Norma – CNEN- NN 6.10 – 2014 – Requisitos de Segurança e Radioproteção para Serviços de Radioterapia.

A.3 – Norma – CNEN 3.02 – 2018 – Serviços de Radioproteção.

A.4 – Norma – CNEN- NN 6.02 – 2020 – Licenciamento de Instalações Radiativas.

A.5 – Norma – CNEN 7.01 – 2020 – Certificação da qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica.

A.6 – Norma – CNEN- NN 6.12 – 2022 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia e Medicina Nuclear Veterinária.

B - Recomendações e Legislações da ANVISA / MINISTÉRIO DA SAÚDE:

B.1 - MINISTÉRIO DA SAÚDE – Instituto Nacional de Câncer (INCA). TEC DOC 1151 (Aspectos Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade). INCA. Rio de Janeiro. 2000.

B.2 - MINISTÉRIO DA SAÚDE – Instituto Nacional de Câncer (INCA). Programa de Qualidade em Radioterapia. Blindagem em Radioterapia - Técnicas e Normas. INCA. Rio de Janeiro. 2000.

B.3 - ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 50 de 21/02/2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. ANVISA. Brasília. 2002.

B.4 - ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 20 de 02/02/2006. Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia. ANVISA. Brasília. 2006.

3.5 Elaboração de um Guia de Orientação para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária

Foi elaborado um Guia de Orientação para implantação de um serviço de radioterapia veterinária contendo as informações sobre cada uma das etapas do processo, especificando os trâmites junto aos órgãos e autarquias envolvidas, as normas técnicas diretivas, os tipos de equipamentos, acessórios, instrumentos e dispositivos necessários para o funcionamento do serviço.

4. RESULTADOS

4.1 Estudos legais e normativos para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária

Para a implantação de um serviço de radioterapia, todo o projeto arquitetônico e memorial descritivo da obra deve, primeiramente, ser submetido à apreciação das respectivas secretarias da prefeitura local (secretaria de obras e vigilância sanitária). Concomitantemente à apreciação dos órgãos competentes da prefeitura local, o processo deve ser encaminhado para autorização da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) órgão regulamentador de uso, manuseio e armazenamento de fontes de radiações ionizantes no Brasil, onde serão avaliados os cálculos descritivos das condições de proteção radiológica do serviço de radioterapia a ser construído (FERNANDES, 2018).

Nesta etapa, o físico supervisor em radioproteção, elabora o Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS), nele estão apontados os estudos de viabilidade do local por meio de um Relatório de Local (RL) contendo informações quanto a localização, capacidade, vias de acesso e potencial impacto radiológico ao meio ambiente (CNEN, 2014). Após a aprovação da CNEN, é emitida a Autorização para Construção.

Para a Autorização da Construção é necessário seguir os seguintes requisitos determinados pelo Art. 7º da CNEN NN. 6.10 (2014); Art. 7º da CNEN NN 6.12 (2022):

- I – Fornecimento de todas as informações técnicas exigidas para a completa instrução do processo;
- II – Apresentação de um Relatório Preliminar de Análise de Segurança;
- III – Garantia de que, com base nas informações técnicas, a instalação possa ser construída no local proposto sem risco à saúde e à segurança da população como um todo e ao meio ambiente (CNEN, 2014; CNEN, 2022).

Conforme Normas Técnicas da CNEN: CNEN (2014); CNEN (2018); CNEN (2020), toda instalação que utilize material radioativo deve elaborar um documento denominado Plano de Radioproteção e possuir um serviço de radioproteção com um responsável capacitado supervisor de proteção radiológica (SPR).

A autorização de construção de um serviço de radioterapia exige a elaboração do projeto arquitetônico, que deve ser realizado em conjunto com um físico médico para a realização dos cálculos de blindagem para radiações ionizantes com o dimensionamento das paredes, garantindo que os níveis de radiações estejam dentro do limite nas áreas vizinhas a sala de tratamento. Os documentos técnicos (TEC-DOC) emitidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), através do seu colegiado NCRP (*National Council on Radiation Protection & Measurements*) norteiam os cálculos de blindagem em radioterapia. No Brasil, as recomendações da AIEA são adequadas pela CNEN, que é a responsável pela avaliação dos cálculos de blindagem e emissão da autorização para a construção (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000; FERNANDES, 2018).

Os cálculos de blindagem das paredes, teto, piso, todas as características do projeto arquitetônico e do equipamento emissor de radiação, bem como o plano de proteção radiológica utilizado deverão estar detalhados no RPAS, elaborado pelo físico responsável e avaliado pela CNEN (CNEN, 2014; CNEN, 2022; FERNANDES, 2018).

Após a conclusão da obra, o titular do serviço de radioterapia deve solicitar à CNEN, à Receita Federal e à ANVISA a autorização para importação dos equipamentos emissores de radiações ionizantes. Em seguida o fabricante deverá proceder a instalação da máquina. Após o comissionamento, que corresponde à realização de todos os testes de aceitação dos parâmetros radiométricos dos equipamentos irradiadores, o físico médico do serviço deverá solicitar, junto à CNEN, a autorização para a operação por meio do documento - Solicitação de Concessão de Registros e Autorizações (SCRA), junto com o Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) que deve conter o projeto de instalação e o plano de proteção radiológica (CNEN, 2014; CNEN, 2022).

O funcionamento será autorizado com base no Art. 12 da CNEN NN 6.12 (2022).

A concessão da Autorização para Operação será emitida com base nos seguintes requisitos:

I - em instalações de radioterapia, a realização de uma inspeção de conformidade por fiscais da CNEN; e

II - estar o Serviço de Radioterapia Veterinária tecnicamente qualificado para conduzir a operação solicitada, de acordo com as disposições legais, regulamentares e normativas.

Parágrafo único: A Autorização para Operação será concedida a um Serviço de Radioterapia Veterinária, considerando o inventário de fontes de radiação a serem usadas na instalação e as técnicas de tratamento praticadas (CNEN, 2022).

Além das aplicações das normas que regulamentam a construção e funcionamento de um serviço de radioterapia veterinária, é importante que profissionais atuantes na área tenham o conhecimento dos protocolos de controle de qualidade em radioterapia elaborados, visando a garantia de qualidade e padronização na área da radioterapia (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000).

Considerando as variedades de normas que se complementam e as etapas para serem cumpridas para aprovação e funcionamento de um serviço de radioterapia veterinária, a Figura 10 foi elaborada pensando em apresentar de maneira simplificada o passo a passo legal desde a ideia em se ter um serviço de radioterapia até a autorização para a operação.

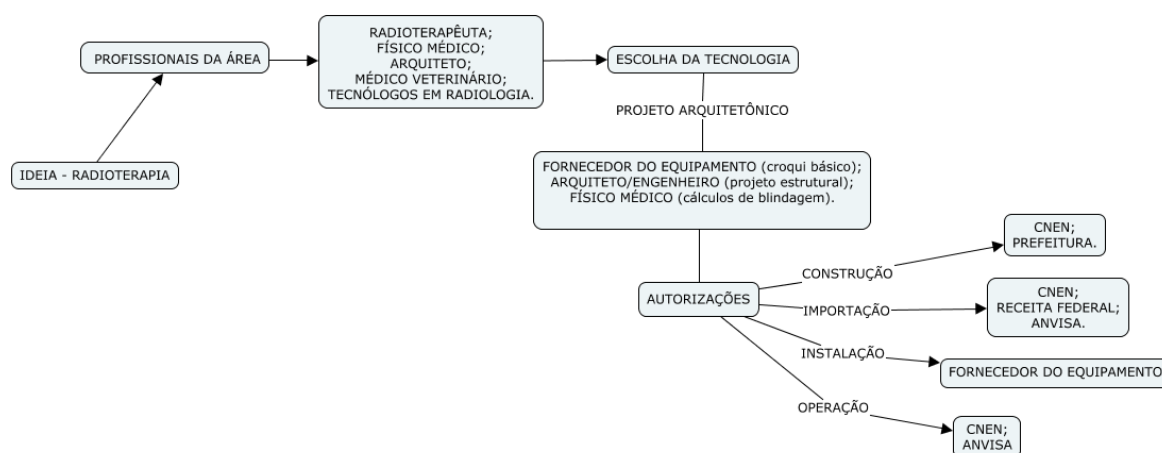


FIGURA 10 – Fluxograma simplificado com os passos para a implantação de um serviço de radioterapia veterinária. Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

4.1.1 Projeto arquitetônico

Após o estudo e definição do local para a construção do serviço radioterápico, os profissionais envolvidos (empresário contratante; médico radioterapeuta; engenheiros; arquiteto; físico médico; construtor, fornecedor do equipamento, etc...) precisam ter conhecimentos das normas e legislações que norteiam a aprovação e funcionamento, considerando a grande responsabilidade e riscos envolvidos com o uso e aplicações de radiações ionizantes.

Para a elaboração do projeto arquitetônico de um serviço de radioterapia primeiramente é preciso que seja determinado o equipamento que será utilizado, para então o físico médico realizar os cálculos de blindagem de acordo com a carga de trabalho do equipamento, estabelecendo as espessuras das paredes. Essa etapa além de ser uma das principais exigências da CNEN na elaboração do RPAS, é fundamental para garantir a proteção radiológica para o indivíduo ocupacionalmente exposto (FERNANDES, 2018).

Sobre o projeto arquitetônico, o Art. 9º da Norma CNEN N. 6.12 (2022), traz algumas especificações para a sua elaboração e inclusão no RPAS:

- VI - plantas baixas da instalação com indicação de escala 1:50, onde estejam indicadas todas as áreas circunvizinhas às salas em questão;
 - VII - planta baixa com cortes com indicação de escala 1:50, mostrando a elevação lateral e frontal das salas, de forma que todas as áreas circunvizinhas ao teto e ao piso sejam visualizadas;
 - VIII - planta de situação com indicação de escala 1:50, que ilustre a localização do Serviço de Radioterapia na vizinhança em que está inserido;
 - IX - identificação, nas plantas, dos seguintes itens:
 - a) fontes de radiação ionizante na posição em que serão instaladas;
 - b) pontos onde as doses serão estimadas, incluindo, para cada um destes, a distância, o fator uso, o fator de ocupação e a posição do isocentro em teleterapia; e
 - c) locais onde serão instalados os componentes dos sistemas de segurança;
 - X - localização, tipo, espessura e densidade com os valores de camadas semirredutoras e decirredutoras de todo e qualquer material a ser utilizado como blindagem;
 - XI - localização de acessos e dutos que possam representar impacto nas blindagens;
 - XII - descrição do sistema de ventilação proposto, apontando detalhes da circulação do ar no interior dos recintos e pontos de descarga;
 - XIII - descrição detalhada de todos os sistemas de segurança da instalação, com informações de seus mecanismos de funcionamento;
- e

XIV - referências bibliográficas atualizadas com a data de execução do projeto de blindagem, que foram consultadas para a elaboração do projeto de blindagem (CNEN, 2022).

A seção IV, subseção I da CNEN NN. 6.12 (2022) estabelece o seguinte sobre as áreas do serviço de radioterapia veterinária:

Art. 30. Devem ser alocados em áreas livres os seguintes elementos físicos:

- I - arquivo da documentação de proteção radiológica;
- II - instrumentos de medição, exceto para o caso de ativímetros; e
- III - quadro para monitores individuais.

Art. 31. As salas de comando em Radioterapia Veterinária com painéis de controle de fontes de radiação devem ser classificadas como áreas supervisionadas.

Art. 32. No serviço de Radioterapia Veterinária, as salas de tratamento devem ser classificadas como áreas controladas.

Parágrafo único: Fontes emissoras de radiação beta, com atividade máxima de 370 MBq, podem ser mantidas, quando fora de uso, em áreas livres desde que estejam acondicionadas em blindagens adequadas, as quais devem ser guardadas e trancadas em armário de uso exclusivo, com identificação das fontes de radiação e com o símbolo internacional de radiação.

Art. 33. Devem existir no Serviço de Radioterapia Veterinária procedimentos e dispositivos de segurança para prevenir o acesso inadvertido de pessoas não autorizadas às áreas controladas e supervisionadas (CNEN, 2022).

Além da divisão das áreas como citada acima, a CNEN NN. 6.12 (2022) determina que as salas de tratamento sejam sinalizadas, haja monitoramento dos pacientes e sistemas de segurança.

Art. 34. As salas de tratamento devem possuir:

- I - sinalização luminosa fora da sala, com luz vermelha indicando que o feixe de radiação está ligado ou que a fonte de radiação está exposta, e luz verde indicando que o feixe se encontra desligado, ou que a fonte de radiação está recolhida em sua blindagem;
- II - dispositivos eletrônicos que possibilitem a observação dos pacientes em condições de tratamento a partir da sala de comando;
- III - dispositivo identificado que possibilite a abertura da porta da sala de tratamento pelo lado interno da sala;
- IV - dispositivos que possibilitem a abertura da porta da sala, pelo lado externo, no caso de suspensão da energia elétrica; e
- V - dispositivos que possibilitem a iluminação interna da sala de tratamento em caso de suspensão da energia elétrica durante o tempo máximo necessário para retirada de pacientes da sala.

Art. 35. As salas de tratamento devem possuir sistemas de segurança com defesa em profundidade, redundância e independência, contando com, no mínimo, os dispositivos abaixo relacionados:

- I - botões de emergência localizados no painel de controle e, internamente à sala, em sua entrada e, pelo menos, em uma das paredes próximas à fonte de radiação; e

II - intertravamentos nas portas das salas de tratamento que interrompam a irradiação quando as portas forem abertas.

Parágrafo único. Os sistemas de segurança devem ser projetados de forma que:

I - defeitos em quaisquer de seus componentes impeçam o acionamento da fonte de radiação enquanto o defeito não for consertado;

II - a interrupção de seu funcionamento somente seja permitida durante procedimentos de manutenção, pelo controle direto do pessoal de manutenção com o uso de dispositivos apropriados, códigos ou chaves de proteção; e

III - quando qualquer dispositivo for acionado a irradiação seja imediatamente interrompida, sendo que o reinício do tratamento somente poderá ocorrer a partir do painel de controle da fonte de radiação (CNEN, 2022).

A Figura 11 (a; b) exemplificam alguns dos sistemas de segurança disponíveis no setor de radioterapia do HC de Botucatu-SP.

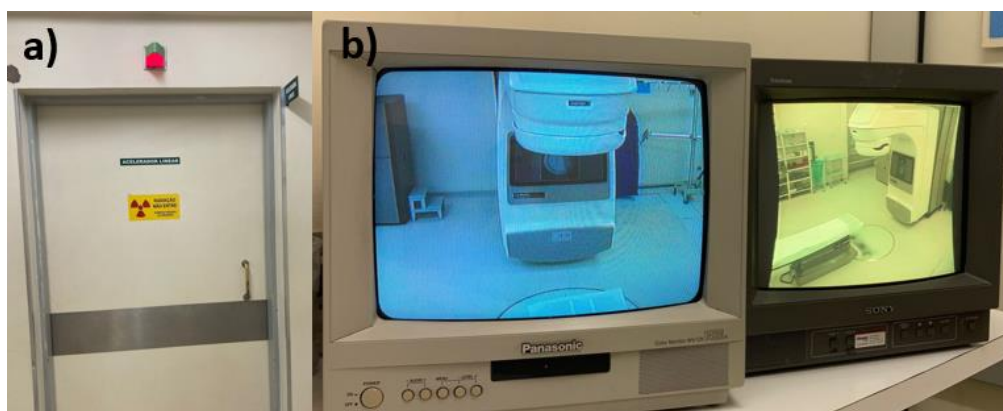


FIGURA 11 – Exemplos de sistemas de segurança do Setor de Radioterapia do HC-FMB. a) sinalização luminosa fora da sala, com a luz vermelha indicando que o feixe de radiação está ligado; luz verde que indicará quando o feixe de radiação estiver desligado; avisos indicando a proibição da entrada de pessoas não autorizadas; b) dispositivos que possibilitam o acompanhamento e observação do paciente durante o tratamento. Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

4.1.2 Responsabilidades do serviço de Radioterapia

Assim como a aprovação e autorização da construção de um serviço de radioterapia, a CNEN também determina normas e funções para os responsáveis pelo funcionamento do setor.

A Tabela 8 ilustra as principais atuações dos profissionais envolvidos na rotina de um serviço de radioterapia, de acordo com o estabelecido pela CNEN (2014); CNEN (2022).

TABELA 8 – Simplificação dos cargos e responsabilidades para o serviço de radioterapia veterinária (CNEN, 2022).

Cargo		Objetivo geral da função
Titular do serviço de radioterapia		Responsável em aplicar as normas da CNEN relativas à segurança e proteção radiológica na instalação; designar demais profissionais para compor o corpo técnico; principal contato entre a CNEN e o serviço radioterápico.
Responsável técnico pelo serviço de radioterapia		Obrigatoriamente são médicos veterinários com certificação no uso de radiações ionizantes no tratamento de animais; possuir registro na CNEN; garantir a qualidade e segurança dos pacientes durante os tratamentos; garantir que a equipe seja qualificada.
Supervisor de proteção radiológica de radioterapia		Necessário ter certificação para atuar em radioterapia; assessorar o titular e responsável técnico nos assuntos referentes a proteção radiológica; fazer cumprir o plano de proteção radiológica; analisar o controle radiológicos de áreas e individuais.
Especialista em física médica de radioterapia		Necessário ter certificação em radioterapia; responsável pelo comissionamento dos equipamentos; dosimetrias; planejamento radioterápico; programas de controle de qualidade. <i>Obs: em serviços com menos de 600 pacientes anuais, o especialista pode acumular o cargo de supervisor de proteção radiológica.</i>
Indivíduos ocupacionalmente expostos		Executar atividades seguindo as exigências do regulamento de proteção radiológica estabelecidos pelo titular do serviço de radioterapia; conhecer e aplicar as regras de proteção radiológica; participar de programas de treinamento e garantia de controle de qualidade.

4.1.3 Taxas cobradas pela CNEN

A CNEN exige o pagamento de Taxas de Licenciamento e Controle (TLC) para os atos solicitados, especificamente relacionado com a radioterapia são exigidas: a) Autorização para Construção; b) Autorização para Importação; c) Autorização para Operação; d) Autorização para Retirada de Operação; e) Emissão de Certificado de Supervisor em Radioterapia. Os valores das respectivas TLC's, bem como os procedimentos necessários para os recolhimentos estão detalhados no endereço eletrônico da CNEN.

Alguns valores praticados pela CNEN são:

- 1) Autorização para construção: R\$ 11.450,00 (onze mil quatrocentos e cinquenta reais) em 2016; atualmente R\$ 22.890,00 (vinte e dois mil, oitocentos e noventa reais).
- 2) Autorização e licença para Importação: (SLI = 1% do valor da importação - influenciável se houverem atrasos nas autorizações de construção e importação liberadas pela ANVISA e CNEN);
- 3) Autorização para operação: R\$ 7.250,00 (sete mil duzentos e cinquenta reais);
- 4) Autorização para retirada de operação: R\$ 2.870,00 (dois mil, oitocentos e setenta reais);
- 5) Emissão de Certificado de Supervisor em Radioterapia: R\$ 3.430,00 (três mil quatrocentos e trinta reais).

Considerando um equipamento do tipo acelerador linear, estimado em U\$ 1.200.000,00 (um milhão e duzentos mil dólares), e o câmbio atualizado de R\$ 5,17/U\$, o valor a ser pago na TLI (Taxa de Licença de Importação) é de aproximadamente: R\$ 62.040,00 (sessenta e dois mil e quarenta reais).

As instituições públicas, tais como a UNESP, e as filantrópicas e de pesquisa são isentas de pagamentos da TLC.

4.2 Análise do projeto arquitetônico – aspectos econômicos

Uma análise financeira da construção de um serviço de radioterapia foi realizada considerando os projetos arquitetônicos elaborados para o serviço de radioterapia da FMVZ. O serviço de radioterapia em questão foi projetado com área edificada de 763,49m² (FERNANDES, 2018).

Na Figura 12 é possível visualizar a divisão das dependências projetadas para o serviço de radioterapia veterinária

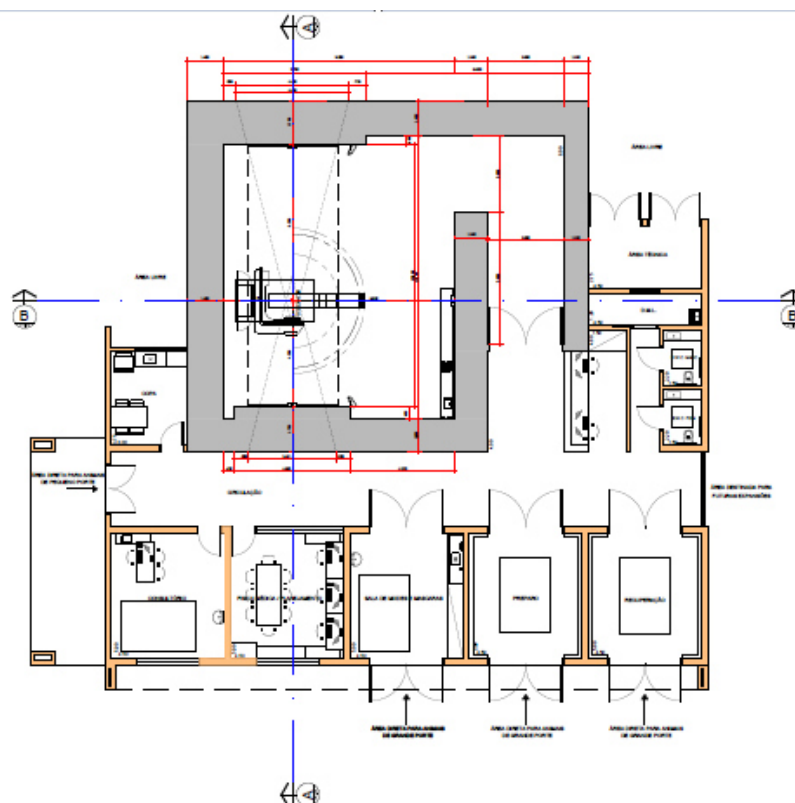


FIGURA 12 – Planta baixa de um serviço de radioterapia. Fonte: FERNANDES, 2018.

A construção do *bunker* (casamata) onde fica instalado o equipamento emissor de radiação ionizantes (acelerador linear), devido às suas complexas especificidades, principalmente devido à grande espessura das paredes, teto e piso, representa uma etapa onerosa e lenta das obras de edificação.

O valor total da obra, para o projeto da FMVZ, considerando um valor médio estipulado de R\$ 4.000,00 (quatro mil reais) por metro quadrado construído, será de R\$ 3.050.000,00 (três milhões e cinquenta mil reais). Estes

valores variam em função da localidade da obra e tipos de materiais empregados.

4.3 Contato com fornecedores de equipamentos e acessórios

Foi realizado contato com o representante comercial de uma empresa fornecedora de equipamentos radioterápicos, a fim de coletar dados sobre os equipamentos e seu avanço para o uso na medicina veterinária.

A empresa da pesquisa possui atualmente grupos nos Estados Unidos, Europa e partes da Ásia dedicadas apenas para centros radioterápicos veterinários, que estão em grande crescimento. Em contrapartida, na América Latina a especialidade ainda não é tão presente.

Quando se pensa em adquirir um equipamento radioterápico, são necessárias algumas considerações:

a) Em alguns países é permitido o comércio e uso de equipamentos de radioterapia usados. No entanto, no Brasil, por motivos de segurança, esta prática é proibida para equipamentos de uso em humanos. Para a liberação, o equipamento precisa ser recondicionado pelo fabricante, ou que a mesma entidade mova o equipamento de local, sem alterar o proprietário, respeitando sempre as normativas;

b) Não há diferença entre os aceleradores lineares, sistemas de planejamento e gerenciamento quando comparados com os utilizados em humanos. São os mesmos produtos. As variações estão relacionadas com acessórios, como por exemplo, mesa especiais para o atendimento de animais de grande porte, acessórios de posicionamento, sedação, controle de temperatura e higienização;

c) As técnicas radioterápicas utilizadas são as mesmas usadas na radioterapia de humanos, mesmo as mais complexas, tais como: a radioterapia 3D (tridimensional) e as de intensidade modulada (IMRT e VMAT). O uso de imagens anatômicas dos pacientes contribui para maior benefício aos pacientes atendidos. O tratamento também apresenta maior efetividade com a aplicação de algoritmos de cálculo de dose com correção de heterogeneidade.

d) A empresa tem um portfólio completo no segmento de acelerador linear, sistemas de *softwares* e acessórios de controle de qualidade incorporado aos equipamentos. Sobre o sistema de planejamento, ela oferece o TPaaS (*Treatment Planner as a Service*), onde um centro especializado realiza o *upload* do caso, e profissionais da área aplicam as ferramentas de inteligência artificial, regressando o planejamento de tratamento pronto para revisão e eventual aprovação local.

Com relação aos valores dos equipamentos, altera muito de acordo com a configuração. Para equipamentos novos e bem equipados, as soluções geralmente giram em torno de US\$ 1.250.000,00 (um milhão, duzentos e cinquenta mil dólares), equivalente ao câmbio atual – 19/08/2022 à: R\$ 6.493.500,00 (seis milhões, quatrocentos e noventa e três mil e quinhentos reais) até US\$ 2.750.000,00 (dois milhões, setecentos e cinquenta mil dólares), cerca de R\$ 14.285.700,00 (quatorze milhões, duzentos e oitenta e cinco mil e setecentos reais). No Brasil, se a importação for por uma entidade com certificado de filantropia não há carga tributária adicional, caso seja uma instituição privada, em geral os tributos adicionais podem representar até 40% do valor do equipamento.

Outro fator economicamente importante para a aquisição do equipamento radioterápico, são os custos gerados com o despachante importador, e deve ser acrescido do aluguel do *container*, valor esse influenciado pelo tempo que o equipamento ficará armazenado até a sua efetiva liberação alfadegária e instalação na clínica.

Para obter a licença de funcionamento expedida pela CNEN e pela ANVISA, é necessário a aquisição de equipamentos de controle de qualidade e dosimetria dos feixes de radiação emitidos pelo equipamento de tratamento. Os custos destes equipamentos de dosimetria variam de acordo com o nível da tecnologia do equipamento adquirido. A RDC nº 20/2006 da ANVISA, preconiza alguns instrumentos de dosimetria.

Os valores desses equipamentos de dosimetria suficientes para a realização de técnicas convencionais, RT-3D e IMRT, variam em torno de U\$ 93.000,00 (noventa e três mil dólares), correspondendo ao valor da cotação atual

de R\$ 484.158,00 (quatrocentos e oitenta e quatro mil, cento e cinquenta e oito reais) (GABRIEL, 2016).

Para a realização dos procedimentos radioterápicos é necessário o uso de acessórios específicos, no caso de radioterapia veterinária é fundamental a imobilização do animal durante o ato do tratamento, podemos citar como acessórios usados, o colchão a vácuo (Figura 13a) e a máscara termoplástica (Figura 13b), fabricados e disponibilizados em vários formatos e tamanhos de acordo com a necessidade do cliente.

Para o uso do colchão a vácuo é necessário adquirir a bomba de vácuo (Figura 13c), que quando acionada irá enrijecer o colchão moldando a forma anatômica a ser irradiada. Para a moldagem das máscaras termoplásticas, é necessário um aquecedor de água específico para esse uso (Figura 13d). As diferentes anatomias requerem o uso de bases e suportes específicos (Figura 13e), onde serão fixadas as máscaras de imobilização.

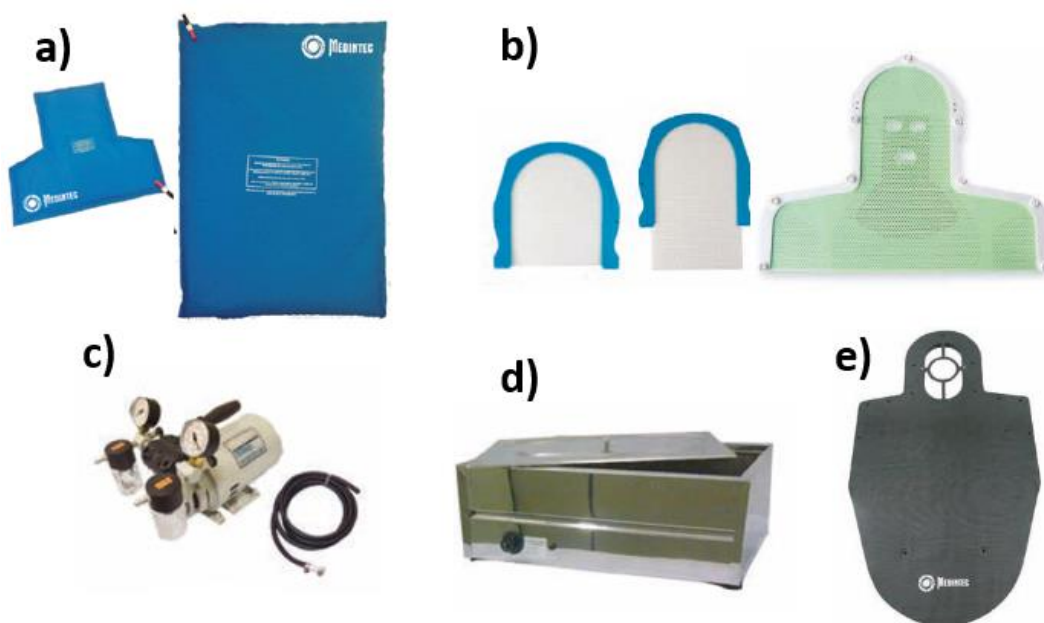


FIGURA 13 – Principais acessórios utilizados para imobilização e posicionamento na radioterapia veterinária. a) Exemplos de modelos de colchões a vácuo; b) exemplos de modelos de máscaras termoplásticas disponíveis; c) bomba a vácuo; d) aquecedor de água usado na moldagem das máscaras termoplásticas; e) base desenvolvida para fixação das máscaras termoplásticas durante o tratamento. FONTE: MEDINTEC, 2022.

A soma dos acessórios básicos necessários para o tratamento em radioterapia veterinária sugeridos pela empresa fornecedora de acessórios gira em torno de R\$ 27.000,00 (vinte e sete mil reais), sendo variável de acordo com a necessidade e quantidade adquirida pelo centro radioterápico.

Considerando os valores acima estimados, o valor totalizado dos custos apontados na pesquisa para a implantação do serviço de radioterapia na medicina veterinária soma a quantia de R\$ 10.138.828,00 (dez milhões, cento e trinta e oito mil, oitocentos e vinte e oito reais) a R\$ 36.363.600,00 (trinta e seis milhões, trezentos e sessenta e três mil e seiscentos reais).

Para o funcionamento de um serviço de radioterapia veterinária, que aplique apenas procedimentos radioterápicos convencionais, é necessário a atuação de uma equipe multiprofissional com no mínimo: 01 (um) médico veterinário com especialização em radioterapia; 01 (um) físico médico e supervisor de radioproteção; 02 (dois) tecnólogos em radiologia; um anestesiologista veterinário e uma secretária. Considerando o valor salarial do piso dos tecnólogos, médico veterinário e anestesia, e valor de mercado para o físico médico e secretária. O custo total mensal estimado com as remunerações dos profissionais resulta em R\$ 26.000,00 (vinte e seis mil reais). Considerando o custo de manutenção mensal com o contrato do fabricante do equipamento irradiador e demais encargos estimados em R\$15.000,00 (quinze mil reais), o custo mensal para o funcionamento do serviço será de R\$ 41.000,00 (quarenta e um mil reais). Considerando que o serviço realizará em média 8 (oito) procedimentos de radioterapia veterinária diariamente, e que cada paciente fará 10 aplicações, uma por dia de tratamento, ter-se-ia 16 pacientes tratados ao mês, o custo mensal de cada paciente, visando apenas a cobertura dos custos básicos de funcionamento do serviço, deve ser de aproximadamente: R\$ 2.600,00 (dois mil e seiscentos reais), o que resulta em um custo por cada procedimento, em torno de: R\$ 260,00 (duzentos e sessenta reais).

Pensando em um tempo de recuperação do investimento da implantação do serviço em 5 anos, considerando o valor do investimento total, mais o custo da operação mensal, a receita mensal para reposição do investimento deverá ser de R\$ 170.000,00 (cento e setenta mil reais), ou seja, o valor por paciente ficaria em torno de R\$ 13.200,00 (treze mil e duzentos reais).

4.4 Acompanhamento da rotina de radioterapia com técnicas avançadas

Com a finalidade de compreender melhor o funcionamento e custos das técnicas avançadas de radioterapia, além de possíveis adequações para o uso na radioterapia veterinária, foi realizada visita técnica em um hospital particular na cidade de São Paulo-SP. Esse serviço em questão conta com equipamento de alta tecnologia (Figura 14), por meio do qual são possíveis as realizações das técnicas de IMRT, VMAT, SBRT, IGRT e Radiocirurgia.



FIGURA 14 – Acelerador Linear - serviço particular da cidade de São Paulo. A) Acelerador Linear com a mesa 6D (seta amarela) e o *phantom* (seta vermelha) utilizado no controle de qualidade; B) Parte traseira do equipamento (sistemas elétricos); C) US utilizado para guiar o procedimento por imagem em casos específicos, como por exemplo, em tratamento da próstata; D) mesa de comandos, onde ocorre a liberação da dose e acompanhamento do paciente durante o tratamento. Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

Um exemplo utilizado no serviço radioterápico da visita que seria bem aplicado na veterinária, é o caso da modulação do feixe de acordo com o movimento do órgão (4D). Assim como na radioterapia convencional em casos específicos se tem a necessidade da cooperação do paciente, por exemplo, através do controle da respiração (inspiração-expiração), com essa técnica é possível acompanhar o órgão em tempo real e verificar se o alvo está sendo atingido. Como na veterinária não se tem a cooperação do paciente durante o tratamento, o uso de técnicas avançadas como essa iria trazer maior qualidade e segurança no tratamento.

Assim como na radioterapia humana, cada paciente possui suas particularidades, existindo diferentes formas de posicioná-los, considerando a região anatômica e a lesão, na veterinária, esse aspecto fica ainda mais evidente, em vista da especificidade anatômica de cada espécie.

Para facilitar no posicionamento e enquadramento do campo de radiação planejado, modernas tecnologias disponibilizam sensores, *lasers* e câmeras de monitoramento na sala de tratamento (Figura 15), possibilitando que o profissional acompanhe o posicionamento, e caso necessite de intervenções, o posicionamento é adequado por meio de movimentos, como pequenas angulações na própria mesa (6D). A mesa de tratamento convencional usada na técnica de RT-3D não tem a possibilidade de movimento simultâneo com o feixe de irradiação, sendo que o posicionamento é corrigido apenas com acessórios e após o procedimento radioterápico.



FIGURA 15 – Sensores, lasers (seta verde) e câmeras (seta azul) na sala de tratamento. Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

Quanto mais sofisticada a tecnologia disponível nos equipamentos, mais benefícios terapêuticos ela pode proporcionar. Todavia, também será maior os custos dos investimentos necessários para a aquisição e manutenção da máquina de tratamento e dos instrumentos de controle de qualidade.

No serviço radioterápico da visita técnica foram realizadas estimativas de valores de investimentos aplicados. O custo do equipamento de tratamento é em torno de US\$ 4.000.000,00 (quatro milhões de dólares), no câmbio atual (19/08/2022 - R\$ 5,19/US\$), este valor representa cerca de R\$ 20.779.200,00 (vinte milhões, setecentos e setenta e nove mil e duzentos reais); o armário de acessórios (Figura 16) estimado no valor de € 40.000,00 (quarenta mil euros), cerca de R\$ 208.412,90 (duzentos e oito mil, quatrocentos e doze reais e noventa centavos); o equipamento vem com os *softwares* básicos e específicos para a funcionalidade do irradiador, sendo cada *upgrade* (atualizações) estimado no valor de US\$ 100.000,00 (cem mil dólares), cerca de R\$ 519.480,00 (quinhentos e dezenove mil, quatrocentos e oitenta reais). Um dos acessórios utilizados para o controle de qualidade é o objeto simulador (*phantom*), com valor estimado de US\$ 60.000,00 (sessenta mil dólares), cerca de R\$ 311.688,00

(trezentos e onze mil, seiscentos e oitenta e oito reais). Em geral, a estimativa de custos para a implantação do serviço com a técnica avançada similar ao da visita técnica é em torno de US\$ 7.000.000,00 (sete milhões de dólares), cerca de R\$ 36.363.600,00 (trinta e seis milhões, trezentos e sessenta e três mil e seiscentos reais).



FIGURA 16 – Armário organizado com os acessórios de posicionamento e imobilização. Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

4.5 Acompanhamento das rotinas na radioterapia do HC-FMB e Cempas-FMVZ

4.5.1 Rotina no Setor Técnico de Radioterapia do HC-FMB

A rotina no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas (HC) da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB) foi acompanhada para se compreender as especificidades da técnica convencional utilizada, assim como o equipamento, acessórios e planejamentos, visando a adequação para o uso na medicina veterinária.

O equipamento em uso atualmente é o acelerador linear da marca Varian, modelo Clinac 2100C (Figura 6), responsável por atender pacientes da cidade de Botucatu-SP e região.

Primeiramente, o paciente com indicação para a radioterapia comparece no setor para obtenção das imagens anatômicas para o planejamento do tratamento. Nessa etapa o paciente é posicionado de acordo com a lesão a ser tratada em um equipamento simulador (Figura 17), o qual simula as condições de operação do equipamento de radioterapia. Nesse primeiro momento, são analisados os acessórios a serem usados no tratamento, delimitado e marcado o campo de radiação em conformidade com a prescrição e localização anatômica da lesão e da área a ser irradiada.



FIGURA 17 – Simulador para planejamento radioterápico. Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

Na técnica de radioterapia bidimensional (RT-2D), antigamente usada, as imagens dos campos de radiação eram realizadas no próprio equipamento simulador. Com o avanço tecnológico e o desenvolvimento de sistemas de planejamento computadorizado, tornou-se possível o planejamento do tratamento de forma tridimensional (RT-3D), onde as imagens das áreas irradiadas são realizadas em um equipamento de tomografia computadorizada. A visão em três dimensões da região anatômica da área irradiada possibilita maior conformação do campo de tratamento com melhor preservação dos tecidos sadios circunvizinhos ao volume alvo de tratamento.

Alguns serviços de radioterapia possuem um equipamento de tomografia computadorizada especialmente dedicado ao setor de radioterapia (CT-SIM). Todavia, na rotina do serviço de radioterapia do HC-FMB, utiliza-se o equipamento de tomografia do setor de radiodiagnóstico por imagem. Para tanto, são necessárias algumas adaptações no equipamento de TC, tais como o uso de uma prancha reta e horizontal para garantir a imobilização planejada da área a ser irradiada (Figura 18).



FIGURA 18 – Tomógrafo adaptado para planejamento radioterápico. Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

Após a primeira etapa de planejamento no simulador, que consiste nas definições dos acessórios de posicionamento e na escolha do isocentro a ser utilizado como referência na tomografia, o qual será marcado na região de interesse com tinta específica, os pacientes são encaminhados para o setor de tomografia, onde são posicionados com os acessórios previamente escolhidos e as marcações são alinhadas com os *lasers* do equipamento de tomografia, são colocados marcadores radiopacos no centro das marcações, então é feita a análise da simetria dos marcadores por meio do *scout*, que devem estar alinhados no mesmo plano de corte. Para a aquisição das imagens são definidos

alguns parâmetros junto ao *software* tomográfico: espessura dos cortes, espaçamento entre as imagens, janela a ser utilizada de acordo com a região do estudo, tamanho do FOV (campo de visão) e região de abrangência do exame. Depois da aquisição das imagens, será realizada uma pequena marca definitiva no centro das marcações. Essas marcações serão utilizadas como guia durante todo o tratamento. A Figura 19 ilustra a sequência de aquisição das imagens de planejamento radioterápico para tratamento de região torácica.

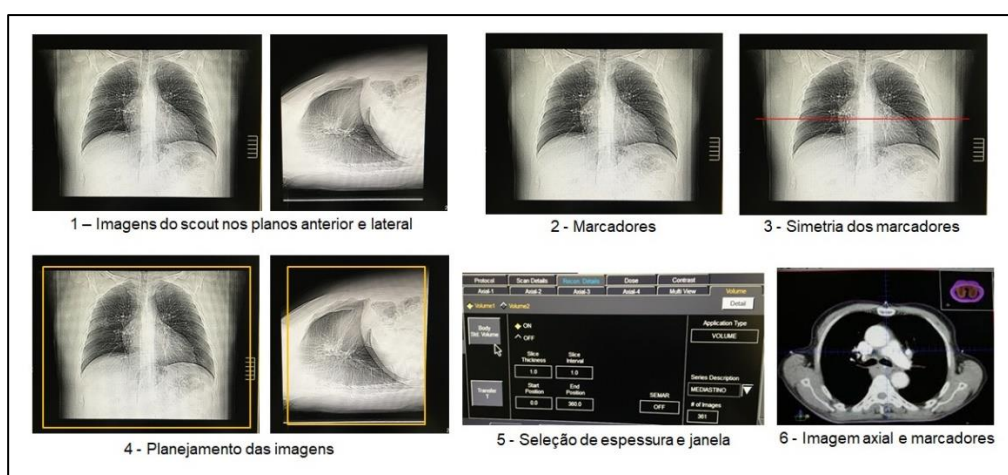


FIGURA 19 – Sequência de aquisições das imagens no planejamento radioterápico. Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

Após a tomografia de planejamento, as imagens são enviadas para o PACS (sistema de comunicação e arquivamento de imagens), sendo importadas para o sistema de planejamento do tratamento radioterápico (TPS), onde serão feitos os cálculos dos parâmetros radiométricos (distribuição de doses de radiação, angulações do *gantry*, da mesa e colimador, etc...) considerando o volume alvo e os órgãos de risco, visando a melhor otimização do tratamento, buscando liberar a dose total preconizada no volume alvo e minimizar os efeitos radiobiológicos nos tecidos sadios atingidos.

Nesta etapa o paciente não está presente. Ele retorna após alguns dias para a realização do deslocamento do isocentro da tomografia para o isocentro de tratamento, quando houver, e realizará um portal filme para checagem do campo a ser tratado, o qual deverá ser aprovado pelo médico radioterapeuta, dando início do tratamento.

Cada paciente possui além do seu prontuário clínico, uma ficha técnica de tratamento, elaborado pelo físico médico do serviço, na qual consta todos os detalhes do seu tratamento. Os dados constantes na ficha técnica devem ser rigorosamente reproduzidos diariamente pelo profissional que aplicará o tratamento do paciente.

A Figura 20 apresenta alguns acessórios moldados e utilizados no decorrer do tratamento de pacientes humanos, visando a reprodutibilidade e eficácia do tratamento.

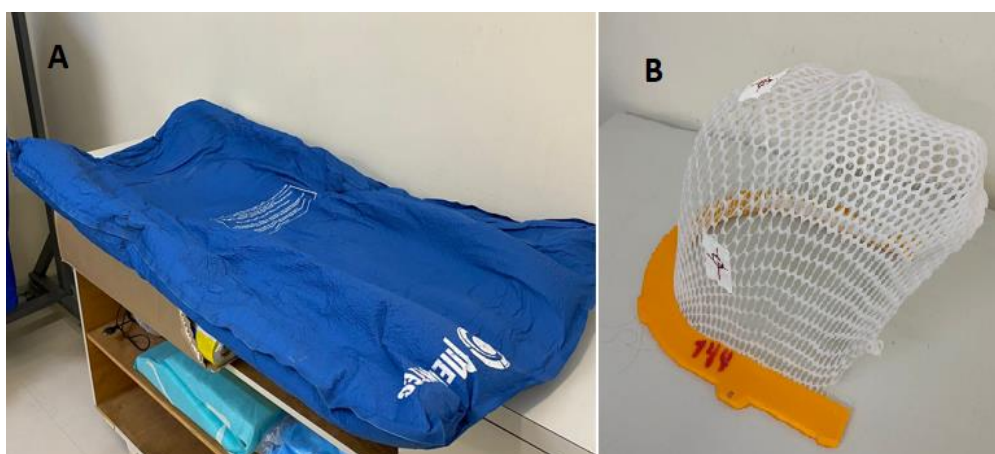


FIGURA 20 – Acessórios moldados de acordo com a anatomia do paciente. A) colchão a vácuo moldado para paciente; B) máscara termoplástica moldada e marcada para paciente. Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

Por ser um equipamento de radioterapia convencional, ainda existem algumas limitações frente as técnicas avançadas, como por exemplo, a conformidade do feixe de radiação pelos colimadores *multileaf* não permitem uma variação grande de formatos, como acontece na IMRT. Nesses casos, podem ser utilizados blocos de colimação confeccionadas com uma liga metálica denominada cerrobend. Para o tratamento de lesões mais superficiais como tumores de pele, utiliza-se o aplicador de elétrons (Figura 21 - A) sendo também necessário confeccionar blocos de chumbo (Figura 21 - B) para a colimação de áreas sadias ao redor do campo de tratamento.

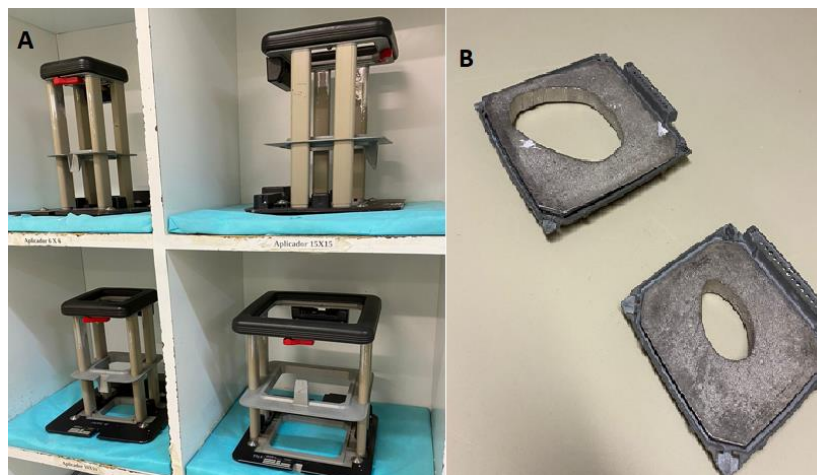


FIGURA 21 – Aplicadores de elétrons e blocos de chumbo. A) Diferentes tamanhos de aplicadores de elétrons (utilizados para lesões mais superficiais); B) blocos de chumbo construídos com o formato das lesões dos pacientes.
Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

A aquisição da imagem com o paciente posicionado para o tratamento (portal filme), é realizada no próprio feixe de radiação do AL, com um porta filme (chassi) posicionado no respectivo suporte (Figura 22), e centralizado com o campo de radiação. O filme radiográfico é submetido ao processo de revelação em uma processadora automática. Em serviços de radioterapia mais avançados, as imagens dos campos de radiação são obtidas em tempo real através de sistemas de aquisição de imagens digitais (IGRT – radioterapia guiada por imagem), disponíveis na sala de tratamento.



FIGURA 22 – Portal para realização da imagem no Setor de Técnico de Radioterapia do HC-FMB. Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

Assim como ocorre no tratamento com técnicas avançadas, igualmente na técnica convencional, durante todo o tratamento o paciente após o posicionamento, tem a dose liberada pelo sistema de tratamento e é monitorado por um sistema de câmeras de vídeo, garantindo que não haja nenhuma movimentação após o correto posicionamento de tratamento (Figura 23).

O tratamento é realizado de 2^a a 6^a feiras, 5 vezes por semana, geralmente com 20 a 39 frações.

A quantidade de sessões é um fator limitante para os casos de radioterapia veterinária, uma vez que os animais necessitam de procedimentos de anestesia para a correta imobilização durante a liberação da dose de radiação. Por isto é recomendado o hiperfracionamento, onde são diminuídas as quantidades de aplicações e aumentadas as doses por fração.

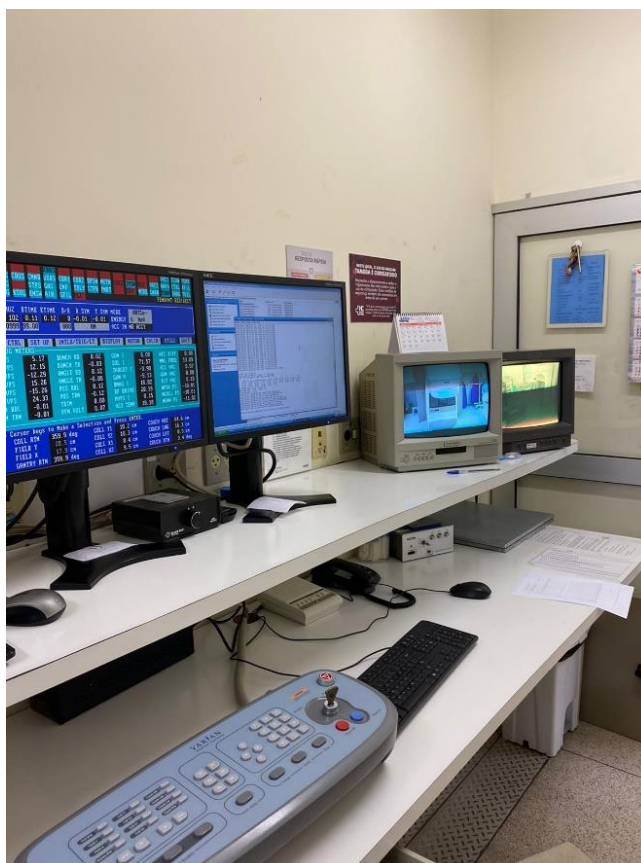


FIGURA 23 – Mesa de comandos do Setor Técnico de Radioterapia do HC-FMB. Fonte: material elaborado pela autora, 2022.

4.5.2 Análise de prontuários do CEMPAS-FMVZ

Para melhor conhecimento da casuística de incidências de tumores de pacientes assistidos pelo Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens (CEMPAS) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) de Botucatu-SP, foi realizada a análise dos prontuários dos animais atendidos, focando nos casos oncológicos. O período analisado foi de 26/05/2015 até 29/11/2021. A Tabela 9 apresenta a distribuição dos casos clínicos analisados.

TABELA 9 – Quantidade de pacientes atendidos no CEMPAS

Caderno	Período	Quantidade de atendimentos	Casos oncológicos	Percentual (%)
Caderno 1	26/05/2015 – 05/07/2017	3.019	25	0,83
Caderno 2	10/06/2017 – 13/08/2019	3.178	33	1,04
Caderno 3	13/08/2019 – 29/11/2021	3.066	26	0,85
TOTAL	26/05/2015 – 29/11/2021	9.263	84	1,10

A tabela traz o total de casos atendidos no CEMPAS no período de 2015 até 2021, incluindo os pacientes que também passaram por retorno médico.

Nota-se que no caderno 3 o período de preenchimento completo é maior se comparado com os demais, fator esse influenciado pela pandemia do Covid-19, no qual houve a suspensão dos atendimentos por um período.

A Tabela 10 apresenta os casos oncológicos conclusivos, ou seja, aqueles que confirmaram as classificações dos tumores, especificando o tipo de neoplasia, a espécie atendida e origem do animal. Foram considerados apenas os casos novos, excluindo animais de retorno que foram repetidos nas anotações.

TABELA 10 – Casos oncológicos conclusivos nas espécies atendidas no CEMPAS (26/05/2015 a 29/11/2021)

Tipo de Neoplasia	Espécie	Origem
Carcinoma epidermóide	Porquinho da índia (<i>Cavia porcellus</i>)	Particular
Carcinoma mamário	Porquinho da índia (<i>Cavia porcellus</i>)	Particular
Fibrossarcoma	Onça pintada (<i>Panthera onca</i>)	Zoológico
Adenocarcinoma em anexo cutâneo	Rato (<i>Rattus norvegicus</i>)	Particular
Carcinoma	Calopsita (<i>Nymphicus hollandicus</i>)	Particular
Adenocarcinoma mamário	Rato (<i>Rattus norvegicus</i>)	Particular
Carcinoma	Rato (<i>Rattus norvegicus</i>)	Particular
Carcinoma mamário	Coelho (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	Particular
Carcinoma	Papagaio (<i>Amazona sp</i>)	Particular
Insulinoma	Furão (<i>Mustela putorius furo</i>)	Particular
Sarcoma	Codorna (<i>Nothura maculosa</i>)	Particular

Os casos que não tiveram o tipo da neoplasia especificado, mas apresentaram sinais clínicos ou evidências de tumor nos prontuários analisados estão detalhados na Tabela 11 conforme a espécie, região (caso tenha sido especificada) e origem.

TABELA 11 – Neoplasias não especificadas ou inconclusivas das espécies atendidas no CEMPAS (26/05/2015 – 29/11/2021)

Espécie	Região	Origem
Canário de Reino (<i>Serinus canaria</i>)	Pena	Particular
Coelho (<i>Oryctolagus cuniculus</i>) (11)	Membro torácico direito Região ventral Escápula N/E (3) Região anal Região cervical Face Região torácica Mama	Particular (11)
Rato (20) (<i>Rattus norvegicus</i>)	Mama (4) N/E (5) Região axilar Região dorsal (2) Abdômen (3) Região cervical Face Região torácica Corpo (2)	Particular (17) Doação (1) Pesquisa (1) Resgate (1)
Papagaio (<i>Amazona sp</i>) (3)	N/E (3)	Particular (3)
Jabutí (<i>Chelonoidis carbonária</i>)	Membro pélvico direito	Particular
Curió (<i>Oryzoborus angolensis</i>)	Bico	Particular
Porquinho da Índia (<i>Cavia porcellus</i>) (3)	Mama (2) Ovário	Particular (3)
Hamster (<i>Cricetus cricetus</i>) (5)	N/E Face Testículo Membro pélvico esquerdo Fígado	Particular (5)
Coleirinho (<i>Sporophila caerulescens</i>) (2)	Olho esquerdo Região peitoral	Apreensão CFAU

Espécie	Região	Origem
Gerbil (<i>Meriones unguiculatus</i>)	Abdômen	Particular
Onça pintada (<i>Panthera onca</i>)	Abdômen	Zoológico
Periquito-australiano (<i>Melopsittacus undulatus</i>)	Região peitoral	Particular
Anta (<i>Tapirus terrestris</i>)	Reto	Zoológico
Jararaca (<i>Bothrops jararaca</i>) (4)	N/E (3) Cavidade oral	CEVAP (4)
Sabiá (<i>Turdus rufiventris</i>)	N/E	CEMPAS
Leão (<i>Panthera leo</i>)	Encéfalo/fígado	Zoológico
Galo (<i>Gallus gallus domesticus</i>)	N/E	Particular

Legenda: N/E: Não especificada; (Número): Quantidade acima de 1; CFAU: Centro Fauna; CEVAP: Centro de Estudo de Venenos e Animais Peçonhentos.

A partir da análise das Tabelas 9, 10 e 11, é possível visualizar que no total de casos oncológicos ou com evidência clínica de tumor, foram assistidos no CEMPAS no período de 26/05/2015 a 29/11/2021 a quantidade de 84 casos, sendo 69 casos novos, ou seja, excluído pacientes de retorno ou que em algum momento anterior já tiveram atendimento no CEMPAS. Verifica-se uma variedade de 20 espécies diferentes, pelas quais as origens são esclarecidas na Figura 24.



FIGURA 24 – Origem dos animais oncológicos atendidos no CEMPAS no período de (26/05/2015 – 29/11/2021). Fonte: Material elaborado pela autora, 2022.

Ao analisar a Figura 24 em conjunto com as tabelas 10 e 11, verifica-se que dos animais atendidos, 78% correspondem a animais oriundos de proprietários particulares, seguido dos animais de zoológicos (7%), sendo que a espécie predominante nos atendimentos oncológicos foi o rato (*Rattus norvegicus*).

4.6 Contato com serviço de radioterapia veterinária no Brasil

O centro radioterápico localizado no Rio de Janeiro-RJ está em funcionamento desde o ano de 2010. Inicialmente, o serviço utilizava um equipamento de ortovoltagem, e a partir de 2016 realizaram a troca de equipamento para a Unidade de Telecobaltoterapia, marca Theratronics, modelo Theratron 780C, os planejamentos radioterápicos são realizados de forma manual, baseados em tomografia computadorizada ou ressonância magnética e simulação 2D (com radiografias).

Para a colimação do feixe e delimitação do campo a ser irradiada, são utilizados acessórios específicos, como por exemplo, blocos de proteção de cerrobend pré-moldados ou confeccionados exclusivamente para o animal. Além disso, para a correta imobilização do paciente, em alguns casos, se faz necessário o uso de máscaras termoplásticas.

Nesse centro radioterápico são realizados tratamentos em cães e gatos, com indicações para tratamento definitivo (pós-operatória, pré-operatória e primária) e tratamento paliativo (tumores avançados, metastáticos e pacientes debilitados), conforme o protocolo radioterápico preconizado. Para tratamentos definitivos, normalmente realiza-se de 10 (dez) a 20 (vinte) sessões de radioterapia, em 3 a 5 vezes por semana. O tratamento paliativo é realizado em 1 (uma) até 6 (seis) frações, aplicadas 1 (uma) a 2 (duas) vezes por semana. A Tabela 12 traz os principais tratamentos realizados no centro de radioterapia veterinário da pesquisa.

TABELA 12 – Principais tratamentos realizados no centro radioterápico do Rio de Janeiro-RJ

Região tratada	Tipos de tumores
Nasal	Carcinoma nasal; linfoma nasal
Oral	Melanoma; carcinoma; ameloblastoma
Cerebral	Tumores hipofisários; meningiomas ou tumores glicose (o diagnóstico é baseado em exames de imagem e não em histopatologia nesses casos)
Pele	Tumores cutâneos e subcutâneos operados sem margem
Radioterapia paliativa	Tumores avançados e/ou metastáticos.

5. DISCUSSÃO

A partir dos anos 2.000 evidencia-se o crescimento do uso da radioterapia aplicada na medicina veterinária, constando naquele ano 30 (trinta) instalações nos Estados Unidos, dos quais 11 (onze) equipamentos eram AL (VETTORATO *et al.*, 2017; LARUE; GILETTE, 2001). Em 2001, a pesquisa realizada por Mcetee (2004), apontou o aumento de 12 centros de radioterapia nos Estados Unidos, ou seja, um total de 42 centros radioterápicos específicos para medicina veterinária. Enquanto em 2014, a técnica radioterápica aplicada na medicina veterinária já contava com 66 centros radioterápicos localizados nos Estados Unidos, 6 na Europa e 4 no Canadá, nos quais alguns centros já utilizavam equipamentos com tecnologias avançadas (FARRELY; MCENTEE, 2014).

Considerando o crescimento mundial do uso da radioterapia na medicina veterinária e as particularidades legais de cada país, o estudo realizado primeiramente traz uma abordagem sobre os aspectos legais para a implantação de um centro radioterápico no Brasil, contribuindo para orientar e subsidiar as ações dos gestores e interessados em instalar um serviço de radioterapia veterinária. Para o correto funcionamento e operacionalidade do serviço de radioterapia veterinária, é fundamental a atuação de uma equipe primária qualificada (médico veterinário, físico médico, arquiteto hospitalar, radioterapeuta, anestesista e tecnólogos em radiologia) que irão nortear o andamento e desfecho das etapas seguintes de acordo com os órgãos regulamentadores do Brasil, tais como a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Ministério da Saúde (MS), autarquias da Receita Federal (órgão responsável pelas licenças de importação dos equipamentos).

Diferentemente da radioterapia aplicada em humanos, quando se pensa em realizar o procedimento radioterápico na medicina veterinária, algumas particularidades já estão sendo consideradas e aprimoradas em pesquisas acadêmicas. Ferreira (2019) propôs um plano de radioproteção para a radioterapia veterinária.

Fernandes (2018), realizou um estudo em dois centros de radioterapia humana, sugerindo 2 modelos de dimensionamento para as paredes de radioterapia na veterinária, sendo a Figura 25 (a) com a parede denominada labirinto, comumente usada na radioterapia humana, mas com o limitante por ter o espaço reduzido no corredor para a entrada na sala de tratamento, o que dificulta o atendimento de grandes animais; a Figura 25 (b) sem a parede labirinto, ampliando o espaço de entrada da sala de tratamento, facilitando o acesso de pequenos e grandes animais. O estudo mostrou uma redução de 1,1% da quantidade volumétrica das paredes da sala projetada com a parede labirinto, no entanto, sem diferenças significativas para efeitos de proteção radiológica e custos de construção.

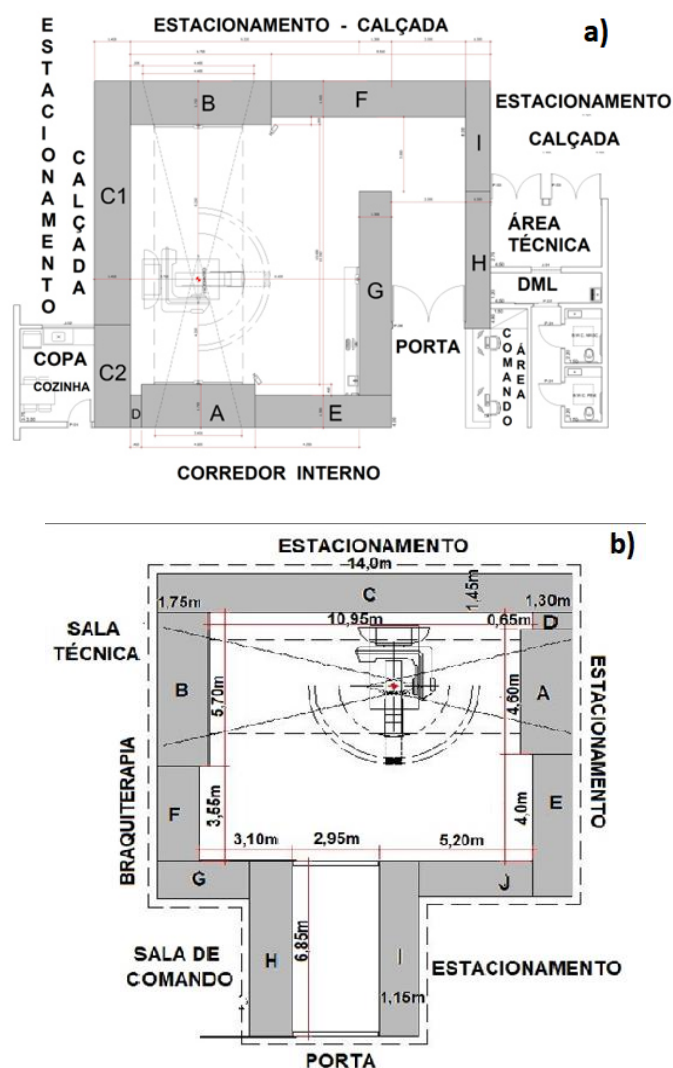


FIGURA 25 – Projeções das paredes da sala de radioterapia. a) Sala projetada com a parede labirinto; b) Sala projetada sem a parede labirinto. Fonte: FERNANDES, 2018.

A área da medicina veterinária ainda carece de definições quanto ao comportamento da curva de dose-resposta do tecido irradiado. Assim, torna-se necessária a realização de pesquisas mais aprofundadas sobre a radiosensibilidade em animais, face às diferentes especificidades dos diversos organismos e raças.

Com relação aos dados coletados com o fornecedor de equipamentos radioterápicos, é possível verificar que a radioterapia veterinária ainda não é tão explorada na América do Sul, no entanto, não existe diferença entre o equipamento radioterápico humano e veterinário e seus sistemas de planejamentos. Assim como citado por Larue; Custis (2014), os protocolos radioterápicos também têm como base os realizados em humanos, bem como mostrou Silva (2018), a possibilidade de adequação do uso do *software* 3-D utilizado na radioterapia humana para planejamento de tratamento (TPS) com base em imagens tomográficas de animais selvagens atendidos na FMVZ. Nesse caso, o serviço precisa dispor de um equipamento que realize as imagens tridimensionais (ressonância magnética; tomógrafo), exclusivamente para a radioterapia, ou utilizando o mesmo equipamento das rotinas de imagens, como visto o exemplo do HC-FMB. Portanto, a principal diferença para com a aquisição do equipamento veterinário, está nos acessórios e tamanho da mesa.

Sobre os resultados obtidos com o acompanhamento da rotina com técnicas avançadas de radioterapia aplicada em humanos, foi possível verificar que o equipamento de alta tecnologia conta com funções não disponibilizadas na radioterapia convencional, e assim como no uso em humanos, na veterinária se tornam fundamentais, tendo em vista necessidades específicas na veterinária, como por exemplo o hipofracionamento e a não imobilização voluntária do animal durante o tratamento.

É possível comparar os resultados obtidos no acompanhamento das rotinas com as tabelas 4, 5 e 6 adaptadas de Larue; Cutis (2014), as principais indicações, vantagens e desvantagens das técnicas avançadas de radioterapia por IMRT, IGRT, SBRT, destacando-se para os benefícios como uma entrega de dose mais homogênea e conformada, e ainda tendo como o principal limitante o alto custo com o equipamento e manutenção.

Os procedimentos radioterápicos da rotina da medicina humana foram acompanhados durante o período de visitas realizadas no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu (HC-FMB). Nesta ocasião pode-se idealizar algumas adaptações nos acessórios de imobilização, planos de tratamento e documentos técnicos dos pacientes, que possam ser aplicados na rotina de um serviço de radioterapia veterinária.

Alguns acessórios (Figura 20) utilizados na rotina no HC-FMB, e apresentados pelo fornecedor de acessórios, são facilmente adaptáveis para o uso na veterinária, como por exemplo, o colchão a vácuo e a máscara termoplástica. Estes acessórios permitem o acondicionamento do corpo de cada animal, respeitando a anatomia e particularidade de cada espécie e a reprodutibilidade do posicionamento anatômico planejado, durante todo o ciclo do tratamento.

Estudos anteriormente desenvolvidos na FMVZ-Botucatu apresentam o desenvolvimento de acessórios de imobilização especificamente destinados à procedimentos radioterápicos em pequenos animais veterinários (VETTORATO *et al.*, 2017).

Sobre as limitações quanto a oferta de modernas e avançadas técnicas de radioterapia, já consolidadas na medicina humana, para a rotina em radioterapia veterinária, tais como: técnica de Radioterapia por Intensidade Modulada do feixe de radiação (IMRT) e a técnica de Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT), uma vez que estas técnicas requerem equipamentos de radiação complexos e onerosos, uma alternativa pode ser a confecção de blocos de colimação (Figura 21B) e a aquisição da imagem do campos de radiação por meio de radiografias planares (Figura 22).

O tempo de tratamento (fracionamento do número de sessões) realizado na radioterapia em humanos é um fator limitante na medicina veterinária, considerando como principal dificuldade a necessidade de sedação em cada momento de tratamento, como mostra Moore (2002). O hipofracionamento é mais aceitável na veterinária, e deve-se ponderar que as técnicas avançadas apresentam maior precisão na entrega da dose.

Sobre o estudo da casuística dos animais atendidos no CEMPAS – FMVZ – Botucatu, verifica-se que dos 9.263 atendimentos realizados no período

analisado, 84 (0,91%) correspondem à assistência oncológica. Conforme citado por Batista *et al.* (2014), este fato pode estar associado com a dificuldade dos animais selvagens, quando no seu habitat natural apresentarem sinais clínicos, de forma que possam ser diagnosticados precocemente, e em parte face ao fato que a maioria dos assistidos serem oriundos de instituições (zoológicos) e de proprietários particulares, onde então são melhor tratados, o que propicia maior sobrevida aos animais. Isto também foi apontado nos estudos de Stoskopf; Brown; Devoe (2012).

Ressalta-se que embora esse quantitativo de casos seja baixo, se comparado com o total de animais atendidos no CEMPAS, o serviço de radioterapia veterinária se mostra benéfico para todos os pacientes oncológicos, e até mesmo para certas lesões não malignas, atendidos no Hospital Veterinário da FMVZ de Botucatu-SP. As pesquisas acadêmicas podem contribuir para essa orientação do uso das radiações ionizantes na medicina veterinária.

As informações obtidas com o centro de radioterapia veterinária estabelecido na cidade do Rio de Janeiro-RJ mostram que os principais acessórios utilizados nos tratamentos são os mesmos utilizados na radioterapia humana, os quais foram apenas adaptados para a medicina veterinária. Naquele serviço o equipamento de irradiação é uma Unidade de Telecobaltoterapia, similar ao que está desativado no Setor de Radioterapia da UNESP de Botucatu.

Esta pesquisa mostrou que o uso de radiação para terapia em medicina veterinária já é especialidade consolidada nos grandes centros de países desenvolvidos. No Brasil, estudos sobre radioterapia veterinária já são desenvolvidos desde o final dos anos de 1990, embora esta prática esteja ainda pouco divulgada, e apenas 2 (dois) serviços a oferecem em todo o país.

6. CONCLUSÕES

A implantação de um serviço de radioterapia na medicina veterinária mostrou-se exequível, em razão da crescente busca por melhores condições na qualidade de vida dos animais acometidos pelas diversas patologias e do avanço tecnológico absorvido pelas técnicas terapêuticas empregadas.

No entanto, dificuldades como o alto custo da implantação de um serviço de radioterapia, e a falta de divulgação da terapêutica no Brasil ainda são os principais limitantes para o avanço dessa técnica na medicina veterinária. Além dos custos com a implantação, é necessário considerar os valores gastos com o serviço em funcionamento (manutenção e salários), sendo que os valores são proporcionais ao nível da tecnologia adquirida.

Estudos mostram a eficácia da radioterapia para animais de companhia, assim como para os animais selvagens/silvestres, nesse caso sendo os maiores beneficiados os animais oriundos de zoológicos ou particulares.

No Brasil, embora ainda discreta, foi possível verificar que a radioterapia aplicada na medicina veterinária não está distante, tendo em vista dois centros em funcionamento, e o crescente avanço de pesquisas sobre o assunto, gerando conhecimento e interesse da população em geral, principalmente médicos veterinários.

A pesquisa trouxe contribuições ao apresentar as diferentes modalidades de radioterapia, e sua aplicação na medicina veterinária. Além de abordar aspectos econômicos e normativos para a implantação da radioterapia na medicina veterinária, possibilitando ser fonte de consulta para médicos veterinários, tecnólogos em radiologia, físicos médicos, dentre outros profissionais interessados na área.

7. BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução no 20, de 2 de fevereiro de 2006. Estabelece o Regulamento Técnico para o Funcionamento de Serviços de Radioterapia.** Brasília: ANVISA, 2006.

Disponível em:

<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2006/rdc0020_02_02_2006.html> Acesso em 10 de jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITARIA. **Resolução no 50, de 21 de fevereiro de 2002.** Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando a defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral. Brasília: ANVISA, 2002.

ALLAN, K. *et al.* T-lymphocyte-rich Thymoma and Myasthenia Gravis in a Siberian Tiger (*Panthera tigris altaica*). **J. Comp. Path**, v. 150, p. 345-349, 2014.

ANDRÉ, N. **Tópicos de história da física moderna**, 2012. 27 slides.

Disponível em: <

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/57941/mod_resource/content/1/Apresentacao%20Monitor.pdf>. Acesso em 09 de jul. 2020.

ARAÚJO, K. O. **Neoplasias em psitacídeos: relato de caso e revisão bibliográfica**. 2018. 28 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Medicina Veterinária). Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília-DF, 2018.

BATISTA, C. **Radioatividade**. Toda Matéria, 2020. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/radioatividade/>>. Acesso em 07 de jan. 2021.

BATISTA, J. S. *et al.* Postmortem findings in collared peccaries raised in captivity in northeastern Brazil. **Pesq. Vet. Bras**, v. 34, n. 11, p. 1101-1108, 2014.

BENTUBO, H. D. L. *et al.* Expectativa de vida e causas de morte em cães na área metropolitana de São Paulo (Brasil). **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1021-1026, 2007.

BERDAKY, M. F. **Implantação de um serviço de radioterapia com acelerador linear (fótons): Testes de aceitação, dosimetria e controle de qualidade**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de tecnologia nuclear - aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 2000.

BERDAKY, M. F; CALDAS, L. V. E. Implantação de um programa de controle de qualidade de um acelerador linear de 6 mev de fótons. **Radiol Bras**, v. 34, n. 5, p. 281-284, 2001.

BLEY, C. R. *et al.* Irradiation of Brain Tumors in Dogs with Neurologic Disease. **J Vet Intern Med**, v. 19, p. 849-854, 2005.

BOUDREAUX, B. B. *et al.* Treatment of leiomyosarcoma in a tiger (*Panthera tigris*) with stereotactic radiotherapy. **Vet Radiol Ultrasound**, v. 60, p. E33-E37, 2019.

BRASIL ESCOLA. **Marie Curie**. c2021. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/maria-curie-descoberta-radioatividade.htm>>. Acesso em 07 de jan. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 12 fev. 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer. **Aspectos Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia: Protocolo de Controle de Qualidade (TEC DOC 1151)**. Rio de Janeiro: INCA, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer-INCA. **Blindagem em radioterapia: técnica e normas**. Rio de Janeiro: INCA, 2000. 75 p. Disponível em: <http://www.fisica.net/nuclear/blindagem_em_radioterapia.pdf>. Acesso em: 4 de set. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional Do Câncer-INCA. **Atualização para Técnicos em Radioterapia**. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional Do Câncer-INCA. **O que é radioterapia**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/perguntas-frequentes/o-que-e-radioterapia#footer>>. Acesso em: 10 de set. 2020.

BRAVIM, A. **Aplicação das técnicas de dosimetria termoluminescente (tl) e luminescência opticamente estimulada (osl) na determinação de curvas de isodose em uma simulação de tratamento de câncer pela técnica de radioterapia em arco modulado volumétrico – vmat**. 2015. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de tecnologia nuclear - aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 2015.

BREARLEY, M. J.; HAYES, A. M.; MURPHY, S. Hypofractionated radiation therapy for invasive thyroid carcinoma in dogs: a retrospective analysis of survival. **Journal of Small Animal Practice**, v. 40, p. 206-210, 1999.

BREGAZZI, V. S. *et al.* Response of feline oral squamous cell carcinoma to palliative radiation therapy. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 42, n. 1, p. 77-79, 2001.

BROMBERG, S. E. et al. Radioterapia Intraoperatória como protocolo de tratamento do câncer de mama inicial. **Einstein**, v. 11, p. 439-445, 2013.

BROMBERG, S.E., et al. Uso da radioterapia intraoperatória (IORT) como protocolo de investigação no tratamento do câncer de mama inicial: resultados parciais do Hospital Israelita Albert Einstein. **Einstein**, v. 5, p.105 – 110, 2007.

BRYANT, B. R.; VOGELNEST, L.; HULST, F. The Use of Cryosurgery in a Diamond Python, *Morelia spilota spilota*, with Fibrosarcoma and Radiotherapy in a Common Death Adder, *Acanthophis antarcticus*, with Melanoma.

Association of Reptilian and Amphibian Veterinarians, v. 7, n. 3, p. 9-12, 1997.

BUTTERWORTH, K. T.; PRISE, K. M.; VERHAEGEN, F. Small animal image-guided radiotherapy: status, considerations and potential for translational impact. **Br J Radiol**, v. 88, p. 1-3, 2014.

CAGNINI, D. Q. *et al.* Ocular melanoma and mammary mucinous carcinoma in an African lion. **BioMed Central**, v. 8, p. 1-5, 2012.

CAMPANELLI, H. B. **Avaliação do sistema computadorizado de planejamento radioterápico xio 5.10 – aspectos funcionais e avanços tecnológicos para melhoria da resposta terapêutica dos tratamentos.** 2018. 73 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento (Biotecnologia Médica)) – Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

CANTERAS, M. M. Radiocirurgia. **Revista Neurociências**, v. 13, n. 4, p. 190-195, 2005.

CARDOSO, E. M. *et al.* **Apostila Educativa de Radioatividade.** Comissão Nacional de Energia Nuclear. 2010. 19 p.

CARVALHO, H. A. *et al.* Comparação entre os volumes pulmonares irradiados com técnica bidimensional e tridimensional conformada na radioterapia de pacientes com tumores de pulmão localmente avançados. **Radiol Bras**, v. 42, n.5, p. 303-308, 2009.

CARVALHO, M. **Determinação de blindagens radiológicas para procedimentos de radioterapia veterinária.** 2019. 74 f. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

CHAIRMAN, S. H. B. *et al.* Stereotactic body radiation therapy: The report of AAPM Task Group 101. **Med Phys**, v. 37, n. 8, p. 4078-4101, 2010.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.** Rio de Janeiro: CNEN, 2014. 22p. (CNEN NN 3.01). Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>. Acesso em 25 de ago. 2020.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica**. Rio de Janeiro, 2020 (CNEN – NN – 7.01). Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/normas.asp?grupo=7>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Instalações Radiativas**. Rio de Janeiro, 2020 (CNEN – NN – 6.02).
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de radioterapia**. Rio de Janeiro, 2014 (CNEN – NN – 6.10) Disponível em:
<<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm610.pdf>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia e Medicina Nuclear Veterinária**. Rio de Janeiro, 2022 (CNEN – NN – 6.12). Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/assunto/ultimas-noticias/cnen-publica-norma-com-requisitos-de-seguranca-e-protecao-radiologica-para-servicos-de-radioterapia-e-medicina-nuclear-veterinaria>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Serviço de Radioproteção**. Rio de Janeiro, 2018 (CNEN – NE – 3.02). Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/normas.asp?grupo=3>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

CRONIN, K. *et al.* Radiation therapy and surgery for fibrosarcoma in 33 cats. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 39, n. 1, p. 51-56, 1998.

CUNHA, S. C. S.; CORGOZINHO, K. B.; FERREIRA, A. M. R. Treatment of Two Cats with Advanced Nasal Lymphoma with Orthovoltage Radiation Therapy and Systemic Chemotherapy. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 44, p. 1-7, 2016.

CUPERSCHMID, E. M; CAMPOS, T. P. R. Os primórdios das radiações na medicina no Brasil. **International Nuclear Atlantic Conference - INAC**, Santos, 2005.

DE NARDI, A. B. *et al.* Prevalência de neoplasias e modalidades de tratamentos em cães, atendidos no hospital veterinário da Universidade Federal do Paraná. **Archives of Veterinary Science**, v. 7, n. 2, p. 15-26, 2002.

DEYLLLOT, M. E. C. **Física das radiações. Fundamentos e Contrução de Imagens**. São Paulo: Érica, 2014, 136 p.

DICKINSON, P. J. *et al.* Radiation induced vertebral osteosarcoma following treatment of an intradural extramedullary spinal cord tumor in a dog. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 42, n. 5, p. 463-470, 2001.

- ECKSTEIN, C. *et al.* A retrospective analysis of radiation therapy for the treatment of feline vaccine-associated sarcoma. **Vet Comp Oncol**, v.7, p. 54-68, 2009.
- EVANS, S. M. *et al.* Radiation Therapy of canine brain masses. **American College of Veterinary Internal Medicine**, v. 7, n. 4, p. 216-219, 1993.
- FARRELLY, J.; MCENTEE, M. C. A survey of veterinary radiation facilities in 2010. **Veterinary Radiology and Ultrassound**, v. 55, n. 6, p. 638-643, 2014.
- FERNANDES, M. A. R.; ANDRADE, A.L.; LUVIZOTTO, J.P.; CIARLINI, L.R.P. **Radioterapia em Medicina Veterinária: princípios e perspectivas**. Revista Brasileira de Física Médica, v.4. p. 11-14, 2010.
- FERNANDES, M. A. R.; ANDRADE, A. L. **Braquiterapia em Medicina Veterinária** In: Tratado de Medicina Interna de Cães e Gatos.1 ed. Rio de Janeiro – RJ: Editora Guanabara Koogan Ltda, 2014, v.1, p. 560-583.
- FERNANDES, M. A. R. **Utilização de moldes radioativos especiais de folhas de ouro-198 para braquiterapia em tumores de pele**. 2000. 170 f. Tese (Tecnologia do combustível Nuclear e Reatores Nucleares de Potência). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 2000.
- FERNANDES, M.A.R. **Metodologia para Determinação da Carga de Trabalho Efetiva em Equipamentos de Teleterapia. Proposta para Otimização das Blindagens da Sala de Radioterapia Veterinária**. 2018. 98 f. Tese (Livre Docência). Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.
- FERREIRA, G. C. **Análise radiométrica de feixes de fótons de alta energia – elaboração do plano de radioproteção aplicado a radioterapia veterinária**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.
- FRANCISCO, F. C. *et al.* História da Radiologia no Brasil. **Rev Imagem**, v. 28, n. 1, p. 63-66, 2006.
- FURNARI, L. Controle de qualidade em radioterapia. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 77-90, 2009.
- GABRIEL, F. A. Estudo da viabilidade econômica e social da implantação de serviços de radioterapia. 2016. 32f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Física Médica). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, Botucatu, São Paulo, 2016.
- GARZÓN, V. M. M; NIGORRA, G. P; 100 años de radioterapia. **Medicina Balear**, v. 10, n. 3, p. 130-138, 1995. Disponível em: <
<http://ibdigital.uib.es/greenstone/sites/localsite/collect/medicinaBalear/index/ass>

oc/Medicina/_Balear_/1995v10n/3p130.dir/Medicina_Balear_1995v10n3p130.pdf>. Acesso em: 05 de julho de 2020.

GONÇALVES, V. D. **Caracterização da dose em pacientes devido à produção de imagens de raios X utilizadas em radioterapia guiada por imagem – IGRT**. 2012. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de tecnologia nuclear - aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 2012.

GONZÁLEZ-R, Y. M. *et al.* Estudio retrospectivo de hallazgos histopatológicos en animales silvestres de vida libre y en cautiverio en Villavicencio, Colombia. **Orinoquia**, v. 19, n. 1, p. 44-55, 2015.

GOODNIGHT, A. L. *et al.* Chemotherapy and radiotherapy for treatment of cutaneous lymphoma in a ground cuscus (*Phalanger gymnotis*). **Journal of Zoo Wildlife Medicine**, v. 39, n. 3, p. 472-475, 2008.

GRAHAM, J. E.; KENT, M. S.; THÉON, A. Current therapies in exotic animal oncology. **Vet Clin Exot Anim**, v. 7, p. 757-781, 2004.

GRAVES, E. E. *et al.* Design and evaluation of a variable aperture collimator for conformal radiotherapy of small animals using a microCT scanner. **Med. Phys**, v. 34, n. 11, p. 4359-4367, 2007.

HUNLEY, D. W. *et al.* Clinical outcome in dogs with nasal tumors treated with intensity-modulated radiation therapy. **Can Vet J**, v. 51, p. 293-300, 2010.

IGLESIAS, G. A. **Leiomioma vulvar em lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*) – relato de caso**. 2017. 12 f. Trabalho de conclusão de curso (Residência Uniprofissional em Medicina de Animais Selvagens). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

JOAQUIM, A. F. *et al.* Radiocirurgia estereotáxica para metástases de coluna vertebral: revisão de literatura. **Einsten**, v. 11, n. 2, p. 247-255, 2013.

JOHNSTONE, P. A. S. *et al.* Tumors in dogs exposed to experimental intraoperative radiotherapy. **J. Radiation Oncology Biol. Phys**, v. 34, n. 4, p. 853-857, 1996.

KENT, M. S. Principles and Applications of Radiation Therapy in Exotic Animals. **Vet Clin Exot Anim**, v. 20, p. 255-270, 2017.

KHAN, F. **The physics of radiation therapy**, 4a ed. Baltimore: Lippincott, Williams and Wilkins, 2003.

KLEIN, E. E. *et al.* Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. **Med Phys**, v. 36, p. 4197-4212, 2009.

LADUE, T. *et al.* Radiation therapy for incompletely resected canine mast cell tumors. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 39, n. 1, p. 57-62, 1998.

LARUE, S. M.; CUSTIS, J. T. Advances in Veterinary Radiation Therapy Targeting Tumors and Improving Patient Comfort. **Veterinary Clinical Small Animal**. v. 44, p. 909–923, 2014.

LARUE, S. M.; GILLETTE, E. L. **Radiation therapy**. In: WITHROW, S. J.; MACEWEN, E. G. Small Animal Clinical Oncology. W.B. Saunders Co. Philadelphia, PA. 2001.

LAUGHLIN, J. S. Development of the technology of radiation therapy. **RadioGraphics**, v. 9, n. 6, p. 1245-1266, 1989.

LEBLANC, A. K. *et al.* Unexpected toxicity following use of gemcitabine as a radiosensitizer in head and neck carcinomas: a veterinary radiation therapy oncology group pilot study. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 45, n. 5, p. 466-470, 2004.

LEDERMAN, M. The early history of radiotherapy: 1895-1939. **J. Radiation. Oncology Biol. Phys**, v. 7, p. 639-648, 1981.

LEONARDO, A. M. *et al.* Acurácia de posicionamento no setor de radio-oncologia, evidenciando erros de setup em neoplasias pélvicas com a utilização de suporte de joelhos e suporte de poliuretano. **Rev Ambiente Acadêmico**, v. 5, n. 1, p. 82-108, 2019.

MACKIE, T. R. *et al.* Image guidance for precise conformal radiotherapy. **J. Radiation Oncology Biol. Phys**, v. 56, n. 1, p. 89-105, 2003.

MALLEY, C. M. Antoine Henri Becquerel. **Encyclopedia.com**, c2019. Disponível em: <<https://www.encyclopedia.com/people/literature-and-arts/theater-biographies/henri-becquerel#3437800067>>. Acesso em: 10 de jul de 2020.

MALLMANN, P. R. **Colangiocarcinoma em onça parda (*Puma concolor*) cativa: relato de caso**. 2018. 10 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Medicina de Animais Selvagens). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

MARTA, G. N. *et al.* Diretrizes para tratamento de tumores da cabeça e pescoço com radioterapia de intensidade modulada. **Sociedade Brasileira de Radioterapia**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://sbradioterapia.com.br/wp-content/uploads/2016/01/tratamento-de-tumores-da-cabeca-e-pescoco-com-radioterapia-de-intensidade-modulada.pdf>>. Acesso em: 16 de julho de 2020.

MARTINS, R. A. A descoberta da radioatividade. **Instituto de Física da UFRGS**, p. 29-49, 1998. Disponível em: <<http://www.ghctc.usp.br/server/pdf/ram-59.pdf>>. Acesso em: 13 de jul de 2020.

MARTINS, R. A. A descoberta dos Raios x: O primeiro comunicado de Roentgen. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 20, n. 4, p. 373-391, 1998.

MASCARENHAS, F. E. *et al.* A radiocirurgia estereotáxica em tumores benignos e malignos do sistema nervoso central. **Acta Med Port**, v. 18, p. 45-60, 2005.

MAULDIN, G. N.; SHIOMITSU, K. Principles and Practice of Radiation Therapy in Exotic and Avian Species. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, v. 14, n. 3, p. 168-174, 2005.

MCENTEE, M. C. A survey of veterinary radiation facilities in the United States during 2001. **Veterinary and Radiology and Ultrasound**, v. 45, n. 5, p.476-479, 2004.

MEDINTEC. **Produtos**. c2022. Disponível em: <<https://www.medintec.com.br/produtos/#suportes-para-imobilizacao>>. Acesso em: 19 ago. 2022.

MELEO, K. A. Tumors of the skin and associated structures. **Radiation Oncology**, v. 27, n. 1, p. 73-94, 1997.

MIRANDA, D. F. H. *et al.* Carcinoma hepatocelular metastático em Jaguaritica (*Leopardus pardalis*). **Pesq. Vet. Bras**, v. 35, n. 11, p. 913-918, 2015.

MOORE, A. S. Radiation Therapy for the Treatment of Tumours in Small Companion Animals. **The Veterinary Journal**, v. 164, p. 176-187, 2002.

NADALIN, W. Reprodutibilidade de posicionamento em radioterapia. **Radiol Bras**, v. 43, n. 4, p. V-VI, 2010.

NOLAN, M. W.; DOBSON, J. M. The future of radiotherapy in small animals – should the fractions be coarse or fine? **Journal of Small Animal Practice**, v. 59, p. 521-530, 2018.

NORTHROP, N. C. *et al.* Retrospective Study of Orthovoltage Radiation Therapy for Nasal Tumors in 42 Dogs. **J Vet Intern Med**, v. 15, p. 183-189, 2001.

NUNES, I. P. F. **Metodologia para avaliação dos benefícios clínicos e socioeconômicos do uso da técnica de IMRT em tumores da próstata**. 2018. 73f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento (Biotecnologia Médica)) – Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

OCHOA, P. F. C.; AMAYA, J. E. O.; CASALLAS, P. E. C. Patología comparada de neoplasias en carnívoros salvajes. **Orinoquia**, v. 21, n. 1, p. 41-51, 2017.

OKUNO, E. Radiação: efeitos, riscos e benefícios. Oficina de Textos, 2018.

PACK, L. *et al.* Definitive radiation therapy for infiltrative thyroid carcinoma in dogs. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 42, n. 5, p. 471-474, 2001.

PASQUALE, R. **Câncer em Animais: Entenda mais sobre o assunto.** DrogaVet, 2016. Disponível em: < <https://www.drogavet.com.br/geral/cancer-em-animais/>>. Acesso em 10 de set. 2020.

PIMENTA, V. S. C. *et al.* Diagnóstico morfológico, aspectos clínicos e epidemiológicos de neoplasias em grandes felídeos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 1064-1079, Goiânia, 2013.

PINHEIRO, B. F. **Análise da importância e viabilidade da implantação de um serviço de radioterapia intraoperatória em serviço público de radioterapia.** 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento (Biotecnologia Médica)) – Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

RAMIREZ, O. *et al.* Palliative radiotherapy of appendicular osteosarcoma in 95 dogs. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 40, n. 4, p. 517-522, 1999.

ROCHA, P. R. D. *et al.* Fatal hemothorax caused by pleural mesothelioma in a lion. **Pesq. Vet. Bras**, v. 39, n. 6, p. 416-418, 2019.

SAKURABA, R. K. **Desenvolvimento de um sistema de verificação dosimétrica tridimensional utilizando Solução Fricke Gel na aplicação para a verificação da Radioterapia em Arco Modulado Volumétrico (VMAT) nos tratamentos com movimentação do alvo pela respiração.** 2015. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de tecnologia nuclear - aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 2015.

SALVAJOLI, B. P. O papel da radioterapia no tratamento do câncer – avanços e desafios. **Onco&**, p. 32-36, 2012. Disponível em: <<http://revistaonco.com.br/wpcontent/uploads/2012/09/Radioterapia.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2020.

SALVAJOLI, J. V.; SOUHAMI, L.; FARIA, S. L. **Radioterapia em oncologia.** São Paulo: Atheneu, 2013, 1275p.

SANTOS, I. S. *et al.* Radioterapia de intensidade modulada (IMRT) para o câncer de próstata. **Informe ATS: Avaliação de Tecnologia em Saúde.** Rio de Janeiro: ANS, set 2009. Disponível em: <http://www.ans.gov.br/images/stories/Materiais_para_pesquisa/Materiais_por_assunto/InformeATS_n7_Radioterapia_de_Intensidade_Modulada_cancer_prostata.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

SCAFF, L. A. M. **Física da Radioterapia.** São Paulo: Sarvier, 1997, 351 p.

SCAFF, L. **Física Radioterapia – A base analógica de uma era digital.** v. 1, São Paulo: Projeto Saber, 2010.

SILVA, D. A. **Planejamento Computacional Tri-Dimensional para Radioterapia em Região Pélvica de Animais Selvagens.** 2018. 81 f.

Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

SILVA, D. R.; FALEIRO, M. B. R.; MOURA, V. M. B. D. Tumores de células redondas em cães: aspectos gerais e marcadores imunohistoquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 2650-2681, Goiânia, 2015.

SILVER, I. A.; CATER, D. B. Radiotherapy and Chemotherapy for Domestic Animals II. Treatment of Malignant Tumours in Dogs and Cats. **Acta Radiologica: Therapy, Physics, Biology**, v. 2, n. 6, p. 457-475, 1964. Disponível em: < <https://doi.org/10.3109/02841866409134077>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

SILVER, I. A.; CATER, D. B. Radiotherapy and Chemotherapy for Domestic Animals: I. The treatment of malignant tumours and benign conditions in horses. **Acta Radiologica: Therapy, Physics, Biology**, v. 2, n. 3, p. 226-238, 1964. Disponível em: < <https://doi.org/10.3109/02841866409134148>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

SOCIEDADE BENEFICENTE ISRAELITA BRASILEIRA. **Radioterapia guiada por imagem IGRT e Gating**. Oncologia, c2020. Disponível em: < <https://www.einstein.br/especialidades/oncologia/exames-tratamentos/radioterapia-guiada-imagem>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE RADIOTERAPIA. **Radioterapia estereotática fracionada corpórea ou extracraniana (SBRT)**, c2021. Disponível em: < <https://sbradioterapia.com.br/restrito/radioterapia-estereotatica-fracionada-corporea-ou-extracraniana-sbrrt/>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

STOSKOPF, M. K.; BROWN, J.; DEVOE, R. Imaging in zoological medicine practice. **J. Radiol Nurs**, v. 31, p. 81-90, 2012.

TEDARDI, M. V. **Estudo da viabilidade da implantação de um registro de câncer animal na cidade de São Paulo, SP, Brasil**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2014.

TILLNER, F. *et al.* Precise image-guided irradiation of small animals: a flexible non-profit platform. **Phys. Med. Biol**, v. 61, p. 3084-3108, 2016.

UENO, H. *et al.* Surgical and radiotherapy treatment of a spinal cord ependymoma in a dog. **Australian Veterinary Journal**, v. 84, n. 1 & 2, p. 36-39, 2006.

VAN DYCK, J. **The modern technology of radiation oncology**. Madison, Wisconsin: Medical Physics Publishing, 1999, 286 p.

VETTORATO, M. C. **Desenvolvimento de Metodologia para Aplicação de Técnicas de Radioterapia em Medicina Veterinária**. 2016. 187 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Animal). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

VETTORATO, M. C. **Desenvolvimento de metodologia para uso de betaterapia intraoperatória em medicina veterinária**. 2020. 163 f. Tese (Doutorado em Animais Selvagens). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

VETTORATO, M. C. *et al.* Implementation of immobilization accessories for positioning of small animals for radiation therapy. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**, v. 69, n. 6, p. 1419-1425, 2017.

VETTORATO, M. C. *et al.* Principais avanços e aplicações da radioterapia em medicina veterinária. **Tekhne e Logos**. v.8, n. 1, p. 103-118, 2017a.

VILELA, R. A. **Uso de radioterapia estereotóxica corporal para tratamento de câncer de próstata recorrente oligometastático: revisão sistemática**. 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde). Faculdade de Ciências da Saúde - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

WOODS, G. M. *et al.* Two Decades of the Impact of Tasmanian Devil Facial Tumor Disease. **Integrative and Comparative Biology**, v. 58, n. 6, p. 1043-1054, 2018.

XAVIER, A. M. *et al.* Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Quim. Nova**, v. 30, n. 1, p. 83-91, 2007.

ZEISS. **INTRABEAM®: especificações técnicas**. Alemanha: Carl Zeiss Meditec AG. 2013.

ZHOU, H. *et al.* Development of a micro-computed tomography-based image-guided conformal radiotherapy system for small animals. **J. Radiation Oncology Biol. Phys**, v. 78, n. 1, p. 297-305, 2010.

ANEXO I

Atestado da CEUA



ATESTADO

Atesto que o Projeto "Estudo da viabilidade operacional e econômica da implantação de técnicas avançadas de radioterapia em medicina veterinária" **Protocolo CEUA 0120/2020**, a ser conduzido por Bianca de Fátima Pinheiro Fabri Ramos, responsável/orientador Marco Antonio Rodrigues Fernandes, para fins de pesquisa científica/ensino - encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA.

Finalidade	PESQUISA CIENTÍFICA
Vigência do projeto	03/01/2022 a 30/09/2022

Projeto de Pesquisa aprovado em reunião da CEUA em 12/08/2020

JOSÉ NICOLAU PRÓSPERO PUOLI FILHO
Presidente da CEUA da FMVZ, UNESP - Campus de Botucatu

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Seção Técnica Acadêmica
Rua Prof. Dr. Walter Maurício Cordeiro, s/nº
UNESP - Campus de Botucatu/SP - Cep 18618-681
(14) 3880-2176 - patrizia@fmvz.unesp.br - www.fmvz.unesp.br

APÊNDICE I**GUIA DE ORIENTAÇÃO PARA
IMPLANTAÇÃO DE UM SERVIÇO
DE RADIOTERAPIA VETERINÁRIA**

Sumário

Introdução	86
Etapa 1: Estudo das características do serviço de radioterapia veterinária.....	87
Etapa 2: Escolha do fabricante e equipamento	88
Etapa 3: Elaboração do Projeto Arquitetônico	88
Etapa 4: Aquisições das licenças junto aos órgãos regulamentadores.....	89
Etapa 5: Execução da obra.....	90
Etapa 6: Realização dos trâmites legais para importação do equipamento.....	90
Etapa 7: Aquisições dos equipamentos e acessórios de controle de qualidade..	90
Etapa 8: Instalação do equipamento de radioterapia.....	91
Etapa 9: Treinamento da equipe de profissionais do centro radioterápico.....	91
Etapa 10: Solicitação da autorização para operação e alvará de funcionamento.....	92
Etapa 11: Início das atividades	92
Referências.....	93

Introdução

A radioterapia é a modalidade médica que utiliza fontes de radiações ionizantes no tratamento de doenças. Os procedimentos radioterápicos dividem-se em duas modalidades: a teleterapia e a braquiterapia. Na teleterapia, a fonte de radiação está posicionada a certa distância do volume alvo de irradiação. Na braquiterapia, a fonte de radiação fica em contato ou mesmo no interior do tumor (SCAFF, 2010; SALVAJOLI, 2013).

Considerando o aumento de casos clínicos oncológicos em animais, a radioterapia vem se tornando uma alternativa abrangente de tratamento para diversas situações clínicas na oncologia veterinária (NOLAN; DOBSON, 2018). Entretanto, a implantação de um serviço de radioterapia veterinária é complexa, e demanda de equipe qualificada e conhecimento dos aspectos legais, técnicos e econômicos.

Este guia foi elaborado para orientar médicos veterinários, empresários, instituições e veterinários que possuam interesse em montar um serviço de radioterapia veterinária no Brasil, norteando e descrevendo as etapas necessárias.

O guia pode ser utilizado como orientador e esclarecedor de dúvidas pertinentes a implantação de um serviço de radioterapia veterinária, ressaltando a importância de sempre se ter equipes qualificadas para o andamento das etapas.

Etapas 1: Estudo das características do serviço de radioterapia veterinária**1.1 Regime jurídico da empresa/serviço:**

() Público () Filantrópico () Privado

No Brasil, se a importação for por uma entidade com certificado de filantropia não há carga tributária adicional, caso seja um particular, em geral os tributos adicionais podem representar até 40% do valor do equipamento.

1.2 Definição do local para a implantação do centro radioterápico veterinário

() Público () Privado

1.3 Definição da modalidade radioterápica utilizada:

() Convecional * () Média tecnologia** () Alta tecnologia***

Essa definição irá influenciar o custo do equipamento adquirido, manutenções e atualizações futuras e o projeto arquitetônico.

* Radioterapia bidimensional (2D): são utilizadas para o planejamento radioterápico imagens bidimensionais.

** Radioterapia tridimensional (RT-3D): Utilizado o sistema de planejamento computadorizado (tomografia computadorizada ou ressonância magnética);

**Braquiterapia de baixa dose (BBTD).

** Braquiterapia de alta taxa de dose (BATD).

*** Radioterapia 3D com tomografia de simulação (CT-SIM) e fusão de imagens e aplicação das técnicas avançadas (Radioterapia de intensidade modulada – IMRT; Radioterapia guiada por imagem – IGRT; Radioterapia estereotáxica corpórea – SBRT; Radiocirurgia; Radioterapia intraoperatória (IORT); Radioterapia modulada por arco volumétrico – VMAT).

*** Braquiterapia de alta taxa de dose (BATD).

Etapa 2: Escolha do fabricante e equipamento

Após definir o nível de tecnologia, é fundamental analisar junto às empresas fornecedoras dos equipamentos radioterápicos suas propostas de financiamento e aquisições. As empresas serão responsáveis pela instalação do equipamento e treinamento da equipe para o perfeito funcionamento.

Importante:

Em alguns países é permitido o comércio e uso de equipamentos usados. No entanto, no Brasil, por motivos de segurança, esta prática é proibida. Salvo se o equipamento for recondicionado pelo fabricante, ou que a mesma entidade mova o equipamento de local, sem alterar o proprietário, respeitando sempre as normativas.

Não há diferença entre os aceleradores lineares, modalidades de técnicas, sistemas de planejamento e gerenciamento quando comparados com os utilizados em humanos. São os mesmos produtos. As variações estão relacionadas com acessórios, como por exemplo, mesa especiais para o atendimento de animais de grande porte, acessórios de posicionamento, sedação, controle de temperatura e higienização.

Etapa 3: Elaboração do Projeto Arquitetônico

Esta etapa envolve a união do arquiteto, engenheiro, radioterapeuta, físico médico e a empresa fornecedora do equipamento.

A empresa fornecedora do equipamento disponibiliza um croqui básico da sala de tratamento com os requisitos mínimos para adequação e funcionamento de acordo com o equipamento escolhido.

O físico médico realizará os cálculos de blindagem de acordo com a carga de trabalho do equipamento, e as características radiométricas dos feixes de radiação a serem adquiridos, estabelecendo as espessuras das paredes e elaborará uma planilha prévia de cálculos de blindagem e dimensionamento das salas de tratamento, a qual será utilizada pelo arquiteto para a elaboração do projeto definitivo e executivo da obra de construção do centro radioterápico.

Etapas 4: Aquisições das licenças junto aos órgãos regulamentadores

4.1 – Licenças junto à Prefeitura e ANVISA:

Após adequar o projeto arquitetônico de acordo com as normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), listadas abaixo e encontradas no site da ANVISA, submete-se o projeto de construção para a respectiva licença junto aos setores competentes da prefeitura local e da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária).

Nesta etapa, deve-se ater aos quesitos estabelecidos nas Resoluções específicas da ANVISA, tais como: Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 50 de 21/02/2002 (Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde); Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 20 de 02/02/2006 (Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia).

4.2 – Licença junto à CNEN:

4.2.1 Elaboração do Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) e submissão à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

A elaboração do RPAS deve seguir as recomendações das normas abaixo, que são encontradas no site da CNEN.

CNEN- NN 3.01 – 2014 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.

CNEN- NN 6.10 – 2014 – Requisitos de Segurança e Radioproteção para Serviços de Radioterapia.

CNEN- NE 3.02 – 2018 – Serviços de Radioproteção.

CNEN- NN 6.02 – 2020 – Licenciamento de Instalações Radiativas.

CNEN-NN 7.01 – 2020 – Certificação da qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica.

CNEN- NN 6.12 – 2022 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia e Medicina Nuclear Veterinária.

4.2.2 Solicitação de autorização para a construção junto à CNEN.

A solicitação de autorização para a construção é realizada por meio do preenchimento do formulário eletrônico (Solicitação de Concessão de Registros e Autorizações – SCRA), disponível no site da CNEN para a identificação da instalação. Após o preenchimento, o SCRA deverá ser impresso, assinado e enviado para a CNEN junto com o Relatório Preliminar de Análise de Segurança (plano de radioproteção) e comprovante do recolhimento da Taxa de Licenciamento, Controle e Fiscalização (TLC) ou declaração de isenção (se aplicável).

Etapas 5: Execução da obra

Após a autorização para a construção, pode-se dar início a execução da obra com profissionais da construção civil e definição do canteiro de obras.

Ao término da construção, faz-se a aquisição de mobiliários e equipamentos de infraestrutura para o centro radioterápico.

Etapas 6: Realização dos trâmites legais para importação do equipamento

Nesta etapa é necessária a escolha do despachante importador (aduaneiro), e os acordos junto às empresas de armazenamento e transporte de cargas portuárias.

Etapas 7: Aquisições dos equipamentos e acessórios de controle de qualidade

7.1 Aquisição dos acessórios e instrumentos de dosimetria e controle de qualidade do feixe de radiação

Para obter a licença de funcionamento pela CNEN e ANVISA, é necessário a aquisição de equipamentos de controle de qualidade e dosimetria,

variáveis de acordo com o nível da tecnologia do equipamento adquirido. A RDC nº 20/2006 da ANVISA, preconiza alguns instrumentos de dosimetria.

7.2 Aquisição dos acessórios usados nos procedimentos de radioterapia

Os principais acessórios utilizados nos procedimentos radioterápicos veterinários, são os mesmos que os usados na radioterapia em humanos, como por exemplo, a máscara termoplástica e o colchão a vácuo. Eles são fabricados em formatos e tamanhos de acordo com a necessidade do cliente.

Etapas 8: Instalação do equipamento de radioterapia

O equipamento de teleterapia é instalado pela empresa fornecedora, e o tempo de instalação varia de acordo com a tecnologia adquirida, normalmente de 20 a 50 dias de instalação.

Após a instalação do equipamento, é necessária a realização dos testes de aceitação, feitos pelo físico médico responsável do serviço, juntamente com o engenheiro do fabricante do aparelho de teleterapia.

Em seguida, são realizados os testes de comissionamento dos feixes de radiação, que podem ser feitos pelo físico do serviço ou por uma outra empresa de física médica terceirizada e especializada.

A empresa fornecedora do equipamento de radioterapia ministrará treinamento para os profissionais da clínica, ilustrando os componentes do equipamento irradiador e visando o uso e manuseio seguro dos feixes de radiação.

Etapas 9: Treinamento da equipe de profissionais do centro radioterápico

Nesta etapa são realizados todos os treinamentos dos profissionais que irão operacionalizar a clínica de radioterapia, cabendo ao médico responsável os ensinamentos sobre o manuseio dos animais e noções de patologias e oncologia. O Físico médico supervisor de radioproteção ministra as aulas de proteção radiológica e treina toda a equipamento para a operação dos equipamentos de irradiação, acessórios e controle de qualidade.

Etapa 10: Solicitação da autorização para operação e alvará de funcionamento

A autorização para operação é solicitada por meio do preenchimento do SCRA específico e disponível no site da CNEN. Após o preenchimento, o SCRA deverá ser impresso, assinado e enviado para a CNEN com o Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS), juntamente com o plano de radioproteção e comprovante do recolhimento da TLC ou declaração de isenção (se aplicável). As atividades devem ser supervisionadas e/ou executadas pelos Supervisores de Radioproteção qualificados e certificados.

O alvará de funcionamento é solicitado e autorizado junto à vigilância sanitária e prefeituras locais.

Etapa 11: Início das atividades

Após finalizadas todas as etapas anteriores, dá-se início às atividades com definições dos procedimentos operacionais padrões (POP's) e divulgação para a sociedade.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução no 20, de 2 de fevereiro de 2006. Estabelece o Regulamento Técnico para o Funcionamento de Serviços de Radioterapia.** Brasília: ANVISA, 2006. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2006/rdc0020_02_02_2006.html>. Acesso em 10 de jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITARIA. **Resolução no 50, de 21 de fevereiro de 2002.** Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando a defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral. Brasília: ANVISA, 2002.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.** Rio de Janeiro: CNEN, 2014. 22p. (CNEN NN 3.01). Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>. Acesso em 25 de ago. 2020.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica.** Rio de Janeiro, 2020 (CNEN – NN – 7.01). Disponível em: < <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/normas.asp?grupo=7>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Instalações Radiativas.** Rio de Janeiro, 2020 (CNEN – NN – 6.02).
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de radioterapia.** Rio de Janeiro, 2014 (CNEN – NN – 6.10). Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm610.pdf>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia e Medicina Nuclear Veterinária.** Rio de Janeiro, 2022 (CNEN – NN – 6.12). Disponível em: < <https://www.gov.br/cnen/pt-br/assunto/ultimas-noticias/cnen-publica-norma-com-requisitos-de-seguranca-e-protecao-radiologica-para-servicos-de-radioterapia-e-medicina-nuclear-veterinaria>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Serviço de Radioproteção.** Rio de Janeiro, 2018 (CNEN – NE – 3.02). Disponível em: < <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/normas.asp?grupo=3>>. Acesso em 10 de ago. 2022.

NOLAN, M. W.; DOBSON, J. M. The future of radiotherapy in small animals – should the fractions be coarse or fine? **Journal of Small Animal Practice**, v. 59, p. 521-530, 2018.

SALVAJOLI, J. V.; SOUHAMI, L.; FARIA, S. L. **Radioterapia em oncologia.** São Paulo: Atheneu, 2013, 1275p.

SCAFF, L. **Física Radioterapia – A base analógica de uma era digital.** v. 1, São Paulo: Projeto Saber, 2010.

APÊNDICE II

Artigo Científico

O artigo científico foi submetido no periódico Tekhne e Logos (ISSN 2176-4808). Segue o manuscrito conforme as normas de publicação disponíveis do site (<https://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/about/submissions#authorGuidelines>).

ISSN 2176-4808
REVISTA

Tekhne e Logos

TAMANHO DE FONTE

NOTIFICAÇÕES

- [Visualizar](#) (1 nova(s))
- [Gerenciar](#)

INFORMAÇÕES

- [Para leitores](#)
- [Para Autores](#)
- [Para Bibliotecários](#)

CAPA SOBRE PÁGINA DO USUÁRIO PESQUISA ATUAL ANTERIORES

Capa > Usuário > Autor > Submissões > #904 > **Resumo**

#904 Sinopse

RESUMO AVALIAÇÃO EDIÇÃO

Submissão

Autores Bianca de Fátima Pinheiro Fabri Ramos, Marco Antônio Rodrigues Fernandes, Rafaela Ferraz de Camargo, Rejane de Lima e Silva, Rodrigo Sanchez Giarola
Título ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO SERVIÇO DE RADIOTERAPIA VETERINÁRIA
Documento original [904-4796-1-SM.DOCX](#) 2023-01-09
Docs. sup. [904-4797-1-SR.PDF](#) 2023-01-09 [INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR](#)
Submetido por Bianca de Fátima Pinheiro Fabri Ramos 
Data de submissão janeiro 9, 2023 - 11:49
Seção MEDICINA
Editor Editor Gerente 
Editor Medicina  (Avaliação)

Situação

Situação Em avaliação
Iniciado 2023-01-09
Última alteração 2023-01-09

**ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO SERVIÇO DE RADIOTERAPIA
VETERINÁRIA**

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE VETERINARY RADIOTHERAPY
SERVICE**

Bianca de Fátima Pinheiro Fabri Ramos¹; Marco Antônio Rodrigues Fernandes²;
Rafaela Ferraz de Camargo³; Rejane de Lima e Silva⁴; Rodrigo Sanchez Giarola⁴

RESUMO

A radioterapia veterinária representa uma importante especialidade para o tratamento das diferentes doenças oncológicas nas mais diversas espécies de animais. O uso de radiação ionizante tem demonstrado resultados eficientes na terapia e no controle dessas doenças. Podem ser empregadas diversas técnicas radioterápicas para a excelência do tratamento veterinário como: IMRT, VMAT, SBRT, IGRT e Radiocirurgia, garantindo maior segurança e efetividade ao tratamento veterinário. Objetivou-se com esse trabalho apresentar os aspectos tecnológicos das modalidades radioterápicas aplicadas na área. Foram realizadas visitas em setores de radioterapia humana para melhor compreender a rotina de funcionamento e as técnicas terapêuticas utilizadas, além de analisar os custos para a implantação e manutenção de um serviço veterinário. Verificou-se que é possível utilizar os mesmos equipamentos irradiadores, como o acelerador linear clínico, sistemas de planejamentos e gerenciamento radioterápico usados nos procedimentos de radioterapia humana. As variações estão relacionadas aos acessórios: mesas especiais para o atendimento de animais de grande porte, acessórios de posicionamento e sedação, controle de temperatura e higienização. As técnicas radioterápicas utilizadas são similares às usadas na radioterapia humana e o uso de imagens anatômicas tomográficas contribui para maior benefício ao planejamento e ao tratamento. Conclui-se que quanto mais sofisticada a tecnologia disponível nos procedimentos de radioterapia, mais benefícios terapêuticos podem ser obtidos; principalmente considerando as particularidades da veterinária; como variedades anatômicas das espécies, sedação durante a sessão e não cooperação voluntária. O nível de tecnologia empregada é proporcional ao custo de investimento, manutenção e instrumentos de controle de qualidade.

Palavras-chave: Veterinária. Radioterapia. Alta tecnologia. Oncologia. Terapia por radiação.

ABSTRACT

Veterinary radiotherapy represents an important specialty for the treatment of different oncological diseases in the most diverse species of animals. The use of ionizing radiation has shown efficient results in the therapy and control of these diseases. Several radiotherapy techniques can be used for excellence in veterinary treatment, such as: IMRT, VMAT, SBRT, IGRT and Radiosurgery, ensuring safety and effectiveness in veterinary treatment. The aim of this study was to present the technological aspects of the radiotherapy modalities applied in the field. Visitations were carried out in human radiotherapy sectors to better understand the operating routine and the therapeutic techniques used, in addition to analyzing the costs for the implementation and maintenance of a veterinary service. It was verified that it is possible to use the same irradiation equipment, such as the clinical linear accelerator, radiotherapy planning and management systems used in human radiotherapy. Variations are related to accessories: special tables for handling large animals, positioning and sedation accessories, temperature control and hygiene. The radiotherapy techniques used are similar to those used in human radiotherapy and the use of tomographic anatomical images contributes to greater benefit in planning and treatment. The more sophisticated the technology available in radiotherapy procedures, the more therapeutic benefits can be obtained; mainly considering the particularities of the veterinarian, such as anatomical varieties of the species, sedation during the session and voluntary non-cooperation. The level of technology employed is proportional to the cost of investment, maintenance and quality control instruments.

Keywords: Veterinary. Radiotherapy. High tech. Oncology. Radiation therapy.

1 INTRODUÇÃO

A medicina veterinária representa uma importante especialidade para o diagnóstico e tratamento das diferentes doenças nas mais diversas espécies de animais. O uso de fontes de radiações ionizantes tem demonstrado resultados eficientes na terapia e controle das doenças em animais, especialmente nas patologias oncológicas (SILVA; FALEIRO; MOURA, 2015).

A radioterapia é um tratamento no qual se aplica radiação ionizante no tumor para destruir ou diminuir o seu desenvolvimento, causando o menor dano possível nas células sadias circunvizinhas (SCAFF, 2010; INCA, 2020).

Na radioterapia, com a necessidade de aperfeiçoamento das técnicas empregadas, foram surgindo métodos sofisticados de aquisição de imagem para a visualização da área irradiada e maior preservação dos tecidos sadios atingidos pelo feixe de radiação, além de sistemas avançados para determinação da distribuição de dose mais homogênea e otimizada. Neste sentido, as técnicas avançadas de radioterapia vêm ganhando espaço, e a cada dia são cada vez mais aplicadas na medicina (MARTA *et al.*, 2014). Os constantes avanços tecnológicos no campo da saúde têm proporcionado o desenvolvimento de modernos e sofisticados equipamentos e medicamentos que são prontamente absorvidos pelos clínicos veterinários (FERNANDES, 2018).

Em 1994 a radioterapia foi reconhecida como uma especialidade pelo Colégio Americano de Radiologia Veterinária, no entanto, nos últimos anos a técnica de radioterapia vem ganhando maior destaque na veterinária, tendo em vista a crescente busca pela melhor qualidade de vida dos animais assistidos e o avanço tecnológico que permite sofisticados planejamentos e aquisições de imagens (LARUE; CUSTIS, 2014; NOLAN; DOBSON, 2018).

Segundo Larue e Custis (2014), a radioterapia aplicada na veterinária ainda tem como base as técnicas aplicadas na medicina humana, assim como os cães e gatos servem como base para a realização do tratamento em outras espécies. Dentre as modalidades radioterápicas disponíveis, as técnicas avançadas, como a radioterapia conformacional, proporcionam um importante avanço, principalmente no tocante aos benefícios proporcionados, tais como, a possibilidade de entrega uma dose tumoricida maior e melhor proteção dos tecidos sadios circunvizinhos. Todavia, as modernas e sofisticadas técnicas de radioterapia apresentam alto custo de implantação, aquisição de equipamentos e manutenção.

Um fator importante para se considerar na veterinária é a necessidade de sedação do paciente durante o tratamento, em razão da sua não cooperação voluntária. Sendo assim,

protocolos com hipofracionamento da dose são mais aceitos na veterinária, diminuindo a quantidade de sessões e consequentemente a sedação (MOORE, 2002; CUNHA *et al.*, 2010).

Tendo em vista a crescente busca por melhor qualidade de vida nos animais e o avanço da radioterapia veterinária, faz-se necessário o estudo e apresentação dos aspectos tecnológicos que envolvam um serviço de radioterapia veterinária. Este trabalho teve como objetivo apresentar os aspectos tecnológicos das modalidades radioterápicas aplicadas em medicina veterinária.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A rotina de um serviço de radioterapia foi acompanhada junto ao Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu (HC-FMB), onde foram estudados os protocolos dos tratamentos oferecidos, bem como as relações entre os parâmetros clínicos, radiométricos e físicos dos procedimentos radioterápicos realizados em humanos, os quais devem ser adequados para as especificidades da oncologia veterinária.

Visando à adequação das técnicas para o tratamento de tumores em medicina veterinária, e a coleta de informações referentes aos custos dos equipamentos e acessórios para técnicas avançadas, foi realizada uma visita em um serviço de radioterapia privado, localizado na cidade de São Paulo-SP, o qual oferece técnica de Radioterapia Conformacional Tridimensional (RT-3D), Radioterapia por Intensidade Modulada (IMRT), Radioterapia em Arco Modulado Volumétrico (VMAT), Radioterapia Estereotáxica Fracionada Corpórea (SBRT), Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT) e Radiocirurgia, podendo-se então melhor compreender as rotinas dos procedimentos das técnicas avançadas de tratamento.

Os equipamentos e acessórios exigidos na rotina da radioterapia veterinárias foram consultados junto a empresas fabricantes e representantes comerciais do ramo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Contato com fornecedores de equipamentos radioterápicos

As informações obtidas com os fornecedores de equipamentos radioterápicos, mostraram que pode-se utilizar os mesmos equipamentos irradiadores, tais como o acelerador linear clínico, sistemas de planejamentos e gerenciamento radioterápico usados na rotina dos procedimentos de radioterapia humana. As variações estão relacionadas com acessórios, tais

como, mesas especiais para o atendimento de animais de grande porte, acessórios de posicionamento e sedação, controle de temperatura e higienização.

As técnicas radioterápicas utilizadas são similares às usadas na radioterapia de humanos, mesmo as mais complexas, tais como: RT-3D e as IMRT e VMAT. O uso de imagens anatômicas dos pacientes contribui para maior benefício aos pacientes atendidos. O tratamento também apresenta maior efetividade com a aplicação de algoritmos de cálculo de dose com correção de heterogeneidade.

3.2 Acompanhamento da rotina de radioterapia com técnicas avançadas

Com a finalidade de compreender melhor o funcionamento das técnicas avançadas de radioterapia, além de possíveis adequações para o uso na radioterapia veterinária, foi realizada visita técnica em um hospital privado na cidade de São Paulo-SP. Esse serviço em questão conta com equipamento de alta tecnologia, por meio do qual são possíveis as realizações das técnicas de IMRT, VMAT, SBRT, IGRT e Radiocirurgia.

Um exemplo utilizado no serviço radioterápico da visita que seria bem aplicado na veterinária, é o caso da modulação do feixe de acordo com o movimento do órgão (4D). Assim como na radioterapia convencional em casos específicos se tem a necessidade da cooperação do paciente, por exemplo, através do controle da respiração (inspiração-expiração), com essa técnica é possível acompanhar o órgão em tempo real e verificar se o alvo está sendo atingido. Como na veterinária não se tem a cooperação do paciente durante o tratamento, o uso de técnicas avançadas como essa iria trazer maior qualidade e segurança no tratamento.

Verifica-se que cada paciente possui suas particularidades, existindo diferentes formas de posicioná-los, considerando a região anatômica e a lesão; na veterinária, esse aspecto fica ainda mais evidente, em vista da especificidade anatômica de cada espécie.

Para facilitar no posicionamento e enquadramento do campo de radiação planejado, modernas tecnologias disponibilizam sensores, *lasers* e câmeras de monitoramento na sala de tratamento, possibilitando que o profissional acompanhe o posicionamento, e caso necessite de intervenções, o posicionamento é adequado por meio de movimentos, como pequenas angulações na própria mesa (6D). A mesa de tratamento convencional não tem a possibilidade de movimento simultâneo com o feixe de irradiação, benefício que a tecnologia de mesa 6D oferece com excelência.

O equipamento de alta tecnologia conta com funções não disponibilizadas na radioterapia convencional, e assim como no uso em humanos, na veterinária se tornam

fundamentais, tendo em vista necessidades específicas, como por exemplo o hipofracionamento e a não imobilização voluntária do animal durante o tratamento.

Os resultados obtidos no acompanhamento das rotinas com técnicas avançadas confirmam os dados de Larue e Custis (2014), que mostram as principais indicações, vantagens e desvantagens das técnicas avançadas de radioterapia, tais como: IMRT, IGRT, SBRT, destacando-se os benefícios na entrega de dose mais homogênea e conformada, e a desvantagens e principal limitante o alto custo com o equipamento e manutenção.

3.3 Acompanhamento da Rotina no Setor Técnico de Radioterapia do HC-FMB

A rotina no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas (HC) da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB) foi acompanhada para se compreender as especificidades da técnica convencional utilizada, assim como o equipamento, acessórios e planejamentos, visando a adequação para o uso na medicina veterinária.

O equipamento em uso atualmente é o acelerador linear da marca Varian, modelo Clinac 2100C, responsável por atender pacientes da cidade de Botucatu-SP e região. Primeiramente, o paciente com indicação para a radioterapia comparece no setor para obtenção das imagens anatômicas para o planejamento do tratamento. Na técnica de radioterapia bidimensional convencional (RT-2D), antigamente usada, as imagens dos campos de radiação eram realizadas num equipamento de radiologia destinado para a simulação dos campos de radiação.

O avanço tecnológico e o desenvolvimento de sistemas de planejamento computadorizado, tornou-se possível o planejamento do tratamento através da técnica RT-3D, onde as imagens das áreas irradiadas são realizadas em um equipamento de tomografia computadorizada. A visão em três dimensões da região anatômica da área irradiada possibilita maior conformação do campo de tratamento com melhor preservação dos tecidos sadios circunvizinhos ao volume alvo de tratamento.

Alguns serviços de radioterapia possuem um equipamento de tomografia computadorizada especialmente dedicado ao setor de radioterapia para obtenção das próprias imagens da área irradiada em 3 planos anatômicos (CT-SIM). Todavia, na rotina do serviço de radioterapia do HC-FMB, utiliza-se o equipamento de tomografia do setor de radiodiagnóstico por imagem. Para tanto, são necessárias algumas adaptações no equipamento de TC, tais como o uso de uma prancha reta e horizontal para garantir a imobilização planejada da área a ser irradiada (FIGURA 1).

Figura 1. Tomógrafo adaptado para planejamento radioterápico



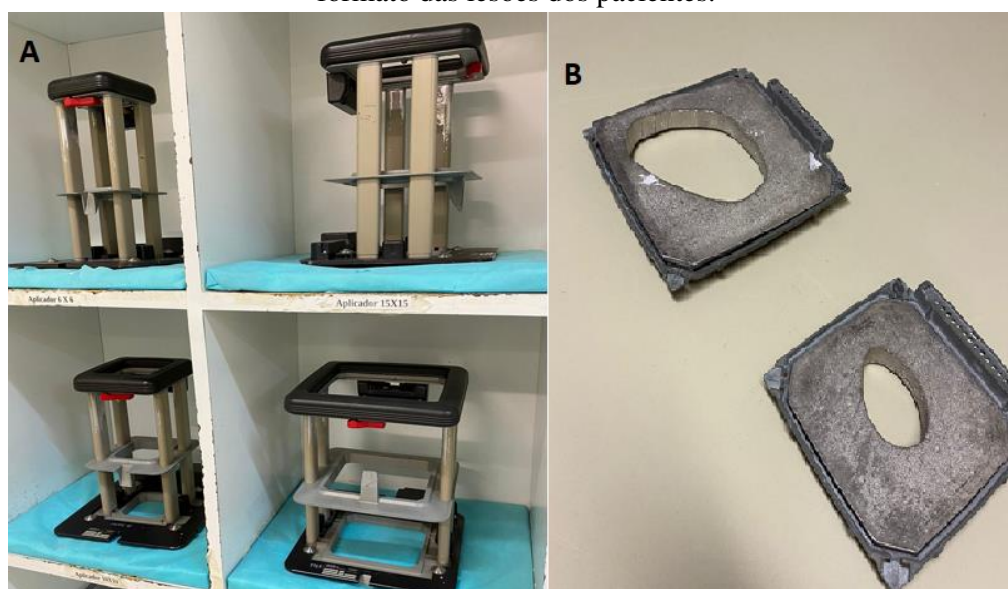
Fonte: Material elaborado pelos autores, 2022.

Após a realização da tomografia de planejamento, as imagens são enviadas para o sistema de comunicação e arquivamento de imagens (PACS), sendo importadas para o sistema de planejamento do tratamento radioterápico (TPS), onde serão feitos os cálculos dos parâmetros radiométricos (distribuição de doses de radiação, angulações do *gantry*, da mesa e colimador, etc.) considerando o volume alvo e os órgãos de risco atingidos pelos feixes de radiação, visando a melhor otimização do tratamento, buscando liberar a dose total preconizada no volume alvo e minimizar os efeitos radiobiológicos nos tecidos sadios circunvizinhos.

Silva (2018) mostrou a possibilidade de adequação do uso do *software* 3-D utilizado na radioterapia humana para planejamento de tratamento (TPS) com base em imagens tomográficas de animais selvagens atendidos na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu-SP (FMVZ). Nesse caso, o serviço precisa dispor de um equipamento que realize as imagens tridimensionais (ressonância magnética ou tomógrafo), exclusivamente para a radioterapia, ou utilizando o mesmo equipamento das rotinas de imagens, como visto o exemplo do HC-FMB. Portanto, a principal diferença para com a aquisição do equipamento veterinário, está nos acessórios e tamanho da mesa.

Por ser um equipamento de radioterapia convencional, ainda existem algumas limitações frente as técnicas avançadas, como por exemplo, a conformidade do feixe de radiação pelos colimadores *multileaf* não permitem uma variação grande de formatos, como acontece na IMRT. Nesses casos, podem ser utilizados blocos de colimação confeccionadas com uma liga metálica denominada cerrobend. Para o tratamento de lesões mais superficiais como tumores de pele, utiliza-se o aplicador de elétrons (FIGURA 2-A) sendo também necessário a confecção de blocos de proteção (FIGURA 2-B) para a colimação de áreas sadias ao redor do campo de tratamento.

Figura 2. Aplicadores de elétrons e blocos de chumbo. A) Diferentes tamanhos de aplicadores de elétrons (utilizados para lesões mais superficiais); B) blocos de chumbo construídos com o formato das lesões dos pacientes.



Fonte: Material elaborado pelos autores, 2022.

A aquisição da imagem com o paciente posicionado para o tratamento (portal filme), é realizada no próprio feixe de radiação do acelerador linear, com um porta filme (chassi) posicionado no respectivo suporte (FIGURA 3), e centralizado com o campo de radiação. O filme radiográfico é submetido ao processo de revelação em uma processadora automática. Em serviços de radioterapia mais avançados, as imagens dos campos de radiação são obtidas em tempo real através de sistemas de aquisição de imagens digitais (IGRT – radioterapia guiada por imagem), disponíveis na sala de tratamento.

Figura 3. Portal para realização da imagem no Setor de Técnico de Radioterapia do HC-FMB.



Fonte: Material elaborado pelos autores, 2022.

Assim como ocorre no tratamento com técnicas avançadas, igualmente na técnica convencional, durante todo o tratamento o paciente após o posicionamento, tem a dose liberada pelo sistema de tratamento e é monitorado por um sistema de câmeras de vídeo, garantindo que não haja nenhuma movimentação após o correto posicionamento do paciente aos feixes de radiação planejados.

A técnica de Radioterapia por Intensidade Modulada do feixe de radiação (IMRT) e a técnica de Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT) requerem equipamentos de radiação complexos e onerosos, uma alternativa pode ser a confecção de blocos de colimação para conformar o campo de tratamento no volume alvo, e a aquisição das imagens dos campos de radiação por meio de radiografias planares.

O tempo de tratamento (fracionamento do número de sessões) realizado na radioterapia em humanos é um fator limitante na medicina veterinária, considerando como principal dificuldade a necessidade de sedação em cada momento de tratamento, como mostra Moore (2002). O hipofracionamento é mais aceitável na veterinária, e deve-se ponderar que as técnicas avançadas apresentam maior precisão na entrega da dose.

4 CONCLUSÕES

Quanto mais sofisticada a tecnologia disponível nos equipamentos e acessórios empregados nos procedimentos de radioterapia, mais benefícios terapêuticos podem ser

obtidos, principalmente considerando as particularidades da veterinária, ou seja, variedades anatômicas das espécies, sedação durante a sessão e não cooperação voluntária. Todavia, deve-se ponderar que os custos dos investimentos, manutenção do serviço e instrumentos de controle de qualidade são proporcionais ao nível da tecnologia empregados.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional Do Câncer-INCA. **O que é radioterapia**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <https://www.inca.gov.br/perguntas-frequentes/o-que-e-radioterapia#footer>>. Acesso em: 10 de set. 2020.

FERNANDES, M.A.R. **Metodologia para Determinação da Carga de Trabalho Efetiva em Equipamentos de Teleterapia. Proposta para Otimização das Blindagens da Sala de Radioterapia Veterinária**. 2018. 98 f. Tese (Livre Docência). Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

LARUE, S. M.; CUSTIS, J. T. Advances in Veterinary Radiation Therapy Targeting Tumors and Improving Patient Comfort. **Veterinary Clinical Small Animal**, v. 44, p. 909–923, 2014. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25174907/>>. Acesso em: 09 de jun. 2022.

CUNHA, S. C. S. *et al.* Tratamento hipofracionado de radioterapia em felinos portadores de carcinoma epidermóide facial. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 62, p. 1135-1141, 2010. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/FWthJ977Xv5PD4Qc7ykskSK/?lang=pt>>. Acesso em: 09 de jun. 2022.

MARTA, G. N. *et al.* **Diretrizes para tratamento de tumores da cabeça e pescoço com radioterapia de intensidade modulada. Sociedade Brasileira de Radioterapia**. São Paulo, 2014. Disponível em: < <https://sbradioterapia.com.br/wp-content/uploads/2016/01/tratamento-de-tumores-da-cabeca-e-pescoco-com-radioterapia-de-intensidade-modulada.pdf>>. Acesso em: 16 de jul. 2020.

MOORE, A. S. Radiation Therapy for the Treatment of Tumours in Small Companion Animals. **The Veterinary Journal**, v. 164, p. 176-187, 2002. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12505390/>>. Acesso em: 16 de jul. 2020.

NOLAN, M. W.; DOBSON, J. M. The future of radiotherapy in small animals – should the fractions be coarse or fine? **Journal of Small Animal Practice**, v. 59, p. 521-530, 2018. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jsap.12871>>. Acesso em: 15 de jul. 2022.

SCAFF, L. **Física Radioterapia – A base analógica de uma era digital**. v. 1, São Paulo: Projeto Saber, 2010.

SILVA, D. A. Planejamento Computacional **Tri-Dimensional para Radioterapia em Região Pélvica de Animais Selvagens**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

SILVA, D. R.; FALEIRO, M. B. R.; MOURA, V. M. B. D. Tumores de células redondas em cães: aspectos gerais e marcadores imunohistoquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 2650-2681, Goiânia, 2015. Disponível em: <
http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_233>. Acesso em: 15 de jul. 2022.