UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

ANÁLISE RADIOMÉTRICA DE FEIXES DE FÓTONS DE ALTA ENERGIA – ELABORAÇÃO DO PLANO DE RADIOPROTEÇÃO APLICADO A RADIOTERAPIA VETERINÁRIA

GIZELE CRISTINA FERREIRA

Botucatu - SP
Junho 2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

GIZELE CRISTINA FERREIRA

ANÁLISE RADIOMÉTRICA DE FEIXES DE FÓTONS DE ALTA ENERGIA – ELABORAÇÃO DO PLANO DE RADIOPROTEÇÃO APLICADO A RADIOTERAPIA VETERINÁRIA

Dissertação apresentado 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 Mestre.

Orientador: Prof. Associado Marco Antônio Rodrigues Fernandes

Botucatu - SP
Junho 2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Ferreira, Gizele Cristina.
Análise radiométrica de feixes de fótons de alta energia : elaboração do plano de radioproteção aplicado a radioterapia veterinária / Gizele Cristina Ferreira. - Botucatu, 2019

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Orientador: Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Capes: 50501038

1. Radiação - Dosagem. 2. Dosimetria. 3. Medicina veterinária. 4. Proteção radiológica. 5. Radioterapia.

Palavras-chave: dose de radiação; dosimetria; medicina veterinária; proteção radiológica; radioterapia.

GIZELE CRISTINA FERREIRA

ANÁLISE RADIOMÉTRICA DE FEIXES DE FÓTONS DE ALTA ENERGIA – ELABORAÇÃO DO PLANO DE RADIOPROTEÇÃO APLICADO À RADIOTERAPIA VETERINÁRIA

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Animais Selvagens.

Orientador: Prof. Associado Marco Antônio Rodrigues Fernandes

COMISSÃO EXAMINADORA

(Titulares)

_____
Prof. Associado Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Departamento de Dermatologia e Radioterapia
FMB – UNESP – Botucatu

_____
Prof. Dr. Carlos Roberto Teixeira
Departamento de Cirurgia e Anestesiologia Veterinária
FMVZ – UNESP – BOTUCATU

_____
Prof. Dr. Luís Carlos Giarola
Departamento de Saúde Pública
FMB – UNESP – BOTUCATU

Botucatu, 24 de Junho de 2019

Comissão examinadora (Suplentes)

Prof. Associado Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Departamento de Dermatologia e Radioterapia
FMB – UNESP – Botucatu

Prof. Dr. Vidal Haddad Júnior
Departamento de Dermatologia e Radioterapia
FMB – UNESP – BOTUCATU

Prof. Dra. Talita Salles Coelho
Centro de Engenharia Nuclear – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

Botucatu, 24 de Junho de 2019

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, socorro presente na hora da angústia.

Ao Prof. Dr. Marco Antônio pela orientação inegavelmente eficiente e segura, obrigada pela paciência, pelos ensinamentos, correções e estímulos dados. Foi graças a todo o seu incentivo que recebi durante essa trajetória que hoje eu posso celebrar.

À Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu por me aceitarem como pós-graduanda. Agradeço ao departamento de Radiologia Veterinária pelas portas abertas. Obrigada aos pós-graduandos Michel Vettorato e Jéssica Leite por sempre me instruir e me ajudar no que era preciso. Agradeço a todos os professores pelo aprendizado.

À Clínica de Radioterapia Arakawa do Hospital Unimed de Bauru.

Ao setor técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP pela realização dos experimentos necessários para a realização deste trabalho. Ao Dr. Batista de Oliveira Júnior, médico radioterapêuta e chefe do setor. Agradeço aos físicos médicos por me orientarem nos testes de dosimetria, especialmente ao físico médico Antônio César Pernomian por permitir acompanhar os testes de qualidade e esclarecer minhas dúvidas, à Rozinete Galvão por me ensinar e auxiliar nos testes de planura e simetria, à Rafaella Gervázio pelo apoio nas horas em que mais precisava, à secretária Carina Francisco e a todos os colegas de trabalho que sempre colaboraram nas horas que eu precisava me ausentar do trabalho por conta dos estudos, obrigada equipe que de forma direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído.

À minha família pelo apoio e incentivo, à minha mãe Maria que apesar de todas as dificuldades sempre esteve ao meu lado, ao meu querido *jaanu* Amit que não me deixou desistir, que permaneceu ao meu lado nas madrugadas de estudo, à minha razão de viver e grande amor Thaila Beatriz, que foi a minha inspiração em continuar os meus estudos e que me fortalece cada dia mais.

FERREIRA, G. C. **Análise radiométrica de feixes de fótons de alta energia – elaboração do plano de radioproteção aplicado à radioterapia veterinária**. Botucatu, 2019. 110p. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

A proposta do trabalho é a elaboração de um Plano de Radioproteção e a apresentação da rotina de procedimentos de dosimetria de feixes de teleterapia para a adequação em serviços de radioterapia dedicados à medicina veterinária. São apresentados os principais parâmetros radiométricos dos feixes de radiação que devem ser analisados com maior periodicidade pelos usuários de equipamentos de teleterapia. Os experimentos dosimétricos foram realizados no acelerador linear instalado no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clinicas da Faculdade de Medicina de Botucatu. Os ensaios de planura, simetria e de determinação da dose absoluta dos feixes de radiação mostraram-se exequíveis para a rotina da radioterapia veterinária. Os resultados apresentados dos parâmetros radiométricos medidos estão em conformidade com os protocolos de dosimetria nacionais e internacionais. O Plano de Radioproteção elaborado, pode subsidiar os profissionais e autoridades sanitárias envolvidas nas práticas da radioterapia veterinária quanto aos preceitos do uso seguro das fontes radioativas e feixes de teleterapia.

Palavras Chave: dose de radiação, dosimetria, medicina veterinária, proteção radiológica, radioterapia.

FERREIRA, G. C. **Radiometric analysis of high energy photon beams - elaboration of the radioprotection plan applied to veterinary radiotherapy**. Botucatu, 2019. 110p. Thesis (MA) School of Veterinary Medicine and Animal Science, Botucatu, Paulista State University.

.

ABSTRACT

The proposal of the work is the elaboration of a Radioprotection Plan and the presentation of the routine of dosimetry procedures of teletherapy beams for the adequacy in radiotherapy services dedicated to veterinary medicine. Presented the main radiometric parameters of the radiation beams that should be analyzed more frequently by users of teletherapy equipment. The dosimetric experiments were performed in the linear accelerator installed in the Technical Section of Radiotherapy of the Clinical Hospital of the Botucatu Medical School. The tests of flatness, symmetry and absolute dose determination of the radiation beams were shown feasible for the routine of veterinary radiotherapy. The presented results of the radiometric parameters measured are in accordance with national and international dosimetry protocols. The Radioprotection Plan elaborated may support the professionals and health authorities involved in veterinary radiotherapy practices regarding the safe use of radioactive sources and teletherapy beams.

Key Words: radiation dose, dosimetry, veterinary medicine, radiological protection, radiotherapy.

LISTA DE ABREVIATURAS

ALARA – As Low As Reasonably Achievable

cGy – centigrays

cm - centímetros

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

DFS – Distância foco-superfície

DNA – Ácido desoxirribonucleico

FMVZ – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

FWHM – Full Width at Half Maximum

HC–FMB – Hospital das Clínicas – Faculdade de Medicina de Botucatu

IAEA – International Atomic Energy Agency

ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements

IMRT - Radioterapia com Intensidade Modulada

INCA - Instituto Nacional de Câncer

KERMA – Kinetic Energy Released Per Unit Mass

MeV – Megaeletronvolts

mGy/min – miligray por minuto

MLC – Multleaf Colimator

mSv – milisieverts

MV – Milhões de volts (mega volts)

nC – nanocoulomb

PMMA – Polimetil-metacrilato

PPR – Plano de Proteção Radiológica

PR – Plano de Radioproteção

PTW – Physikalisch-Technische Werkstatten

TPS – Sistema de Planejamento do Tratamento

UNESP – Universidade Estadual Paulista

VMAT – Arcoterapia Volumétrica Modulada

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores da planura e simetria medidos.....41
Tabela 2 – Valores dos desvios padrão das medidas da planura e simetria.....42
Tabela 3 – Valores de doses de radiação medidas 44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de uma ampola de raios–X.....19
Figura 2 – Ilustração do processo do efeito fotoelétrico.....20
Figura 3 – Ilustração do processo do espalhamento Compton.....21
Figura 4 – Ilustração do processo da produção de pares.....22
Figura 5 – Acelerador Linerar do HC-FMB.....25
Figura 6 – Unidade de Telecobaltoterapia CGR/MEV – Alcyon II do HC-FMB.....26
Figura 7 – Medidor de planura e simetria. Eletrômetro PTW QC6Plus.....38
Figura 8 – Arranjo experimental para análise de planura e simetria.....39
Figura 9 – Arranjo experimental para dosimetria dos feixes de radiação.....41
Figura 10 – Distribuição das câmaras de ionização no detector PTW QC6PLUS.....43

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....13
1.1- Objetivos 16
1.1.1 - Objetivos Gerais 16
1.1.2 - Objetivos Específicos 16
1.2- Justificativas.....16
2 - REVISÃO DA LITERATURA.....18
2.1- Breve Histórico dos Raios-X 18
2.2- Produção de Raios-X 19
2.3- Interação da radiação com a matéria.....20
2.3.1 - Efeito fotoelétrico.....20
2.3.2 - Espalhamento Compton.....20
2.3.3 - Produção de pares.....21
2.4- Grandezas dosimétricas 22
2.4.1 - Exposição (X).....22
2.4.2 - Dose absorvida (D).....22
2.4.3 - Kerma (K).....23
2.5- Radioterapia - conceitos básicos.....23
2.5.1 - Aceleradores Lineares 24
2.5.2 - Unidade de Telecobaltoterapia 25
2.6- Noções de Radioproteção 27
2.6.1 - Princípios de Radioproteção 27
2.6.1.1 - Justificação 27
2.6.1.2 - Otimização 27
2.6.1.3 - Limitação da dose 28
2.6.1.4 - Prevenção de acidentes 28
2.6.1.5 - Parâmetros de Redução de Radiação 29
2.7- Radiobiologia 29
2.7.1 - Efeitos biológicos das radiações 30
2.7.1.1 - Efeitos estocásticos 30
2.7.1.2 - Efeitos somáticos 30
2.7.1.2.1. - Efeitos Agudos 31
2.7.1.2.2. - Efeitos Tardios 31

2.7.1.3 - Efeitos Determinísticos 31
2.7.1.4 - Efeitos Genéticos ou hereditários 31
2.8 - Câncer – conceitos básicos.....31
2.9 - Câncer em Medicina Veterinária.....34
2.10 - Plano de Radioproteção – aspectos gerais.....35
3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....36
3.1 - Medidas da Planura e Simetria do feixe de radiação.....37
3.2 - Medidas da dose de radiação do feixe primário – calibração do feixe 39
4 - RESULTADOS.....41
4.1 - Medidas da planura e simetria do feixe de megavoltagem do acelerador linear.....41
4.2 - Medidas da dose de radiação absoluta no acelerador linear.....43
4.3 - Plano de Radioproteção aplicado à Radioterapia Veterinária 44
5 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES 45
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

APÊNDICE I – PLANO DE RADIOPROTEÇÃO – RADIOTERAPIA VETERINÁRIA.....66

1. INTRODUÇÃO

O uso de equipamentos e de fontes de radiações ionizantes tem-se se intensificado desde a época da sua descoberta no ano de 1895, em parte face aos benefícios decorrentes da sua aplicação nas diferentes áreas da saúde. Inicialmente, a falta de conhecimentos sobre as propriedades dos raios-x fez com que muitos pioneiros e profissionais da radiologia fossem acometidos por patologias decorrentes dos efeitos deletérios do uso indevidos deste tipo de radiação (FERNANDES, 2000).

Com os estudos sobre radiobiologia e após o estabelecimento de protocolos de proteção radiológica, os acidentes e as exposições indevidas aos raios-X puderam ser minimizadas. No entanto, acidentes radiológicos continuam a ser notificados junto aos órgãos normatizadores e fiscalizadores do uso de fontes radioativas, o que exige o constante aperfeiçoamento das legislações específicas (GUILHEN,2007).

A radioterapia é a modalidade médica que utiliza fontes de radiações ionizantes no tratamento de doenças, das especialidades médicas é a que tem apresentado significativo aumento de suas aplicações (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013). O princípio da terapêutica baseia-se na destruição de células tumorais através do bombardeio delas com feixes de radiações eletromagnéticas ou corpusculares.

O desenvolvimento tecnológico e os avanços no campo da ciência da computação, trouxeram sistemas de softwares e hardwares dedicados, que aliados aos modernos equipamentos de radioterapia tem proporcionado melhor distribuição da dose de radiação e maior precisão do alvo (IAEA, 2004). Técnicas sofisticadas de radioterapia além de propiciar melhor conforto ao paciente, podem ainda possibilitar o aumento da dose de radiação absorvida no volume tumoral com menos efeitos radiobiológicos colaterais nos tecidos e órgãos sadios periféricos ao campo de tratamento, o que favorece a taxa de curabilidade e controle da doença (GUIMARÃES *et al*, 2013).

Após a descoberta e a utilização das radiações ionizantes, a ciência e a medicina se beneficiaram, mas por outro lado provocaram diversos danos em médicos, pesquisadores, indivíduos expostos e pacientes. Contudo, essa

tecnologia trazia perigos desconhecidos na sua utilização às práticas sociais (NAVARRO *et. al*. 2008).

As primeiras recomendações de proteção radiológica para os trabalhadores foram publicadas pela Roentgen Society após a confirmação do dano no tecido humano que as altas doses de radiação causaram vinte anos após a descoberta dos raios-X (XAVIER, 2006). O uso desenfreado da falta de conhecimento das radiações observou-se os danos biológicos, sendo assim, criaram normas que visam à proteção do ser humano e do meio ambiente (PIRES; GELBCKE; MATOS, 2004)

Para se garantir o sucesso da radioterapia, são necessários a realização de ensaios radiométricos periódicos, os quais devem seguir os preceitos dos protocolos nacionais e internacionais de dosimetria das radiações (BRASIL, 1998; IAEA, 2000; INCA, 2000; IAEA, 2007).

A radiometria compreende métodos de medidas da intensidade e avaliação da qualidade dos campos de radiações ionizantes (EWALD, 2008). A legislação preconiza que os testes radiométricos sejam realizados por profissionais capacitados com formação específica, além de se exigir instrumentos de detecção de radiação calibrados periodicamente em Laboratório credenciado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2012; CNEN, 2014).

O Plano de Proteção Radiológica é um documento exigido pela Portaria da Secretaria de Vigilância Sanitária nº 453 de 1º de junho de 1998 que deverá ser entregue a este órgão ao solicitar o Alvará de funcionamento inicial do serviço. Deverá conter, não só a descrição do estabelecimento e de suas instalações, mas também o Programa de Garantia de Qualidade, que descreve como deve ser o controle de qualidade dos equipamentos e o PPR, este possui informações para o trabalho seguro com radiações ionizantes (CNEN, 2014).

A autorização de funcionamento de um serviço de radioterapia requer dentre vários requisitos, a aprovação pelos órgãos competentes, do Plano de Radioproteção (PR) da clínica radioterápica (CNEN, 1988). O PR deve conter as informações sobre os equipamentos utilizados, a identificação da equipe de profissionais, as características físicas e funcionais das dependências, além de apresentar os resultados dos testes de radiometria e controle de qualidade dos

feixes e equipamentos emissores de radiações ionizantes empregados no serviço (CNEN, 2011;OKAWABATA, 2014).

Pesquisas com fontes radioativas na área da medicina veterinária tem proporcionado a inserção de novas técnicas de diagnóstico e terapia idealizadas para as diversas espécies animais (STOSKOPF, 2012). Nesta linha de pensamento, a radioterapia veterinária vem ganhando espaço junto ao meio acadêmico e científico e despertado o interesse de profissionais para o investimento neste segmento terapêutico (BURK, KING, 1997; ANDRADE, FERNANDES, 2014; FERNANDES *et al*, 2010). Neste sentido, torna-se imperativa a realização de estudos radiométricos dos feixes de radiação para uso dedicado à radioterapia veterinária conjuntamente com a elaboração de Plano de Radioproteção específico para a correta implantação na rotina destes procedimentos terapêuticos. Esta iniciativa visa não apenas satisfazer as prerrogativas dos órgãos fiscalizadores, mas sim garantir as condições de trabalho seguro e eficácia terapêutica.

Nas técnicas de teleterapia, novos aceleradores lineares com complexos recursos liberam elevadas doses de radiação no volume alvo com maior proteção às células sadias dos tecidos circunvizinhos, diminuindo sensivelmente os efeitos deletérios. Na braquiterapia, o uso de microfontes de alta taxa de dose acionadas por controle remoto, tem proporcionado maior comodidade aos pacientes, mais agilidade nos procedimentos que passaram a ser realizados de forma ambulatorial, aumentando a oferta do tratamento a um número maior de pacientes. Todos esses avanços, visando à melhoria e garantia da qualidade dos tratamentos também propiciaram a utilização das fontes de radiação com maior segurança radiológica (PODGORSAK, 2005).

Este trabalho analisou o perfil de distribuição de dose de radiação fornecido por fótons de alta energia utilizados em radioterapia humana e que apresentam indicação para a oncologia veterinária, visando assim subsidiar os protocolos radioterápicos dedicados à medicina animal. Foi elaborada uma proposta de Plano de Radioproteção nos moldes do que já é realizado na radioterapia humana, mas que apresente as características da rotina da clínica animal e que possa ser implantado nos serviços de radioterapia veterinária.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

Estudar as características radiométricas de feixes de teleterapia usados na clínica humana, visando sua aplicação na oncologia veterinária.

Realizar ensaios radiométricos de feixes de fótons de alta energia de uso em radioterapia.

Estudar a distribuição de dose de radiação proveniente de equipamentos de teleterapia visando identificar as especificidades para uso adequado em radioterapia veterinária.

Subsidiar as clínicas e os profissionais veterinários quanto aos preceitos de proteção radiológica e os parâmetros de qualidade e segurança dos feixes de radiações ionizantes.

1.1.2 Objetivos Específicos

Elaborar um Plano de Radioproteção dedicado aos serviços de radioterapia veterinária, que atenda aos requisitos exigidos pelos órgãos fiscalizadores do uso de radiações ionizantes e garanta a segurança dos profissionais e a qualidade dos tratamentos oferecidos.

1.2 Justificativas

A radioterapia em humanos já é uma modalidade médica consolidada e representa uma importante opção de tratamento para a cura e controle do câncer. Sua indicação na área da veterinária vem ganhando impacto frente aos resultados satisfatórios obtidos em pesquisas experimentais desenvolvidas em importantes centros universitários especializados e devido ao aumento das notificações desta doença na rotina da clínica animal (FERNANDES et al, 2003).

Esse método consiste no uso da radiação ionizante, produzida por aparelhos ou ainda por radioisótopos naturais ou artificiais, para fins terapêuticos. A radioterapia pode ser usada tanto para tratamento de doenças benignas quanto malignas. Tem como principal objetivo entregar uma dose precisa de radiação em

determinado volume a fim de promover o controle ou a erradicação da doença, preservando os tecidos normais adjacentes (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013).

Estudos (MEDEIROS, VIEIRA, 1997) já demonstraram que os animais selvagens em cativeiro comumente ficam excessivamente sujeitos à radiação ultravioleta solar. Este fato, aliado às constantes alterações no meio ambiente e condições de vida da fauna, pode desencadear vários tipos de câncer, principalmente naquelas espécies animais de pele sem pigmentação, seca e/ou de pouca secreção sebácea. Esta análise é corroborada com pesquisas mais recentes (MCNIEL, 2009; MORETTO, CORRÊA,2013).

A aplicação de feixes de radiações ionizantes requer o uso de equipamentos e dispositivos de alta complexidade que devem ser periodicamente avaliados quando à sua qualidade e eficácia através de testes radiométricos feitos por profissional capacitado com conhecimentos específicos sobre as propriedades e características dos respectivos feixes de radiações (PODGORSAK, 2005).

A realização deste trabalho de mestrado poderá contribuir para a otimização das etapas do processo de comissionamento de uma clínica de radioterapia, o que envolve procedimentos específicos exigidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), tais como: a) obtenção de autorização para construção das edificações da sala do equipamento de teleterapia, b) autorização para importação do equipamento ou fonte emissores de radiações ionizantes e c) autorização para operação do serviço de radioterapia, a qual demanda a elaboração do Plano de Radioproteção e a realização de testes de radiometria dos feixes de radiação a serem instalados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O termo *radiação* aplica-se à emissão, propagação e absorção de energia através do espaço ou de um meio material, na forma de onda ou de partícula. A radiação é propagada de duas maneiras, fótons ou partículas. Fótons são “pacotes” de energia sem massa nem carga, que se comportam tanto como partículas como ondas quanto à sua interação entre si ou com a matéria. Tanto os raios-X como os raios-gama envolvem fótons, diferindo apenas em seu método de produção. A radiação por partículas é propagada por unidades de massa. As formas mais usadas de radiação por partículas são elétrons, prótons e nêutrons. A radiação penetra no tecido de acordo com seu tipo em diferentes profundidades (FUNDAÇÃO ONCOCENTRO DE SÃO PAULO, 2006).

2.1 Breve Histórico dos Raios-X

Os raios X foram descobertos por Wilhelm Conrad Roentgen em 08 de novembro de 1895. Roentgen estava investigando o fenômeno causado pela passagem de uma descarga elétrica em tubos de vidro, contendo gases rarefeitos. Observou que um papel “ecran”, coberto com material fluorescente de platinocianureto de bário tornava-se iluminado, mesmo quando o tubo era coberto com papel preto e o experimento realizado em um quarto totalmente escuro. A essa radiação desconhecida, que produzia o fenômeno da fluorescência, chamou de raios-X (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013), X por serem de natureza desconhecida.

A descoberta revolucionou a era da Física Atômica no século XX e proporcionou um avanço na medicina, onde se desenvolveram diferentes aplicações nas mais variadas especialidades (MORGAN 1945, SELIGER 1995).

Após analisar o comportamento dos raios–X com diferentes materiais, Roentgen resolveu fazer uma exposição da mão de sua esposa Anna Bertha Lugwig (1839 – 1919), na qual foi possível observar com detalhes os ossos de sua mão, inclusive o anel que usava no momento da exposição (OKUNO; YOSHIMURA 2010).

A radioatividade foi descoberta em Paris e anunciada no dia 1º de março de1896, quando Antoine Henri Becquerel, revelou chapas fotográficas que foram

previamente colocadas sob amostra de um sal duplo de sulfato de urânio e potássio. Em 26 de dezembro de 1898, o casal Curie anunciou a descoberta do radium. Nesta época, Madame Curie demonstrava também que as radiações descobertas por Becquerel poderiam ser medidas usando técnicas baseadas no efeito de ionização. Madame Curie muito contribuiu para o desenvolvimento da ciência das radiações, juntamente com seu marido Pierre, que morreu tragicamente em um acidente de rua, em 1906, com 47 anos de idade. Madame Curie foi, sem dúvida alguma, a mais brilhante e respeitada cientista feminina do seu tempo e provavelmente de todo o século XX (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013).

2.2 Produção dos Raios–X

Os raios–X por serem radiações de natureza eletromagnética, propagam-se através de qualquer material, ou mesmo no vácuo, eles são produzidos sempre que uma substância é bombardeada por elétrons de velocidades altas. A Figura 1 ilustra os componentes de uma ampola de raios-X (MUHLBAUER; KNELLER, 2013).

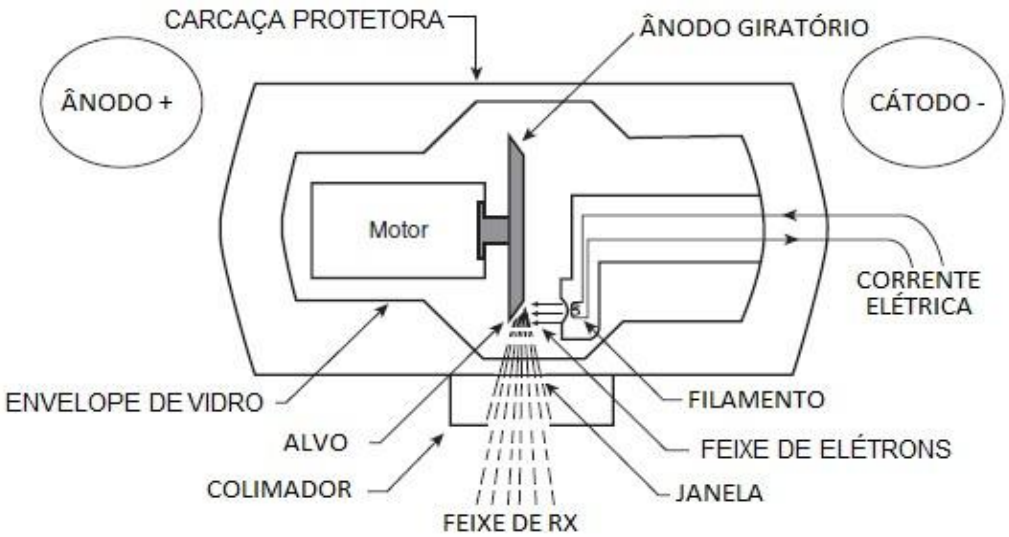


Figura 1 - Componentes de uma ampola de raios-X. Fonte: MUHLBAUER; KNELLER, 2013.

2.3 Interação da Radiação com a matéria

Sempre que um feixe de raios X passa por um meio absorvedor como o tecido humano, uma parte desta energia é transferida para o meio e causará um dano biológico a esse tecido. As interações mais importantes para a radioterapia são o efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares (SCAFF, 2010).

2.3.1 Efeito fotoelétrico

É o processo no qual um fóton interage com um átomo e libera um dos elétrons orbitais; nesse processo toda a energia do fóton incidente é transferida para o elétron ejetado (BERDAKY, 2000). A Figura 2 ilustra o processo de interação fotoelétrica.

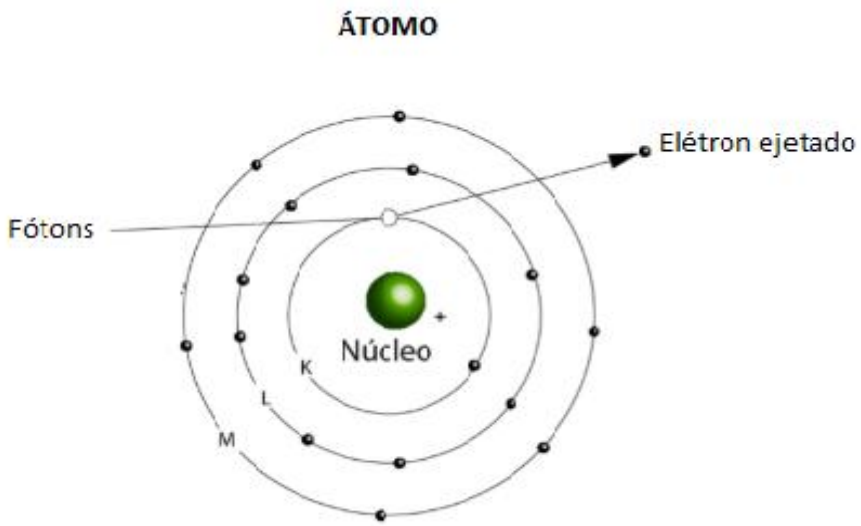


Figura 2 - Ilustração do processo de interação fotoelétrica. Fonte: BERDAKY, 2000.

2.3.2 Espalhamento Compton

No processo do espalhamento Compton, o fóton incidente interage com um elétron de uma camada vizinha ejetando-o de sua órbita natural, sendo que agora o fóton não desaparece, apenas muda sua trajetória. O fóton então é refletido e

passa a ser chamado de radiação espalhada (SCAFF, 2010). A figura 3 ilustra o processo do espalhamento Compton.

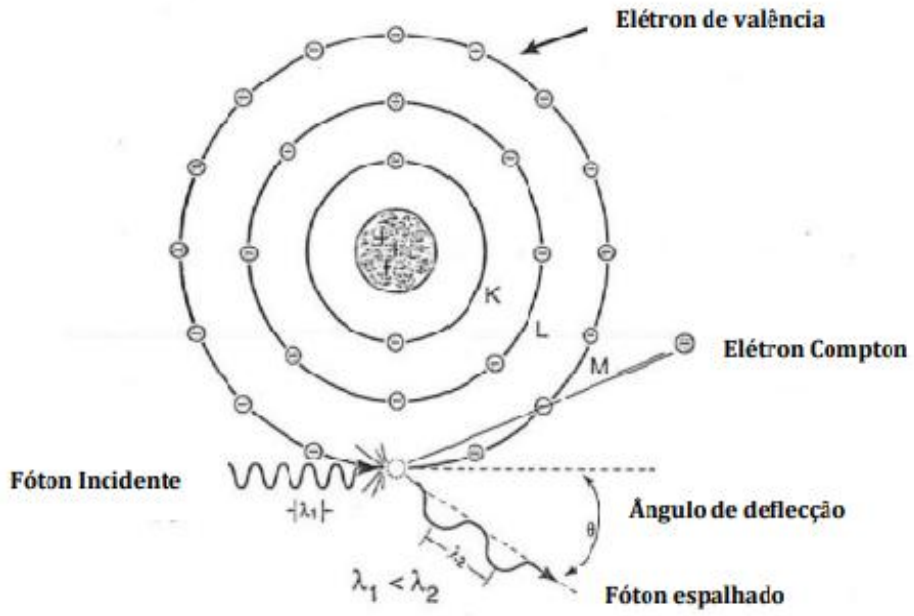


Figura 3 - Ilustração do processo do espalhamento Compton. Fonte: https://www.researchgate.net/publication/284548136

2.3.3 Produção de pares

O fenômeno da produção de pares ocorre quando um fóton de energia maior ou igual a 1,022 MeV passa muito próximo do núcleo de um átomo e interage com o seu campo elétrico forte. O fóton então desaparece dando origem a um par de partículas elétron–pósitron (BERDAKY, 2000). A Figura 4 ilustra processo da produção de pares.

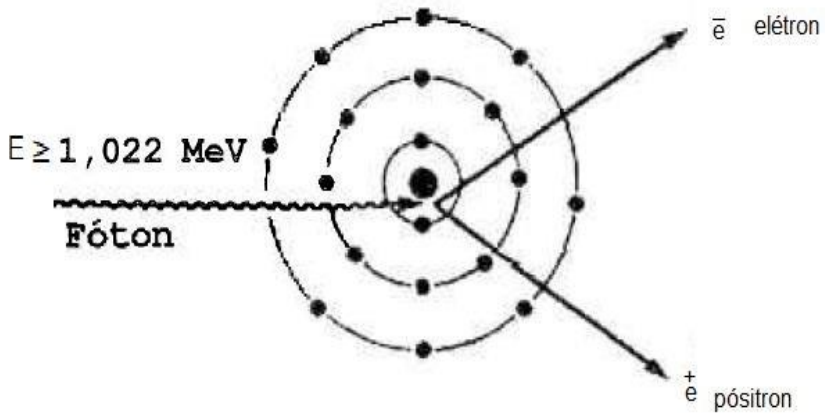


Figura 4 - Ilustração do processo da produção de pares. Fonte: BERDAKY, 2000

2.4 Grandezas Dosimétricas

2.4.1 Exposição (X)

A exposição (X) é definida pelo Comitê Internacional de Unidades de Radiação (ICRU) como o quociente de dQ por dm, onde dQ é o valor absoluto da carga total de íons de um mesmo sinal produzidos no ar quando todos os elétrons tanto positivos quanto negativos são liberados numa determinada massa de ar dm são completamente freados no ar (ICRU 33).

$$X = dQ/dm \qquad [1]$$

2.4.2 Dose Absorvida (D)

A dose absorvida (D) é definida como a quantidade de energia depositada pela radiação ionizante na matéria num determinado elemento de volume conhecido (ICRU 33).

$$D = dE/dm \qquad [2]$$

onde *dE* é a energia média depositada pela radiação ionizante num material de massa dm do volume (IAEA 1971).

A grandeza dose absorvida, D, foi definida para descrever a quantidade de radiação, para todos os tipos de radiações ionizantes, incluindo partículas carregadas e não carregadas, todos os materiais e energias. Dose absorvida é a medida dos efeitos biologicamente significantes produzidos pela radiação ionizante (KHAN 1994).

2.4.3 Kerma (K)

O Kerma (K) representa a energia cinética perdida no meio, e é definido como o quociente de dE_{tr}/dm, onde dE_{tr} é a soma das energias cinéticas iniciais de todas as partículas ionizantes carregadas (elétrons e pósitrons), liberados pelas partículas sem carga (fótons) em um material de massa dm (ICRU 33).

$$K = dE_{tr} / dm \qquad [3]$$

2.5 Radioterapia – conceitos básicos

A radioterapia é a modalidade médica que utiliza radiações ionizantes para o tratamento de doenças. Como tratamento do câncer, a radioterapia é relatada desde 1899. O princípio da radioterapia é a aplicação de uma dose de radiação, a maior possível, com finalidade ideal de controle do tumor, visando ainda minimizar os prejuízos aos tecidos normais circunvizinhos. Isolada ou associada à cirurgia e/ou quimioterapia, é uma modalidade curativa efetiva para muitas neoplasias malignas com alta taxa de sobrevida nos estádios inicias da doença (PEREZ, 1999).

Na esfera do câncer, a radioterapia é indicada como forma de tratamento para diferentes tipos de neoplasias. Essa forma de terapia utiliza feixes de radiações ionizantes, que possuem energia suficiente para liberar elétrons da estrutura atômica, a fim de destruir as células tumorais (INCA, 2014).

A teleterapia ou radioterapia externa é a modalidade de tratamento em que a fonte de radiação está a uma certa distância do paciente (SALVAJOLI; SOUAHAMI; FARIA 2013).

2.5.1 Aceleradores Lineares

Os aceleradores lineares são equipamentos de teleterapia que podem gerar fótons de energia muito maior que os do cobalto-60. Fótons de alta energia liberam menor dose na pele e nos tecidos sadios do paciente. Entretanto, os aceleradores lineares requerem potencial elétrico bastante estável, mais manutenção e pessoal mais habilitado para o seu funcionamento (MINISTÉRIO DA SAÚDE, INCA, 2000). Estes aparelhos usam micro-ondas para acelerar elétrons a grandes velocidades em um tubo com vácuo (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013). Numa extremidade do tubo, os elétrons muito velozes chocam-se com um alvo metálico, de alto número atômico. Na colisão com os núcleos dos átomos do alvo, os elétrons são subitamente desacelerados e liberam a energia relativa a esta perda de velocidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, INCA, 2000).

O Setor de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu (HC-FMB) possui um acelerador linear da marca Varian Medical System®, modelo Clinac 2100C. Este equipamento fornece feixes de raios-X de energia 6,0 MV e 10,0 MV, e feixes de elétrons com energia de 4,0 MeV, 6,0 MeV, 9,0 MeV, 12,0 MeV e 15,0 MeV. Este aparelho possui sistema de colimação por multi lâminas (MLC), com 26 pares de lâminas que protege a área a ser poupada, evitando efeito radiobiológico indesejável nos tecidos sadios e/ou tumores radioinduzidos. Este equipamento pode ser habilitado para técnicas avançadas de radioterapia, tais como a técnica de radioterapia por intensidade modulada de feixe (IMRT) e a arcoterapia volumétrica modulada (VMAT) (SILVA, 2013). A Figura 5 ilustra o acelerador linear em operação no HC-FMB.

Figura 5 - Acelerador Linear – HC – FMB. Fonte: elaborada pelo autor.

2.5.2 Unidade de Telecobaltoterapia

Neste tipo de equipamento de teleterapia, a fonte de radiação é o cobalto-60 (Co-60), trata-se de uma fonte radioativa emissora de raios gama. Os fótons emitidos possuem energia de 1,17 MeV e 1,33 MeV, sendo a energia média igual a 1,25 MeV considerada como a energia clínica. Quando a máquina está desligada, a fonte permanece guardada numa blindagem adequada que bloqueia a saída dos raios gama primários (MINISTÉRIO DA SAÚDE, INCA, 2000).

O elemento radioativo Co-60 possui uma meia vida de 5,25 anos, assim, a intensidade da fonte, ou rendimento radioativo da unidade, diminui na taxa de 1,1% ao mês. O tempo de tratamento do paciente aumenta conforme o rendimento da fonte radioativa diminui, assim, após uma meia vida, o tempo de tratamento será o dobro do tempo inicial para que se libera a mesma dose de radiação. (SALVAJOLI, SOUAHAM, FARIA, 2013). Isto acarreta uma chance maior do paciente mover-se, principalmente quando sente dores intensas, fazendo com que o tumor fique fora do campo de irradiação e não seja adequadamente tratado e também que partes sadias entrem no campo e sejam lesadas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, INCA, 2000).

A Figura 6 ilustra uma unidade de telecobaltoterapia da marca CGR/MEV, modelo Alcyon II instalada no Setor Técnico de Radioterapia do HC-FMB da UNESP de Botucatu.

Figura 6 - Unidade de Telecobaltoterapia CGR/MEV – Alcyon II do HC-FMB. Fonte: elaborada pelo autor

Outra modalidade de radioterapia é a braquiterapia ou radioterapia interna. O termo braquiterapia provém do grego, *brachys* (curto) e *terapia* (tratamento), e é definido como a utilização de radioisótopos em que a fonte de radiação é colocada em contato ou próxima a área que necessita receber o tratamento (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013). O objetivo deste tratamento é administrar altas doses de radiação em volumes restritos do organismo, para se ter maior controle da doença e menor toxicidade do tratamento aos tecidos normais adjacentes (ICRU 38).

Com a descoberta da radioatividade, em 1896, por Henry Becquerel, e a descoberta do rádio em 1898, pelo casal Curie, a braquiterapia teve sua primeira aplicação em 1904, quando o médico Danlos utilizou uma pequena quantidade de rádio-226 para tratamento de lesões de pele. A partir dessa data, a braquiterapia tem sido amplamente utilizada no tratamento de tumores malignos, devido à característica de liberar alta dose, preservando os tecidos normais adjacentes (FERNANDES, 2000).

Inicialmente, o radioterapeuta inseria agulhas intratumoralmente ou tubos intracavitariamente. Em qualquer um destes modos, as mãos do radioterapeuta recebiam altas doses de radiação e todas as outras pessoas presentes na sala, uma certa quantidade não desprezível, o que provoca efeitos indesejáveis das radiações. A situação melhorou com a técnica do pós–carregamento, onde os

aplicadores vazios são colocados no paciente na sala de cirurgia intersticial ou intracavitariamente. Somente após o término do procedimento e com o paciente de volta ao seu quarto é que o operador introduz a fonte radioativa no aplicador. Deste modo, reduz–se a dose do pessoal da sala de cirurgia (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013).

A técnica de braquiterapia evoluiu com o carregamento remoto, onde se elimina a dose de radiaçao do pessoal envolvido neste procedimento. A fonte de radiação fica contida no interior do container do equipamento irradiador, o tratamento é programado computacionalmente e a fonte se desloca para a área da lesão conforme cálculos realizados pelo Sistema de Planejamento do Tratatamento (TPS). Esse sistema de carregamento remoto proporciona uma grande segurança aos trabalhadores, reduzindo a exposição à radiação (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013).

2.6 Noções de Radioproteção

2.6.1 Princípios de Radioproteção

2.6.1.1 Justificação

Os objetivos da proteção contra as radiações são a prevenção ou a diminuição dos seus efeitos somáticos e a redução da deterioração genética dos povos, onde o problema das exposições crônicas adquire importância fundamental. Considera-se que a dose acumulada num período de vários anos seja o fator preponderante, mesmo que as doses intermitentes recebidas durante esse período sejam pequenas. Assim, qualquer atividade envolvendo radiação ou exposição deve ser justificada em relação a outras alternativas e produzir um benefício líquido positivo para a sociedade (CNEN 2003).

2.6.1.2. Otimização

Toda exposição deve manter o nível mais baixo possível de radiação ionizante. Deve-se planejar rigorosamente as atividades com radiação ionizante, analisando-se em detalhe o que se pretende fazer e como será feito. Nessa análise deve-se estabelecer medidas de proteção necessárias para alcançar o

nível de exposição menor possível. A proteção radiológica é otimizada quando as exposições empregam a menor dose possível de radiação, sem que haja perda na qualidade da imagem (DIMENSTEIN; HORNOS 2001).

2.6.1.3 Limitação da dose

As doses de radiação não devem ser superiores aos limites estabelecidos pelas normas de radioproteção de cada país. Esse princípio aplica-se para limitação de dose nos trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante e para o público em geral. O limite individual de dose para o trabalhador da área de radiações ionizantes é 20 mSv/ano e para o público em geral é de 1mSv/ano. O princípio da limitação da dose não se aplica aos pacientes, pois se considera que possíveis danos causados pelo emprego de radiações ionizantes sejam ultrapassados, em muito, pelo benefício proporcionado (FERNANDES, 2018).

2.6.1.4 Prevenção de acidentes

No projeto e operação de equipamentos e de instalações deve-se minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes (exposições potenciais). Deve-se desenvolver os meios e implementar as ações necessárias para minimizar a contribuição de erros humanos que levem à ocorrência de exposições acidentais (SCAFF, 2010).

De um modo geral, como os valores anuais de doses máximas permissíveis (20 mSv para trabalhadores e 1mSv ara o público) são valores limites e como também um adequado plano de proteção radiológica deve seguir o princípio que todas as exposições as radiações devem ser mantidas tão baixa quanto razoavelmente exequíveis - princípio ALARA – “As Low As Reasonably Achievable” (SCAFF, 2010).

2.6.1.5 Parâmetros de Redução de Radiação

É possível controlar as doses de radiação externas utilizando esses três parâmetros: *tempo, distância* e *blindagem.* Quando estes parâmetros fundamentais são atendidos, a exposição à radiação pode ser minimizada.

Tempo = A dose recebida por um indivíduo está diretamente relacionada à duração da exposição. Se o tempo durante o qual um indivíduo é exposto à radiação é dobrado, a dose será dobrada (SCAFF, 2010). Deve-se sempre ter em mente que quanto menor o tempo de exposição, menores serão os efeitos causados pela radiação (IAEA, 1996).

Distância = À medida que a distância entre a fonte de radiação e o indivíduo aumenta, a exposição à radiação diminui rapidamente, seguindo a lei do inverso do quadrado da distância (SCAFF, 2010). Dessa forma, o modo mais fácil de evitar exposição às radiações ionizantes é ficar longe da fonte (IAEA, 1996).

Blindagem = Posicionar blindagens entre a fonte de radiação e as pessoas expostas reduz muito o nível de exposição à radiação. As blindagens utilizadas consistem geralmente em chumbo, apesar de materiais de construção convencionais também serem utilizados (SCAFF, 2010).

As pessoas que trabalham com fontes ou geradores de radiação ionizante devem dispor de procedimentos técnicos bem elaborados de modo que o objetivo da tarefa seja concretizado e sua segurança esteja garantida contra exposições desnecessárias ou acidentais (IAEA, 1996).

2.7 Radiobiologia

Após estudos realizados, verificou-se que moléculas importantes como o DNA, poderiam ser danificadas pela produção de íons (radicais livres) e deposição da energia. Além disso, foi constatado que a quantidade do dano biológico produzido depende da energia total depositada, ou seja, a dose de radiação. Os efeitos das radiações são descritos através dos estudos de radiobiologia, em que são estabelecidas relações de dose/efeito. Considerando-se que as funções metabólicas ocorrem no citoplasma e as informações genéticas são encontradas no núcleo das células, as radiações podem induzir a quebra da

molécula do DNA, ou causar um dano em uma seção dessa molécula, do qual resultará um dano somático no próprio indivíduo ou genético nos seus descendentes (SEGRETO *et. al*., 2016).

A radiação tem ação direta nas moléculas de DNA, pois faz com que as células parem de se dividir, induzindo à morte celular (JOINER; KOGEL 2009). Quando a célula é atingida pela radiação ionizante podem acontecer três coisas:

- *Morte Celular* - Efeito sofrido tanto pela célula normal quanto a tumoral, embora a tumoral, na maioria das vezes, seja a mais sensível.
- *Dano Subletal* - Onde o efeito não foi suficiente para levar à morte da célula, existe a possibilidade de recuperação deste dano e também acontece tanto com as células normais quanto com as tumorais.
- *Nenhum Dano* - A radiação passa pela célula sem produzir qualquer efeito (MINISTÉRIO DA SAÚDE; INCA 2000).

2.7.1 Efeitos biológicos das radiações

Qualquer efeito biológico da radiação, seja benigno ou maléfico, depende fortemente da dose de radiação (SEGRETO *et. al*., 2016).

2.7.1.1 Efeitos estocásticos

Os efeitos estocásticos são aqueles em que a probabilidade de ocorrência é em função da dose, não existindo um limiar. A gravidade desses efeitos é independente da dose. Por exemplo, efeitos hereditários e câncer.

2.7.1.2 Efeitos somáticos

Os efeitos somáticos são efeitos que se manifestam no indivíduo que sofre a radiação e podem ser classificados em duas categorias.

2.7.1.2.1. Efeitos Agudos

São observados em horas, dias ou semanas, após a irradiação. Eles podem ser produzidos apenas com uma grande quantidade de radiação, absorvida em uma grande área do corpo e em curto período. O indivíduo irradiado pode sentir náuseas, vômitos, hemorragias, infecções fortes, diarreia, perda de cabelo etc.

2.7.1.2.2 Efeitos Tardios

São observados depois de anos, podem ser causados por grandes exposições em curto espaço de tempo ou por pequenas exposições em longo período. São eles: aumento na incidência de câncer, indução de cataratas, certas anormalidades durante o desenvolvimento do embrião e redução da vida média.

2.7.1.3 Efeitos Determinísticos

Os efeitos determinísticos são aqueles para os quais há um limiar de ocorrência e cuja gravidade aumenta com a dose. Por exemplo, depressão medular, catarata, esterilidade, etc.

2.7.1.4 Efeitos Genéticos ou hereditários

Os efeitos genéticos ou hereditários são efeitos transmissíveis aos descendentes do indivíduo irradiado (SCAFF, 2010).

2.8 – Câncer – conceitos básicos

A origem do câncer coincide com a história do homem e está relacionada aos seus hábitos de vida, cultura e exposição aos fatores ambientais. Cerca de 500 a.C., na Grécia, Hipócrates foi o primeiro a descrever as palavras *karkínos* e carcinoma, definindo, naquela época, o câncer como uma doença de mau prognóstico. A palavra câncer tem origem no latim, cujo significado é caranguejo. As células

doentes atacam e se infiltram nas células sadias como se fossem os tentáculos de um caranguejo (INCA, 2018; SALVAJOLI, et al., 2013).

Atualmente, câncer é o nome geral dado a um conjunto de mais de 100 doenças que tem em comum o crescimento desordenado (maligno) de células que invadem os tecidos e órgãos, podendo espalhar-se (metástases) para outras regiões do corpo (INCA, 2011).

Estima-se, para o Brasil, biênio 2018-2019, a ocorrência de 600 mil casos novos de câncer, para cada ano. Excetuando-se o câncer de pele não melanoma (cerca de 170 mil casos novos), ocorrerão 420 mil casos novos de câncer (INCA, 2018).

O termo neoplasia significa “novo crescimento” e define-se como uma perturbação do crescimento celular em que ocorre alteração permanente e hereditária nas células. Dessa alteração resulta proliferação celular anormal excessiva, que continua indefinidamente apesar dos estímulos ou efeito da neoplasia em crescimento sobre os tecidos adjacentes (DALECK; NARDI; RODASKI, 2010).

Dividindo-se rapidamente, estas células tendem a ser muito agressivas e incontroláveis, determinando a formação de tumores (acúmulo de células cancerosas) ou neoplasias malignas. Por outro lado, as neoplasias benignas ou tumores benignos têm seu crescimento de forma organizada, geralmente lento, expansivo e apresentam limites bem nítidos. Apesar de não invadirem tecidos vizinhos, podem comprimir os órgãos e tecidos adjacentes (INCA, 2011). Um tumor benigno significa simplesmente uma massa localizada de células que se multiplicam vagarosamente e se assemelham ao seu tecido original, raramente constituindo um risco de vida (INCA, 2018).

Os diferentes tipos de câncer correspondem aos vários tipos de células do corpo. Por exemplo, existem diversos tipos de câncer de pele porque a pele é formada de mais de um tipo de célula. Se o câncer tem início em tecidos epiteliais como pele ou mucosa ele é denominado carcinoma. Se começa em tecidos conjuntivos como osso, músculo ou cartilagem é chamado de sarcoma (INCA, 2018).

Outras características que diferenciam os diversos tipos de câncer entre si são a velocidade de multiplicação das células e a capacidade de invadir tecidos e

órgãos vizinhos ou distantes, originando as metástases (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013).

Os cânceres podem ser causados por diferentes fatores de risco e hoje é bem estabelecido o papel que desempenham em sua etiologia (PETO J, 2001).

As causas de câncer são variadas, podendo ser externas ou internas ao organismo, estando ambas inter-relacionadas. As causas externas relacionam-se ao meio ambiente e aos hábitos ou costumes próprios de um ambiente social e cultural.

As causas internas são, na maioria das vezes, geneticamente pré-determinadas, estão ligadas à capacidade do organismo de se defender das agressões externas. Esses fatores causais podem interagir de várias formas, aumentando a probabilidade de transformações malignas nas células normais (INCA, 2018).

De todos os casos, 80% a 90% dos cânceres estão associados a fatores ambientais. Alguns deles são bem conhecidos: o cigarro pode causar câncer de pulmão, a exposição excessiva ao sol pode causar câncer de pele, e alguns vírus podem causar leucemia. Outros estão em estudo, como alguns componentes dos alimentos que ingerimos, e muitos são ainda completamente desconhecidos (INCA, 2018).

O envelhecimento traz mudanças nas células que aumentam a sua suscetibilidade à transformação maligna. Isso, somado ao fato de as células das pessoas idosas terem sido expostas por mais tempo aos diferentes fatores de risco para câncer, explica em parte o porquê de o câncer ser mais frequente nesses indivíduos. Os fatores de risco ambientais de câncer são denominados cancerígenos ou carcinógenos. Esses fatores atuam alterando a estrutura genética (DNA) das células (PARMIGIANI, 2010).

O surgimento do câncer depende da intensidade e duração da exposição das células aos agentes causadores de câncer. Por exemplo, o risco de uma pessoa desenvolver câncer de pulmão é diretamente proporcional ao número de cigarros fumados por dia e ao número de anos que ela vem fumando (INCA, 2018).

As mudanças provocadas no meio ambiente pelo próprio homem, os 'hábitos' e o 'estilo de vida' adotados pelas pessoas, podem determinar diferentes tipos de câncer (INCA, 2018).

2.9 Câncer em Medicina Veterinária

Os animais também estão propensos a desenvolver o câncer. Neoplasia é um problema comum na prática veterinária. Com a melhoria de práticas e investigações, doenças em animais são cada vez mais diagnosticadas (MORRIS; DOBSON, 2007).

A procura por tratamento nos animais com câncer vem aumentando e parece ser previsível um futuro em que animais sejam assegurados e seus custos de tratamento cobertos. Entretanto, a realização de técnicas de radioterapia em animais requer o desenvolvimento de dispositivos e acessórios específicos que possam garantir a imobilização do animal durante o procedimento radioterápico (VETTORATO, 2016; VETTORATO, 2017).

Os métodos convencionais para tratamento de câncer tanto em animais como em humanos são a cirurgia, radioterapia e quimioterapia. Tais técnicas, entretanto, não necessariamente são isoladamente usadas. O manejo do câncer animal também procura prolongar o tempo de vida, mas com o objetivo de obter uma boa qualidade de vida também (FERNANDES, 2010).

As causas de neoplasias em animais exóticos e selvagens, assim como ocorre com os animais domésticos, têm diversas origens (MENDONÇA, et al., 2006). O uso de sistemas computacionais para planejamento radioterápico proporciona melhor compreensão da distribuição da dose de radiação no volume de tratamento, o que possibilita maior efetividade da técnica terapêutica e maior possibilidade de controle da doença (SILVA, 2018).

2.10 Plano de Radioproteção – aspectos gerais

Toda instalação que utiliza material radioativo deve preparar um documento descrevendo as diretrizes de proteção radiológica que serão adotadas pela instituição. Tal documento, que recebe o nome de Plano de Radioproteção, deve descrever (CNEN,2011; CNEN,2014):

a. A identificação da Instalação e de sua Direção;
b. A função, classificação e descrição das áreas da Instalação;
c. A descrição da equipe, das instalações e equipamentos do Serviço de Radioproteção;
d. A descrição das fontes de radiação, dos sistemas de controle e de segurança e de sua aplicação;
e. A função e a qualificação dos trabalhadores;
f. A descrição dos programas e procedimentos de monitoração individual, das áreas e do meio ambiente;
g. A descrição do sistema de gerência de rejeitos radioativos, estando a sua eliminação sujeita a limites estabelecidos em Norma específica;
h. A estimativa de taxas de dose para condições de rotina;
i. A descrição do serviço e controle médico dos trabalhadores, incluindo planejamento médico em caso de acidentes;
j. O programa de treinamento dos trabalhadores;
k. Os níveis de referência, limites operacionais e limites derivados, sempre que convenientes;
l. A descrição dos tipos de acidentes admissíveis, do sistema de detecção correspondente e do acidente mais provável ou de maior porte, com detalhamento da árvore de falhas;
m. O planejamento de interferência em situações de emergência até o restabelecimento da normalidade;
n. As instruções de radioproteção e segurança fornecidas, por escrito, aos trabalhadores.

Neste trabalho foi elaborado um Plano de Radioproteção adequado para um serviço de radioterapia veterinária. O documento encontra-se na sua íntegra no Apêndice I,

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização das análises radiométricas em feixes de radiação de alta energia usados em radioterapia, foram estudados os protocolos de dosimetria recomendados pela Agencia Internacional de Energia Atômica (AIEA) (IAEA, 2000), (IAEA, 2004; IAEA, 2007; IAEA, 1971).

Os experimentos de dosimetria foram realizados nos feixes de fótons de megavoltagem do acelerador linear da marca Varian, modelo 2100C instalado no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da UNESP de Botucatu (HC-FMB). Foram realizados ensaios radiométricos de planura e simetria e medidas da dose absoluta dos feixes de teleterapia.

Para se conhecer a rotina dos atendimentos oncológicos na área da medicina veterinária, foram acompanhados os procedimentos realizados no setor de radiologia do Hospital Veterinário da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP de Botucatu.

Para a elaboração do Plano de Radioproteção (PR) aplicado à veterinária, foram estudados os Planos de Radioproteção do Serviço de Radioterapia do HC-FMB e o da Clínica de Radioterapia Arakawa do Hospital Unimed de Bauru, consolidados na prática da radioterapia humana. Todavia, os tempos de tratamento e a dose por fração devem ser adequados para as especificidades da rotina oncológica veterinária, uma vez que os pacientes animais requerem cuidados de imobilização, tais como procedimentos anestésicos durante cada sessão de radioterapia, o que implica em maior tempo para a realização da radioterapia, e menor número de frações (FERNANDES, 2018).

A experiência na área oncológica veterinária, estabelecida pela trajetória científica da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP de Botucatu, aponta que a maioria dos casos a serem atendidos tratar-se-á de pequenos animais com lesões superficiais e profundas (tumores de pele e órgãos internos). Considerando a necessidade, em alguns casos, de anestesia animal, e

relatos de literatura extraídos de outros centros de radioterapia veterinária já estabelecidos em outros países, a dose de radiação diária é maior (em torno de 250 cGy a 400 cGy) que as normalmente aplicadas em radioterapia humana, o que resulta em diminuição do número de aplicações e menor quantidade diária de pacientes. Face às dimensões anatômicas dos animais, será considerado que na média serão utilizados dois campos de radiação por aplicações. Considerando que o serviço também deverá ser utilizado para pesquisas com irradiações de amostras na área, não mais do que 20 pacientes deverão ser assistidos por dia.

Nesta pesquisa considerou-se uma clínica destinada exclusivamente para pacientes veterinários de pequenos (cães, gatos, etc.) e grandes animais (cavalos, etc.).

3.1 – Medidas da Planura e Simetria do feixe de radiação.

A planura e a simetria são parâmetros radiométricos dos feixes de radiação usados para radioterapia, os quais avaliam a qualidade da distribuição da dose de radiação no plano de tratamento.

A planura do feixe de radiação pode ser definida como a variação percentual máxima permissível da dose dentro de 80% da largura total na metade da altura do perfil de dose do campo (FWHM) em um plano transversal ao eixo do feixe a uma profundidade definida ou combinada (por exemplo 10 cm ou na profundidade de dose máxima - $d_{máx}$). Geralmente são escolhidos os planos principais que contêm o eixo do colimador: in-plane ou longitudinal e cross-plane ou transversal. Uma forma de definir a planura pode ser (TEIXEIRA, 2004):

$$P = [(D_{max} - D_{min})x100\%] \ / \ [(D_{max} + D_{min})] \qquad [4]$$

Onde: D_{max}, D_{min}: são as doses máxima e mínima, respectivamente, dentro da área de 80% do FWHM do campo.

A simetria do feixe de radiação é definida como o desvio percentual máximo entre a dose de radiação em ambos os planos principais do campo a 80% de sua largura total. Esta medida pode ser feita a partir das medidas realizadas para a planura (TEIXEIRA, 2004). A equação 5 apresenta a expressão matemática usada para determinação da planura do feixe de radiação.

$$S = [(D^{e}_{80\%} - D^{d}_{80\%})x100\%] / [D_{eixo}] \qquad [5]$$

Onde: $D^{e}_{80\%}$, $D^{d}_{80\%}$: são as doses de radiação no lado esquerdo e direito a 80% da largura total, do perfil de dose respectivamente. D_{eixo} é a dose medida no eixo central do feixe de radiação.

Para a realização dos ensaios de planura e simetria, foi utilizado o sistema de dosimetria QC6Plus do fabricante PTW (Figura 7). O equipamento é composto por dosímetro de seis canais, seis câmaras de ionização individuais com 0,54cm^3 de volume sensível, envoltas por material PMMA (polimetil-metacrilato – material termoplástico rígido), grade de calibração, cabo de conexão de 20 metros, software QCWin e placas de atenuação da radiação com dimensões de 25,0cm x 25,0cm e espessura de 1,0mm.

O sistema dosimétrico foi posicionado sobre a mesa de tratamento do acelerador linear e alinhado com o eixo central do campo de radiação na distância de isocentro (DFS = 100,0cm). O *gantry* e o colimador do acelerador linear foram posicionados a 0°. O campo de irradiação usado nos ensaios tem dimensão de 20,0cm x 20,0cm. As medidas foram realizadas para os feixes de fótons de 6,0 MV e 10 MV e para os feixes de elétrons de 4,0 MeV, 6,0 MeV, 9,0 MeV, 12,0 MeV e 15,0 MeV. O eletrômetro foi ajustado para medidas em mGy/min (miligray por minuto) e as leituras foram obtidas para uma exposição de 100 UM (unidades monitoras), o que corresponde à aproximadamente 100 cGy de dose de radiação.

Figura 7 - Eletrômetro PTW QC6Plus. Fonte: elaborada pelo autor

O experimento foi repetido por seis vezes, em diferentes dias e períodos de medidas, visando analisar a reprodutibilidade das características dos feixes de radiação estudados e a estabilidade do sistema de medição.

A Figura 8 ilustra o arranjo experimental para as análises de planura e simetria usados nas medidas.

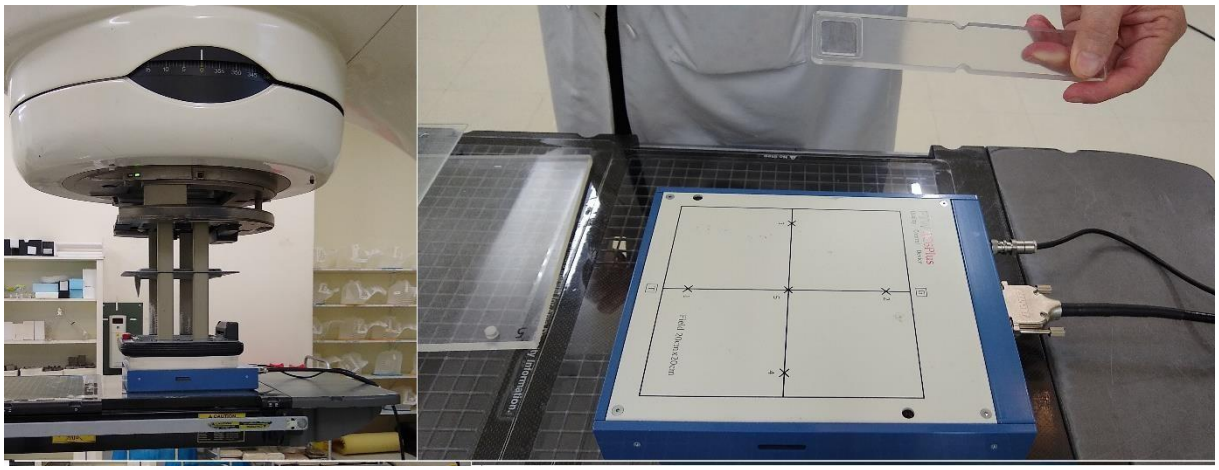


Figura 8 - Arranjo experimental para análise de planura e simetria. Fonte: elaborada pelo autor.

3.2 – Medidas da dose de radiação do feixe primário – calibração do feixe.

A garantia de que a dose de radiação preconizada nos protocolos radioterápicos é de fato a que está sendo aplicada nos procedimentos, se faz mediante experimentos dosimétricos que devem ser periodicamente realizados.

Os ensaios dosimétricos foram realizados com um eletrômetro modelo CDX2000B da fabricante *Standard Imaging* (série: JO10553). Para a dosimetria com feixe de fótons de 6 MV e 10 MV, foi utilizada uma câmara de ionização cilíndrica do tipo dedal, modelo A12 da fabricante Exradin (série: XAO10867). Para análises dos feixes de elétrons foi utilizada uma câmara de ionização do tipo de placas paralelas, modelo P11 da fabricante Exradin (série: XBO10816). As leituras do eletrômetro foram realizadas na unidade nC (nanocoulomb).

Para evitar variações nas medidas devido à fuga eletrônica do sistema (que geralmente é provocada por umidade), os conjuntos foram armazenados em uma estufa apropriada.

A câmara de ionização foi colocada no suporte de varredura do objeto simulador (*fantom*) e alinhada com o eixo central do feixe de radiação do acelerador linear. O conjunto *fantom*-câmara de ionização foram colocados sobre a mesa de tratamento do acelerador linear. O *fantom* utilizado é da marca Medintec, possui volume de 38,0cm x 38,0cm x 38,0cm, suas paredes laterais são de acrílico com 1,0cm de espessura, ele foi preenchido com água até a altura necessária para se garantir o espalhamento completo dos feixes de radiação de acordo com as dimensões dos campos analisados. Com o mecanismo de varredura, a câmara de ionização foi deslocada para a profundidade de referência no interior do *fantom* (10,0cm para os feixes de fótons).

O alinhamento da câmara de ionização com o raio central do campo de radiação é feito mediante coincidência dos *lasers* de posicionamento instalados nas paredes laterais e frontal da sala do acelerador linear. Os três *lasers* se cruzam no ponto de isocentro da máquina, distante de 100,0 cm do foco do feixe de radiação. A luz do campo de radiação projetará a imagem da câmara de ionização no fundo do *fantom*, a qual deverá estar centrada e alinhada com o raio central do feixe de radiação.

Para a dosimetria dos feixes de fótons, o campo de radiação padrão possui dimensões de 10,0cm x 10,0cm na superfície da água do *fantom.* A altura da mesa deve ser ajustada para que a distância fonte-superfície do *fantom* seja de 100,0cm, com isto, a câmara de ionização estará a 110,0cm do foco dos raios-X.

O conjunto *fantom*-câmara de ionização deve ser conectado e deve-se aguardar 20,0 minutos antes de se realizar a primeira coleta de leituras. Este tempo de espera é necessário para que se garanta a estabilidade térmica e eletrônica do sistema dosimétrico.

A Figura 9 ilustra o arranjo experimental para a realização das medidas de dose absoluta dos feixes de radiação.

Figura 9 - Arranjo experimental para dosimetria dos feixes de radiação. Fonte: elaborada pelo autor.

4. RESULTADOS

4.1 – Medidas da planura e simetria do feixe de megavoltagem do acelerador linear

A Tabela 1 apresenta os valores da planura e simetria medidos para os feixes de radiação analisados. Os valores ilustrados representam as médias das leituras obtidas nos seis experimentos realizados.

Tabela 1 - Valores de planura e simetria medidos.

Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy
Ponto							
Acima	946,43	942,97	756,93	800,80	813,48	826,43	852,37
Centro	928,20	928,47	827,40	820,30	829,02	850,73	875,37
Abaixo	938,67	931,88	747,63	794,97	812,53	831,20	854,68
Esquerda	956,13	950,93	749,35	804,61	821,70	835,38	867,30
Direita	941,58	941,13	756,23	803,20	822,90	841,77	867,58
Planura In	0,97%	0,79%	5,06%	1,56%	1,04%	1,45%	1,52%
Plan Cross	1,48%	1,19%	4,93%	1,18%	0,49%	0,75%	0,73%
Simetria In	-0,66%	-0,86%	-0,62%	-0,31%	0,14%	0,56%	0,31%
Sim Cross	1,57%	1,05%	-0,44%	0,17%	0,26%	-0,41%	-0,03%

Plan cross = planura cross Sim cross = simetria cross

A Tabela 2 apresenta os valores do desvio padrão das medidas da planura e simetria apresentados na Tabela 1.

Tabela 2 – Valores dos desvios padrão das medidas da planura e simetria.

Feixe Energia Dose	RX 6,0 MV mGy	RX 10,0 MV mGy	Elétrons 4,0 MeV mGy	Elétrons 6,0 MeV mGy	Elétrons 9,0 MeV mGy	Elétrons 12,0 MeV mGy	Elétrons 15,0 MeV mGy
Ponto							
Acima	5,93	7,99	6,16	7,83	7,08	6,90	6,98
Centro	6,06	5,65	5,71	8,58	5,87	7,12	5,37
Abaixo	6,76	6,75	5,54	7,81	4,62	6,53	5,05
Esquerda	5,15	5,72	7,18	11,15	6,16	6,60	7,21
Direita	6,32	6,63	7,09	9,06	5,39	7,09	5,44
Planura In	0,08%	0,18%	0,23%	0,26%	0,17%	0,21%	0,19%
Plan Cross	0,10%	0,14%	0,54%	0,48%	0,21%	0,27%	0,18%
Simetria In	0,60%	0,89%	1,10%	0,93%	0,31%	0,35%	0,26%
Sim Cross	0,27%	0,58%	1,32%	0,82%	0,55%	0,67%	0,47%

Plan cross = planura cross Sim cross = simetria cross

Os pontos de medidas referem-se às posições das cinco câmaras de ionização na matriz do detector PTW QC6Plus, distribuídas a partir do seu centro, sendo uma central e outras quatro lateralmente posicionadas. A Figura 10 ilustra esquematicamente a distribuição das câmaras de ionização no detector e os sentidos dos planos longitudinais (*in*) e transversais (*cross*) do campo de radiação.

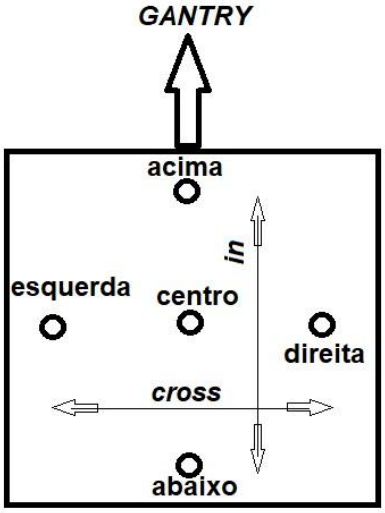


Figura 10 - Distribuição das câmaras de ionização no detector PTW QC6Plus

Os valores de referência para a planura e a simetria são 3,0% e 2,0% para feixes de fótons, respectivamente. Para feixes de elétrons as referências são 7,0% e 3,0%. Considerando apenas os valores médios apresentados na Tabela 1, os resultados mostram que os parâmetros radiométricos analisados ficaram dentro da tolerância permitida. Todavia, pode-se verificar que o feixe de elétrons de 4,0 MeV apresenta valores de planura do campo de radiação próximos da tolerância permitida, indicando que o uso desta energia de elétrons exige maior cautela para se garantir a uniformidade da distribuição de dose no plano do campo de radiação.

Analisando os valores dos desvios padrão apresentados na Tabela 2, nota-se que os feixes de fótons apresentam boa estabilidade, com variações nas leituras pontuais menores do que 1,0% para as medidas realizadas nos seis diferentes experimentos.

4.2 – Medidas da dose de radiação absoluta no acelerador linear

A Tabela 3 apresenta os valores de doses de radiação medidas para os feixes de radiação analisados, bem como os parâmetros radiométricos usados nos experimentos de dosimetria.

Tabela 3 – Valores de doses de radiação medidas.

Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
$TPR_{20,10}$	0,670	0,739					
$R_{50\text{-água}}$ (cm)			1,242	2,327	3,655	5,034	6,371
Z_{ref} (cm)	10,0	10,0	0,60	1,30	2,10	2,90	3,70
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	MGy	MGy
medida	995,6	998,4	1000,7	992,7	996,50	994,0	1000,4
esperada	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
Diferença	0,4%	0,2 %	0,7 %	0,7 %	0,4 %	0,6 %	0,4 %

O parâmetro $TPR_{20,10}$ (razão tecido-*fanton*) é determinado para feixes de fótons, representa a qualidade de penetração do feixe de radiação e é obtido durante os testes de comissionamento na instalação do acelerador linear. Ele é calculado pela razão das leituras da câmara de ionização na profundidade de 20,0cm na água pela leitura na profundidade de 10,0cm.

Para os feixes de elétrons, o parâmetro que caracteriza as condições de penetração da radiação é o $R_{50\text{-água}}$, representa a profundidade na água do *fantom* onde a dose de radiação é metade (50%) do valor da dose na profundidade de dose máxima. O parâmetro Z_{ref} (profundidade de referência) representa a profundidade na qual deve ser colocada a câmara de ionização de placas paralelas para a realização das medidas da dose dos feixes de elétrons.

A diferença máxima entre os valores de dose de radiação esperada e a medida, tolerável pelos protocolos de dosimetria, é de 2,0%, portanto, nos experimentos realizados neste trabalho, todos os feixes de radiação analisados comportaram-se em conformidade com as recomendações nacionais e internacionais (IAEA, 2000; PODGORSAK, 2005).

4.3 – Plano de Radioproteção aplicado à Radioterapia Veterinária

As especificidades das rotinas dos atendimentos em medicina veterinária exigem adequações nos planos de radioproteção aplicados para a realidade da radioterapia em humanos.

O sucesso da radioterapia depende de vários fatores, dentre eles a reprodutibilidade dos campos de radiação durante todas as sessões de tratamento, a qual exige a imobilização constante da área de irradiação. Diferentemente dos humanos, os animais não ficam imobilizados apenas com o aviso do operador do equipamento de irradiação. Desta forma, para a realização da teleterapia em animais é necessário o uso de procedimentos anestésicos para imobilização diária dos pacientes veterinários. Todavia, a aplicação de anestesias de forma rotineira implica em danos fisiológicos aos animais. Assim, é necessário reduzir a quantidade de sessões de teleterapia a aumentar o tempo de radiação de cada aplicação (FERNANDES, 2018).

O Apêndice I apresenta o Plano de Radioproteção elaborado nesta pesquisa.

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os ensaios de planura, simetria e de determinação da dose absoluta dos feixes de radiação mostraram-se exequíveis para a rotina da radioterapia veterinária.

Os resultados apresentados das análises dos parâmetros radiométricos dos feixes de radiação estudados mostraram que os valores de dose de radiação medidos estão em conformidade com os esperados e de acordo com os dados obtidos no comissionamento do acelerador linear.

Para os testes de planura e simetria, com exceção do feixe de elétrons de 4,0MeV, todos os outros feixes apresentaram perfil de distribuição de dose adequados aos protocolos de dosimetria. Conforme discussão junto ao serviço de física médica do Setor Técnico de Radioterapia do HC-FMB, este feixe de elétrons de 4,0MeV apresenta fortes oscilações durante seu manuseio. Portanto, deve-se ter cautela para utilização deste feixe de elétrons.

As características radiométricas dos feixes de teleterapia analisados, e usados na rotina clínica de humanos, indicam o uso deles para a radioterapia veterinária, uma vez que os parâmetros de penetrabilidade da radiação ($TPR_{20,10}$ e R_{50}) possuem dimensão que se adequam às espessuras e condições das regiões anatômicas mais acometidas por neoplasias em animais, tais como a pele, pelve e tórax.

Este trabalho detalha os procedimentos dosimétricos que necessitam ser realizados com maior periodicidade em serviços que utilizam equipamentos de teleterapia, podendo assim, auxiliar os profissionais da área da medicina veterinária, os quais não possuem o domínio das técnicas dosimétricas e radioterápicas, quanto ao uso de fontes de radiações ionizantes na rotina da clínica animal.

O Plano de Radioproteção elaborado, e apresentado no Apêndice I deste trabalho, pode subsidiar os profissionais e autoridades sanitárias envolvidas nas práticas da radioterapia veterinária quanto aos preceitos do uso seguro das fontes radioativas e feixes de teleterapia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE A.L.; FERNANDES M.A.R. **Braquiterapia em Medicina Veterinária.** In Jericó MM, Neto AJP, Kogika MM. Tratado de Medicina Interna de Cães e Gatos.v. 2. São Paulo: Roca, 2014; p. 560- 583.

BERDAKY, M. F. **Implantação de um serviço de radioterapia com acelerador linear (fótons): testes de aceitação, dosimetria e controle de qualidade.** 92p. Dissertação de Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear. Universidade de São Paulo, 2000. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Mafalda%20Feliciano%20Berdaky-_M.pdf> Acesso em: 20 de Junho 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Portaria 453, de 01 de junho de 1998.** Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Brasília, 1998.

BURK R.L.; KING G.K. **The Veterinay Clinics of North America** – Small Animal Pratice – Radiation Oncology. Philadelphia-USA: W.B. Saunders Company,1997; 171.

BUSHONG, S. C. **Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 709p.

CARMO, L.S. **High-dose thermoluminescent dosimetry of gamma rays, beta rays, proton beams and epithermal neutrons using natural silicate minerals and LiF: Mg, Cu, P detectors.** DO - 10.13140/RG.2.1.2880.1369. São Paulo, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284548136. Acesso em 26 de Abril 2019.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** 9ª revisão. Rio de Janeiro – IRD/CNEN. 242p. 2013.

CNEN - COMISÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. (2005). Norma-CNEN-NN3.01:2011. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Resolução nº. 27 D.O.U. 06/01/2005; 114/2011 01/09/2011. Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NE 3.02. **Serviços de Radioproteção**, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 1988.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NN 6.10. **Requisitos de Segurança e Radioproteção para Serviços de Radioterapia**, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 2014.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Resolução nº. 130 de 31/05/2012 - D.O.U. 04/06/2012. **Dispõe sobre os requisitos necessários para a segurança e a proteção radiológica em Serviços de Radioterapia**. Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 2012.

DALECK, C.R.; NARDI, A.B.; RODASKI, S. **Oncologia em Cães e Gatos.** São Paulo, 1 edição. EDITORA ROCA, 2008. 612p.

DIMENSTEIN, R.; HORNOS, Y. M. Mascarenhas, **Manual de proteção radiológica aplicada ao radiodiagnóstico**, São Paulo: Editora SENAC, 2001.

EWALD, M.B.C. **Controle de Qualidade em Radioterapia: Dosimetria de Fótons em Acelerador Linear – Mevatron MXT**. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação]. Curso (Bacharel em Física Médica) - Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu. 2008.

FERNANDES, M.A.R. **Utilização de Moldes Radioativos Especiais de Folhas de Ouro198 no Tratamentos de Tumores de Pele**. 2000. Tese (Tecnologia do combustível Nuclear e Reatores Nucleares de Potência). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP.

FERNANDES; M. A. R.; ANDRADE, A. L.; BIAZZONO, L.; LUVIZOTTO, M. C. R.; SANTOS, A.; CORREA, C. Gold (^{198}Au) fiuks brachytherapy use on canine skin tumor. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science,** v. 40, n. 5, p. 321- 327, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141395962003000500002&script=sci_arttext> Acesso em: 10 de Out. 2017.

FERNANDES, M. A. R.; ANDRADE, A. L.; LUVIZOTO, M. C. R.; PIERÔ, J. R.; CIARLINI, L. D. R. P. Radioterapia em Medicina Veterinária Princípios e Perspectivas. **Revista Brasileira de Física Médica**, Natal, v. 4, n. 2, p. 11-14, 2010. Disponível em: <http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/RBFM_v4n2_p11-4.pdf> Acesso em: 10 de out. 2017.

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**. Tese (Livre Docência). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Faculdade de Medicina de Botucatu. Botucatu. 2018.

FUNDAÇÃO ONCOCENTRO DE SÃO PAULO. **Manual de Oncologia Clínica.** São Paulo, 2006. 8ª. edição.

GUILHEN, R. **Efeitos Biológicos da Radiação - Cuidados na Atuação do Técnico de Radiologia**. 2007. [Trabalho de Conclusão de Curso Técnico de Nível Médio - Técnico em Radiologia] - CETEA - Centro de Ensino e Tecnologia de Araçatuba.

GUIMARÃES, L. F. C.; SILVA, M.C.; SILVEIRA, P. J.; FLOSI, A.A.; BOCCALETTI, K.W. Avaliação de planejamentos de IMRT para tratamento de próstata utilizando energias de 6 MV e 15 MV. **Revista Brasileira de Física Médica**, v.7, n.2, p.53-56, 2013.

IAEA, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Technical Report Series n. 430: **Commissioning and quality assurance of computerized planning system for radiation treatment of cancer**. Vienna, Austria, 2004.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Pratice**. Technical Reports Series n° 457. Vienna, Austria, 2007.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Absorved Dose Determination in External Beam Radiotherapy**. Technical Reports Series N°. 398. Vienna, Austria, 2000.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Manual of dosimetry in radiotherapy**. Technical Reports Series N°. 110). Vienna, Austria, 1971.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources**, BSS-115, IAEA, Vienna, 1996. Disponível em https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073472.pdf. Acesso em 12 de Fev. 2019.

ICRU – INTERNATIONAL COMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. **Radiation quantities and units.** ICRU – Report 33. Bethesda, MD, 1980.

ICRU – INTERNATIONAL COMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. **Dose and volume specification for reporting intracavitary therapy in gynecology.** ICRU – Report 38. Bethesda, MD, 1985.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Programa de Qualidade em Radioterapia. TEC DOC 1151. Aspectos Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade**. Rio de Janeiro. 2000. Disponível em: www.inca.gov.br.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual para Técnicos em Radioterapia – Programa de Qualidade em Radioterapia**. Rio de Janeiro-RJ, 2000.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **ABC do Câncer – Abordagens Básicas para o Controle do Câncer.** Rio de Janeiro. R.J., 2011.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Estimativa 2014: Incidência de Câncer no Brasil**. Rio de Janeiro-RJ, 2018.

JOINER, M.; KOGEL, A. V. D. **Basic clinical radiobiology**. 4. ed. Great Britain: Hodder Arnold, 2009. 375 p.

KHAN, F.M. **The physics of radiation therapy.** 2 ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1994.

MCNIEL, E. **Introduction to Radiation Therapy**. Michigan State University, East Lansing, Michigan. Department of Small Animal Clinical Sciences 2009: p.126-129. Disponível em: http://landofpuregold.com/cancer/thepdfs/intro-radiationtherapy.pdf>

MEDEIROS, L.F.; VIEIRA, D.H. **Bioclimatologia Animal**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Departamento de Reprodução e Avaliação Animal. Rio de Janeiro, 1997.

MENDONÇA, F. S.; CUNHA, A. L. B.; OLIVEIRA, R. A.; NETO, J. E.; SIMÕES, M. J.; SIMÕES, R. S.; EVÊNCIO, L. B. **Resumo Expandido. Carcinoma Hepatocelular em Mutum Pinima (crax fasciolata)**. São Paulo, v. 68, p. 177-180, 2006.

MORETTO, A.J.G, CORRÊA F.G. Radioterapia para carcinomas em animais domésticos. Garça. **Revista Cientifica Eletrônica de Medicina Veterinária** 2013; 20. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/mcMlQhIjR6ueiY8_2013-6-21-15-37-39.pdf

MUHLBAUER, M.C.; KNELLER, S.K. **Radiography of the Dog and Cat. Guide to Making and Interpreting Radiographs.** John Wiley & Sons., Inc. Publication, 2013.

MORRIS, J; DOBSON, J. **Oncologia em pequenos animais.** São Paulo. Editora ROCA. 2007. 300p.

NAVARRO, M.V.T.; LEITE, H. J. D. L; ALEXANDRINO, J.C.; COSTA. E.A. **"Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica".** Hist. cienc. Saúde Manguinhos, Vol.15, n°. 4, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

OKAWABATA, F.S. **Avaliação e Atualização do Plano de Radioproteção em Serviço de Telecobaltoterapia** 2014. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação] Curso (Bacharel em Física Médica) - Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu.

PARMIGIANI, R. B.; CAMARGO, A. A. **O Genoma Humano e o Câncer**. in: FERREIRA, C.G.; ROCHA, J.C. (Orgs). Oncologia Molecular. 2ª Edição. São Paulo: Atheneu. Cap. 1, p.3-13. 2010.

PEREZ, C. A. **Perspectivas futuras em radioterapia (para o século XXI).** In: SALVAJOLI, J.V; SOUHAMI, L.F. FARIA, S.L. Radioterapia em Oncologia Rio de Janeiro: Medsi; 1999:19-34.

PETO J. **Cancer epidemiology in the last century and the next decade**. Nature 2001;411:390-95.

PIRES, D.; GELBCKE, F.L.; MATOS, E. **"Organização do trabalho em enfermagem: implicações no fazer e viver dos trabalhadores de nível médio**". Trabalho, Educação e Saúde, São Paulo, v. 2 n. 2, pp. 311-325, 2004.

PODGORSAK, E.B. Technical Editor. **Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students**. Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Vienna. Austria, 2005.

SALVAJOLI, J. V.; SOUAHAMI, L.; FARIA, S. L. **Radioterapia em Oncologia**. MEDSI Editora Atheneu. Rio de Janeiro-RJ. 2013.

SCAFF, L. **Física da Radioterapia – A base analógica de uma era digital**. v. 2. São Paulo: Projeto Saber, 2010.

SEGRETO, H.R.C.; HELD, K.D.; MICHAEL, B.R.; SEGRETO, R.A. **Radiobiologia da Bancada à Clínica**. São Paulo: Scortecci, 2016.

SILVA, D.A. **Planejamento Computacional Tri-Dimensional para Radioterapia em Região Pélvica de Animais Selvagens**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu – SP. 2018.

SILVA, R. G. **Desenvolvimento de um Programa de Controle da Qualidade para a Tecnologia VMAT**. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2013.

STOSKOPF, M.K, BROWN, J, DEVOE, R. Imaging in Zoological Medicine Practice. **Journal of radiology nursing,** v. 31, n. 3, p. 81-90, 2012.

TEIXEIRA, F.C.S. **Avaliação do Desempenho do Sistema de Controle da Qualidade QC-6PLUS em Termos de Dose Absorvida na água para fótons e Elétrons**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) – Comissão Nacional de Enegia Nuclear (CNEN). Rio de Janeiro-RJ. 2004.

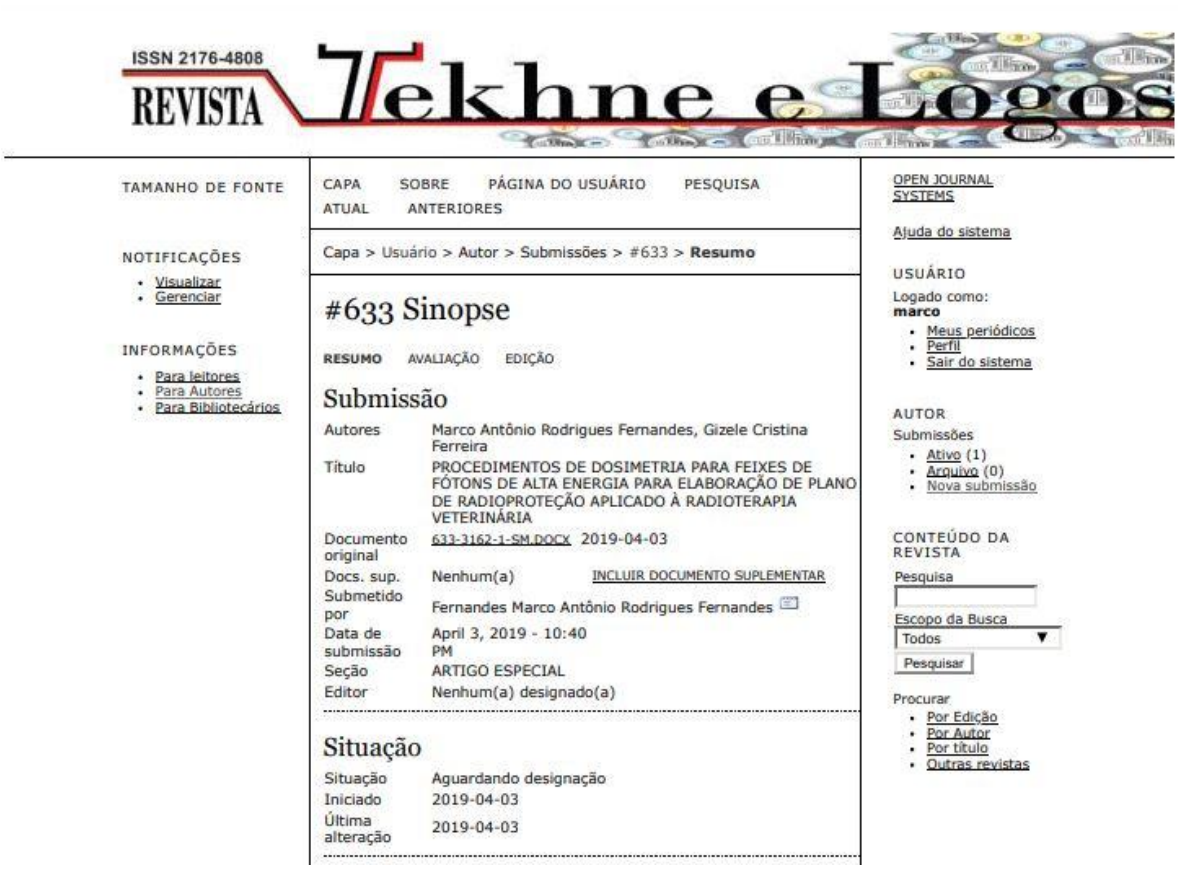
VETTORATO, M. C.; FERNANDES, M.A.R.; VULCANO, L.C.; FOGAÇA, J.L. **"Principais Avanços e Aplicações da Radioterapia na Medicina Veterinária".** Tekhne e Logos. v.8, n°.1, Botucatu-SP, Brasil, 2017 (ISSN 2176 _ 4808).

VETTORATO, M.C. **Desenvolvimento de Metodologia para Aplicação de Técnicas de Radioterapia em Medicina Veterinária**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu – SP. 2016.

XAVIER, A.M. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica.** Terceira Edição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

ARTIGO CIENTÍFICO

As normas de submissão do artigo científico, estão de acordo com o periódico da **Revista Científica Eletrônica Tekhne e Logos**, editada pela Faculdade de Tecnologia de Botucatu e se encontra disponível no site (<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl>).



ISSN 2176-4808

REVISTA Tekhne e Logos

TAMANHO DE FONTE

NOTIFICAÇÕES
- Visualizar
- Gerenciar

INFORMAÇÕES
- Para leitores
- Para Autores
- Para Bibliotecários

CAPA SOBRE PÁGINA DO USUÁRIO PESQUISA
ATUAL ANTERIORES

Capa > Usuário > Autor > Submissões > #633 > **Resumo**

#633 Sinopse

RESUMO AVALIAÇÃO EDIÇÃO

Submissão

Autores	Marco Antônio Rodrigues Fernandes, Gizele Cristina Ferreira
Título	PROCEDIMENTOS DE DOSIMETRIA PARA FEIXES DE FÓTONS DE ALTA ENERGIA PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE RADIOPROTEÇÃO APLICADO À RADIOTERAPIA VETERINÁRIA
Documento original	633-3162-1-SM.DOCX 2019-04-03
Docs. sup.	Nenhum(a) INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR
Submetido por	Fernandes Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Data de submissão	April 3, 2019 - 10:40 PM
Seção	ARTIGO ESPECIAL
Editor	Nenhum(a) designado(a)

Situação

Situação	Aguardando designação
Iniciado	2019-04-03
Última alteração	2019-04-03

OPEN JOURNAL SYSTEMS

Ajuda do sistema

USUÁRIO
Logado como:
marco
- Meus periódicos
- Perfil
- Sair do sistema

AUTOR
Submissões
- Ativo (1)
- Arquivo (0)
- Nova submissão

CONTEÚDO DA REVISTA
Pesquisa
Escopo da Busca
Todos
Pesquisar

Procurar
- Por Edição
- Por Autor
- Por título
- Outras revistas

PROCEDIMENTOS DE DOSIMETRIA PARA FEIXES DE FÓTONS DE ALTA ENERGIA PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE RADIOPROTEÇÃO APLICADO À RADIOTERAPIA VETERINÁRIA

Gizele Cristina Ferreira[1], Marco Antônio Rodrigues Fernandes[2]

RESUMO

O trabalho apresenta os procedimentos de dosimetria para verificação da distribuição de dose de radiação em feixes de alta energia em acelerador linear, visando a elaboração de um Plano de Radioproteção com adequações para aplicação em radioterapia veterinária com feixes de fótons de megavoltagem. São apresentados os ensaios radiométricos realizados no acelerador linear instalado no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clinicas da Faculdade de Medicina de Botucatu. Os testes dosimétricos de planura, simetria e de determinação da dose absoluta dos feixes de radiação mostraram-se exequíveis para a rotina da radioterapia veterinária. Os resultados apresentados dos parâmetros radiométricos medidos estão em conformidade com os protocolos de dosimetria nacionais e internacionais. As especificidades quanto à prática do uso de fontes de radiações ionizantes em medicina veterinária, exige adequações no Plano de Radioproteção quanto à dose de radiação por fração e o uso de acessórios de imobilização ajustados para os animais irradiados.

Palavras-chaves: Dose de radiação, Dosimetria, Medicina veterinária, Plano de radioproteção, radioterapia.

DOSIMETRY PROCEDURES FOR HIGH ENERGY PHOTON BEAMS FOR THE PREPARATION OF RADIOPROTECTION PLAN APPLIED TO VETERINARY RADIOTHERAPY

ABSTRACT

The work presents the dosimetry procedures for verifying the radiation dose distribution in high energy beams in a linear accelerator, aiming at the elaboration of a Radiation Protection Plan with adaptations for application in veterinary radiotherapy with megavoltage photons beams. The radiometric tests performed on the linear accelerator installed in the Technical Section of Radiotherapy of the Botucatu Medical School Clinic Hospital are presented. The dosimetric tests of flatness, symmetry and determination of the absolute dose of the radiation beams proved feasible for the routine of veterinary radiotherapy. The results of the measured radiometric parameters are in accordance with national and international dosimetry protocols. The specificities regarding the practice of the use of sources of ionizing radiation in veterinary medicine require adjustments in the Radiation Protection Plan for the radiation dose per fraction and the use of the immobilization accessories adjusted for the irradiated animals

Keywords: Radiation dose, Dosimetry, Veterinary medicine, Radioprotection plan, Radiotherapy.

1 INTRODUÇÃO

A radioterapia é a modalidade médica que utiliza fontes de radiações ionizantes no tratamento de doenças, das especialidades médicas é a que tem apresentado significativo aumento de suas aplicações (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013). O princípio da terapêutica baseia-se na destruição de células tumorais através do bombardeio delas com feixes de radiações eletromagnéticas ou corpusculares.

O desenvolvimento tecnológico e os avanços no campo da ciência da computação, trouxeram sistemas de softwares e hardwares dedicados, que aliados aos modernos equipamentos de radioterapia tem proporcionado melhor distribuição da dose de radiação e maior precisão do alvo (IAEA, 2004). Técnicas sofisticadas de radioterapia além de propiciar melhor conforto ao paciente, podem ainda possibilitar o aumento da dose de radiação absorvida no volume tumoral com menos efeitos radiobiológicos colaterais nos tecidos e órgãos sadios periféricos ao campo de tratamento, o que favorece a taxa de curabilidade e controle da doença (GUIMARÃES et al, 2013).

As primeiras recomendações de proteção radiológica para os trabalhadores foram publicadas pela Roentgen Society após a confirmação do dano no tecido humano que as altas doses de radiação causaram vinte anos após a descoberta dos raios-X (XAVIER, 2006). O uso desenfreado da falta de conhecimento das radiações observou-se os danos biológicos, sendo assim, criaram normas que visam à proteção do ser humano e do meio ambiente (PIRES; GELBCKE; MATOS, 2004)

Para se garantir o sucesso da radioterapia, são necessários a realização de ensaios radiométricos periódicos, os quais devem seguir os preceitos dos protocolos nacionais e internacionais de dosimetria das radiações (IAEA,2000; INCA, 2000; IAEA, 2007; BRASIL, 1998).

A radiometria compreende métodos de medidas da intensidade e avaliação da qualidade dos campos de radiações ionizantes (EWALD, 2008). A legislação preconiza que os testes radiométricos sejam realizados por profissionais capacitados com formação específica, além de se exigir instrumentos de detecção de radiação calibrados periodicamente em Laboratório credenciado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2012; CNEN, 2014).

O Plano de Proteção Radiológica é um documento exigido pela Portaria da Secretaria de Vigilância Sanitária nº 453 de 1º de junho de 1998 que deverá ser entregue a este órgão ao solicitar o Alvará de funcionamento inicial do serviço. Deverá conter, não só

a descrição do estabelecimento e de suas instalações, mas também o Programa de Garantia de Qualidade, que descreve como deve ser o controle de qualidade dos equipamentos e o Plano de Radioproteção, este possui informações para o trabalho seguro com radiações ionizantes (CNEN, 2014).

A autorização de funcionamento de um serviço de radioterapia requer dentre vários requisitos, a aprovação pelos órgãos competentes, do Plano de Radioproteção (PR) da clínica radioterápica (CNEN, 1988). O PR deve conter as informações sobre os equipamentos utilizados, a identificação da equipe de profissionais, as características físicas e funcionais das dependências, além de apresentar os resultados dos testes de radiometria e controle de qualidade dos feixes e equipamentos emissores de radiações ionizantes empregados no serviço (CNEN, 2011).

Pesquisas com fontes radioativas na área da medicina veterinária tem proporcionado a inserção de novas técnicas de diagnóstico e terapia idealizadas para as diversas espécies animais (STOSKOPF, 2012). Nesta linha de pensamento, a radioterapia veterinária vem ganhando espaço junto ao meio acadêmico e científico e despertado o interesse de profissionais para o investimento neste segmento terapêutico (BURK, KING 1997; FERNANDES et.al. 2003; MORRIS, 2007; DALECK, 2008; FERNANDES et al, 2010; MORETTO, 2013; MUHLBAUER, 2013; ANDRADE, FERNANDES, 2014; VETTORATO et al., 2017, VETORATTO, 2016; SILVA, 2018).

Neste sentido, torna-se imperativa a realização de estudos radiométricos dos feixes de radiação para uso dedicado à radioterapia veterinária conjuntamente com a elaboração de Plano de Radioproteção específico para a correta implantação na rotina destes procedimentos terapêuticos. Esta iniciativa visa não apenas satisfazer as prerrogativas dos órgãos fiscalizadores, mas sim garantir as condições de trabalho seguro e eficácia terapêutica.

Nas técnicas de teleterapia, novos aceleradores lineares com complexos recursos liberam elevadas doses de radiação no volume alvo com maior proteção às células sadias dos tecidos circunvizinhos, diminuindo sensivelmente os efeitos deletérios. Na braquiterapia, o uso de microfontes de alta taxa de dose acionadas por controle remoto, tem proporcionado maior comodidade aos pacientes, mais agilidade nos procedimentos que passaram a ser realizados de forma ambulatorial, aumentando a oferta do tratamento a um número maior de pacientes. Todos esses avanços, visando à melhoria e garantia da qualidade dos tratamentos também propiciaram a utilização das fontes de radiação com maior segurança radiológica (PODGORSAK, 2005).

Este trabalho analisa o perfil de distribuição de dose de radiação fornecido por fótons de alta energia utilizados em radioterapia humana e que apresentam indicação para a oncologia veterinária, visando assim subsidiar os protocolos radioterápicos dedicados à medicina animal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de dosimetria foram realizados nos feixes de fótons de megavoltagem do acelerador linear da marca Varian, modelo 2100C instalado no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da UNESP de Botucatu (HC-FMB). Foram realizados ensaios radiométricos de planura e simetria e medidas da dose absoluta dos feixes de teleterapia.

Para a elaboração do Plano de Radioproteção (PR) aplicado à veterinária, foram estudados os Planos de Radioproteção de dois diferentes Serviços de Radioterapia consolidados na prática da radioterapia humana.

Os tempos de tratamento e a dose por fração foram adequados para as especificidades da rotina oncológica veterinária, uma vez que os pacientes animais requerem cuidados de imobilização, tais como procedimentos anestésicos durante cada sessão de radioterapia, o que implica em maior tempo para a realização da radioterapia, e menor número de frações.

Para a realização dos ensaios de planura e simetria, foi utilizado o sistema de dosimetria QC6Plus do fabricante PTW. O equipamento é composto por dosímetro de seis canais, seis câmaras de ionização individuais com 0,54cm^3 de volume sensível, envoltas por material PMMA (polimetil-metacrilato – material termoplástico rígido), grade de calibração, cabo de conexão de 20 metros, software QCWin e placas de atenuação da radiação com dimensões de 25,0cm x 25,0cm e espessura de 1,0mm.

Os ensaios dosimétricos foram realizados com um eletrômetro modelo CDX-2000B da fabricante *Standard Imaging* (série: JO10553). Para a dosimetria com feixe de fótons de 6 MV e 10 MV, foi utilizada uma câmara de ionização cilíndrica do tipo dedal, modelo A12 da fabricante Exradin (série: XAO10867). Para análises dos feixes de elétrons foi utilizada uma câmara de ionização do tipo de placas paralelas, modelo P11 da fabricante Exradin (série: XBO10816). As leituras do eletrômetro foram realizadas na unidade nC (nanocoulomb).

Os experimentos foram repetidos por seis vezes, em diferentes dias e períodos de medidas, visando analisar a reprodutibilidade das características dos feixes de radiação estudados e a estabilidade do sistema de medição.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os valores da planura e simetria medidos para os feixes de radiação analisados. Os valores ilustrados representam as médias das leituras obtidas nos seis experimentos realizados.

Tabela 1 – Valores de planura e simetria medidos.

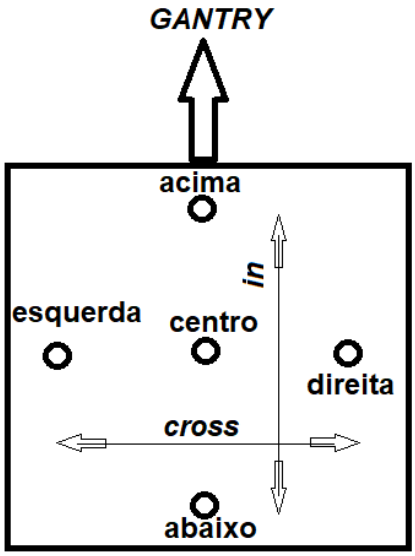
Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	MGy
Ponto							
Acima	946,43	942,97	756,93	800,80	813,48	826,43	852,37
Centro	928,20	928,47	827,40	820,30	829,02	850,73	875,37
Abaixo	938,67	931,88	747,63	794,97	812,53	831,20	854,68
Esquerda	956,13	950,93	749,35	804,61	821,70	835,38	867,30
Direita	941,58	941,13	756,23	803,20	822,90	841,77	867,58
Planura							
In	0,97%	0,79%	5,06%	1,56%	1,04%	1,45%	1,52%
Plan Cross	1,48%	1,19%	4,93%	1,18%	0,49%	0,75%	0,73%
Simetria							
In	0,66%	0,86%	-0,62%	-0,31%	0,14%	0,56%	0,31%
Sim Cross	1,57%	1,05%	-0,44%	0,17%	0,26%	-0,41%	-0,03%

Plan cross = planura cross Sim cross = simetria cross

Os pontos de medidas referem-se às posições das cinco câmaras de ionização na matriz do detector PTW QC6Plus, distribuídas a partir do seu centro, sendo uma central e outras quatro lateralmente posicionadas.

A Figura 1 ilustra esquematicamente a distribuição das câmaras de ionização no detector e os sentidos dos planos longitudinais (*in*) e transversais (*cross*) do campo de radiação.

Figura 1 – Distribuição das câmaras de ionização na matriz do detector



A Tabela 2 apresenta os valores do desvio padrão das medidas da planura e simetria apresentados na Tabela 1.

Tabela 2 – Valores dos desvios padrão das medidas da planura e simetria.

Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	MGy
Ponto							
Acima	5,93	7,99	6,16	7,83	7,08	6,90	6,98
Centro	6,06	5,65	5,71	8,58	5,87	7,12	5,37
Abaixo	6,76	6,75	5,54	7,81	4,62	6,53	5,05
Esquerda	5,15	5,72	7,18	11,15	6,16	6,60	7,21
Direita	6,32	6,63	7,09	9,06	5,39	7,09	5,44
Planura In	0,08%	0,18%	0,23%	0,26%	0,17%	0,21%	0,19%
Plan Cross	0,10%	0,14%	0,54%	0,48%	0,21%	0,27%	0,18%
Simetria In	0,60%	0,89%	1,10%	0,93%	0,31%	0,35%	0,26%
Sim Cross	0,27%	0,58%	1,32%	0,82%	0,55%	0,67%	0,47%

Plan cross = planura cross Sim cross = simetria cross

Os valores de referência para a planura e a simetria são 3,0% e 2,0% para feixes de fótons, respectivamente. Para feixes de elétrons as referências são 7,0% e 3,0%. Considerando apenas os valores médios apresentados na Tabela 1, os resultados mostram que os parâmetros radiométricos analisados ficaram dentro da tolerância permitida. Todavia, pode-se verificar que o feixe de elétrons de 4,0 MeV apresenta valores de planura do campo de radiação próximos da tolerância permitida, indicando que o uso desta energia de elétrons

exige maior cautela para se garantir a uniformidade da distribuição de dose no plano do campo de radiação.

Analisando os valores dos desvios padrão apresentados na Tabela 2, nota-se que os feixes de fótons apresentam boa estabilidade, com variações nas leituras pontuais menores do que 1,0% para as medidas realizadas nos seis diferentes experimentos.

A Tabela 3 apresenta os valores de doses de radiação medidas para os feixes de radiação analisados, bem como os parâmetros radiométricos usados nos experimentos de dosimetria.

Tabela 3 – Valores de doses de radiação medidas.

Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
$TPR_{20,10}$	0,670	0,739					
$R_{50\text{-água}}$ (cm)			1,242	2,327	3,655	5,034	6,371
Z_{ref} (cm)	10,0	10,0	0,60	1,30	2,10	2,90	3,70
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	MGy
Medida	995,6	998,4	1000,7	992,7	996,50	994,0	1000,4
Esperada	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
Diferença	0,4%	0,2 %	0,7 %	0,7 %	0,4 %	0,6 %	0,4 %

O parâmetro $TPR_{20,10}$ (razão tecido-*fanton*) é determinado para feixes de fótons, representa a qualidade de penetração do feixe de radiação e é obtido durante os testes de comissionamento na instalação do acelerador linear. Ele é calculado pela razão das leituras da câmara de ionização na profundidade de 20,0cm na água pela leitura na profundidade de 10,0cm.

Para os feixes de elétrons, o parâmetro que caracteriza as condições de penetração da radiação é o $R_{50\text{-água}}$, representa a profundidade na água do *fantom* onde a dose de radiação é metade (50%) do valor da dose na profundidade de dose máxima. O parâmetro Z_{ref} (profundidade de referência) representa a profundidade na qual deve ser colocada a câmara de ionização de placas paralelas para a realização das medidas da dose dos feixes de elétrons.

A diferença máxima entre os valores de dose de radiação esperada e a medida, tolerável pelos protocolos de dosimetria, é de 2,0%, portanto, nos experimentos realizados

neste trabalho, todos os feixes de radiação analisados comportaram-se em conformidade com as recomendações nacionais e internacionais (PODGORSAK, 2005), (IAEA, 2000).

A diferença máxima entre os valores de dose de radiação esperada e a medida, tolerável pelos protocolos de dosimetria, é de 2,0%, portanto, nos experimentos realizados neste trabalho, todos os feixes de radiação analisados comportaram-se em conformidade com as recomendações nacionais e internacionais (PODGORSAK, 2005), (IAEA, 2000).

4 CONCLUSÕES

Os ensaios de planura, simetria e de determinação da dose absoluta dos feixes de radiação mostraram-se exequíveis para a rotina da radioterapia veterinária.

Os resultados apresentados das análises dos parâmetros radiométricos dos feixes de radiação estudados mostraram que os valores de dose de radiação medidos estão em conformidade com os esperados e de acordo com os dados obtidos no comissionamento do acelerador linear.

As características radiométricas dos feixes de teleterapia analisados, e usados na rotina clínica de humanos, indicam o uso deles para a radioterapia veterinária, uma vez que os parâmetros de penetrabilidade da radiação ($TPR_{20,10}$ e R_{50}) possuem dimensão que se adequam às espessuras e condições das regiões anatômicas mais acometidas por neoplasias em animais, tais como a pele, pelve e tórax.

Este trabalho detalha os procedimentos dosimétricos que necessitam ser realizados com maior periodicidade em serviços que utilizam equipamentos de teleterapia, podendo assim, auxiliar os profissionais da área da medicina veterinária, pode subsidiar os profissionais e autoridades sanitárias envolvidas nas práticas da radioterapia veterinária quanto aos preceitos do uso seguro das fontes radioativas e feixes de teleterapia.

REFERÊNCIAS

ANDRADE A. L.; FERNANDES M. A. R. **Braquiterapia em Medicina Veterinária.** In JERICÓ M. M; NETO A. J. P; KOGIKA M. M. Tratado de Medicina Interna de Cães e Gatos. v. 2. São Paulo: Roca, 2014; p. 560- 583.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Portaria 453, de 01 de junho de 1998.** Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Brasília, 1998. Disponível em http://sna.saude.gov.br/legisla/legisla/radio/SVS_P453_98radio.doc. Acesso em 20 nov. 2018

BURK R. L.; KING G. K. **The Veterinay Clinics of North America** – Small Animal Pratice – Radiation Oncology. Philadelphia-USA: W.B. Saunders Company,1997; 171p.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** 9ª revisão. Rio de Janeiro – IRD/CNEN. 242p. 2013. Disponível em <www.cnen.gov.br>: Acesso em 22 nov. 2018.

CNEN - COMISÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. (2005). Norma-CNEN-NN-3.01:2011. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Resolução nº. 27 D.O.U. 06/01/2005; 114/2011 01/09/2011. Rio de Janeiro. Disponível em <www.cnen.gov.br>: Acesso em 25 nov. 2018.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NE 3.02. **Serviços de Radioproteção**, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 1988. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em 26 nov. 2018.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NN 6.10. **Requisitos de Segurança e Radioproteção para Serviços de Radioterapia**, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 2014. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em 26 nov. 2018.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Resolução nº. 130 de 31/05/2012 - D.O.U. 04/06/2012. **Dispõe sobre os requisitos necessários para a segurança e a proteção radiológica em Serviços de Radioterapia**. Rio de Janeiro. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em 28 nov. 2018.

DALECK, C. R.; NARDI, A. B.; RODASKI, S. **Oncologia em Cães e Gatos.** São Paulo, 1 edição. Editora Roca, 2008. 612p.

FERNANDES; M. A. R.; ANDRADE, A. L.; BIAZZONO, L.; LUVIZOTTO, M. C. R.; SANTOS, A.; CORREA, C. Gold (^{198}Au) fiuks brachytherapy use on canine skin tumor. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science,** v. 40, n. 5, p. 321-327, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141395962003000500002&script=sci_arttext> Acesso em: 10 de out. 2017.

FERNANDES, M. A. R.; ANDRADE, A. L.; LUVIZOTO, M. C. R.; PIERÔ, J. R.; CIARLINI, L. D. R. P. Radioterapia em Medicina Veterinária Princípios e Perspectivas. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 4, n. 2, p. 11-14, 2010. Disponível em: <http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/RBFM_v4n2_p11-4.pdf> Acesso em: 10 de out. 2017.

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**. Tese (Livre Docência). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP. Faculdade de Medicina de Botucatu. Botucatu. 2018.

GUIMARÃES, L. F. C.; SILVA, M. C.; SILVEIRA, P. J.; FLOSI, A. A.; BOCCALETTI, K. W. Avaliação de planejamentos de IMRT para tratamento de próstata utilizando energias

de 6 MV e 15 MV. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 7, n. 2, p. 53-56, 2013. Disponível em http://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/238. Acesso em 28 nov. 2018.

IAEA, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Technical Report Series n. 430: **Commissioning and quality assurance of computerized planning system for radiation treatment of cancer**. Vienna, Austria, 2004. Disponível em https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS430_web.pdf. Acesso em 29 nov. 2018.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Pratice**. Technical Reports Series nº 457. Vienna, Austria, 2007. Disponível em https://www.iaea.org/publications/7638/dosimetry-in-diagnostic-radiology-an-international-code-of-practice Acesso em: 29 nov. 2018.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Absorved Dose Determination in External Beam Radiotherapy**. Technical Reports Series Nº. 398. Vienna, Austria, 2000. Disponível em https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS398_scr.pdf Acesso em 01 dez. 2018.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Manual of Dosimetry in Radiotherapy**. Technical Reports Series Nº. 110). Vienna, Austria, 1971. Disponível em http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2010/ManualDosRadiotherapy_1970.pdf. Acesso em 04 dez. 2018.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Programa de Qualidade em Radioterapia. TEC DOC 1151. Aspectos Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade**. Rio de Janeiro. 2000. Disponível em: www.inca.gov.br. Acesso em 25 de junho 2018.

MORETTO, A.J.G, CORRÊA F.G. Radioterapia para carcinomas em animais domésticos. Garça. **Revista Cientifica Eletrônica de Medicina Veterinária** 2013; 20. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/mcMlQhIjR6u eiY8_2013-6-21-15-37-39.pdf> Acesso em 12 de abril 2018.

MUHLBAUER, M. C.; KNELLER, S. K. **Radiography of the Dog and Cat. Guide to Making and Interpreting Radiographs.** John Wiley & Sons., Inc. Publication, 2013.

MORRIS, J; DOBSON, J. **Oncologia em pequenos animais.** São Paulo. Editora ROCA. 2007. 300p.

PIRES, D.; GELBCKE, F.L.; MATOS, E. "**Organização do trabalho em enfermagem: implicações no fazer e viver dos trabalhadores de nível médio**". Trabalho, Educação e Saúde, São Paulo, v. 2 n. 2, p. 311-325, 2004. Disponível em http://www.scielo.br/pdf/tes/v2n2/06.pdf Acesso em 08 dez. 2018.

PODGORSAK, E.B. Technical Editor. **Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students**. Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Vienna. Austria, 2005.

SALVAJOLI, J. V.; SOUAHAMI, L.; FARIA, S. L. **Radioterapia em Oncologia**. MEDSI Editora Atheneu. Rio de Janeiro-RJ. 2013.

SILVA, D.A. **Planejamento Computacional Tri-Dimensional para Radioterapia em Região Pélvica de Animais Selvagens**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu – SP. 2018.

STOSKOPF, M.K, BROWN, J, DEVOE, R. Imaging in Zoological Medicine Practice. **Journal of radiology nursing,** v. 31, n. 3, p. 81-90, 2012. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1546084311001726. Acesso em 09 dez. 2018.

VETTORATO, M.C. **Desenvolvimento de Metodologia para Aplicação de Técnicas de Radioterapia em Medicina Veterinária**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu – SP. 2016.

VETTORATO, M. C. et al. Implementation of immobilization accessories for positioning of small animals for radiation therapy. **Arquivo. Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 69, n. 6, p. 1419-1425, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010209352017000601419&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 31 de mar. 2019.

XAVIER, A. M. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica.** Terceira Edição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio dos físicos médicos do HC-FMB pela viabilidade da execução dos ensaios radiométricos dos feixes de radiação do acelerador linear. Agradecimento ao doutorando Michel de Campos Vettorato pela importante colaboração na revisão e formatação do artigo.

APÊNDICE I

PLANO DE RADIOPROTEÇÃO

CLÍNICA DE RADIOTERAPIA VETERINÁRIA

APÊNDICE I

PLANO DE RADIOPROTEÇÃO

CLÍNICA DE RADIOTERAPIA VETERINÁRIA

Matrícula CNEN nº _____
CNPJ nº _____

RPAS aprovado – (Ofício nº_____/_____-CGMI/CNEN de ___/___/____)

Endereço:_____

Cidade:_____Estado:_____
Telefone:_____e-maill:_____

Acelerador Linear

Marca _____ **– Modelo:** _____

Número de série: _____ – Enegia máxima de fótons = 10 MV

Classificação da Instalação: **SUBGRUPO 7C** - Equipamentos geradores de radiação ionizante que produzem feixe com energia maior que 0,60 MeV e menor ou igual a 50 MeV.

Titular:

Dr. _____
Médico Veterinário / Radioterapêuta
CRM/SP nº _____ Registro CNEN nº

Físico – Supervisor de Radioproteção
Prof. Dr.
Físico Médico Hospitalar
Registro CNEN nº ____ ABFM nº _____
CREA nº _____

Sumário

1 - Identificação do Serviço de Radioterapia.....70
1.1 - Classificação da Instalação.....70
1.2 - Direção da Entidade.....70
2 - Objetivo do Plano de Radioproteção.....70
3 - Lista dos profissionais e trabalhadores ocupacionalmente expostos.....71
4 - Descrição das Instalações.....72
5 - Serviço de Radioproteção..... 73
6 - Descrição técnica dos equipamentos e/ou das fontes de radiação ionizante existentes e de suas localizações no serviço 73
6.1 - Acelerador Linear.....73
6.1.1 - Características do Acelerador Linear 74
6.2 - Fonte de Referência de Estrôncio-90.....75
7 - Organização do Serviço, as atribuições especificas do Supervisor de Radioproteção e da equipe médica.....75
7.1 - Responsabilidades do Responsável Legal (Titular).....75
7.2 - Responsabilidades do Responsável Técnico 77
7.3 - Responsabilidades do médico radioterapeuta 78
7.4 - Responsabilidades do Supervisor em Proteção Radiológica.....79
7.5 - Responsabilidades do Físico Médico.....80
7.6 - Responsabilidades dos Técnicos em radioterapia.....81
7.7 - Responsabilidades do Médico Veterinário.....83
8 - Treinamento específico ministrado à equipe medica do Serviço – programas de cursos e carga horária.....83
9 - Classificação das áreas da Instalação.....86
9.1 - Vizinhanças da Sala de Tratamento (Acelerador Lienar) 86
10 - Instrumentação para medição da radiação 89
10.1 - Dosímetro clínico.....89
10.1.1 - Conjunto Dosimétrico 1 89
10.1.2 - Conjunto Dosimétrico 2 89
10.2 - Monitor de Área.....89
10.3 - Medidor de Planura e Simetria.....89
10.4 - Densitômetro ópitco 90

11 - Instruções para o Trabalho e Condutas do Profissional na Radioterapia.....90
11.1 - Instruções para o Trabalho – Acelerador Linear.....90
11.1.1 - Instruções para o Trabalho de rotina 90
12 - Plano para situações de emergência.....91
12.1 - Procedimentos de Emergência – Acelerador Linear 91
12.2 - Condutas em caso de Emergência – Acelerador Linear 92
13 - Procedimento de radioproteção.....93
13.1 - Instruções para utilização de monitores individuais de radiação.....93
13.2 - Programa de Monitoração 94
13.3 - Limites de Dose e Otimização da Radioproteção.....95
13.4 - Exposições de Emergência 96
13.5 - Estimativa das Exposições de Rotina no Serviço.....97
14 - Controle Médico Ocupacional.....97
15 - Descrição dos procedimentos de rotina no setor de radioterapia.....98
16 - Registro de Dados Dosimétricos 100
17 - Gerencia de rejeitos radioativos (Norma CNEN-NE:6.05).....101
18 - Plano de Proteção Física das Instalações e Equipamentos.....101
19 - Procedimentos e resultados de monitorações radiológicas das áreas.....101
20 - Dosimetria inicial das fontes de radiação.....102
21 - Programa de Controle de Qualidade do Serviço.....103
22 - Procedimentos empregados para o transporte de material radioativo.....104
23 - Definições e Siglas 104
24 - Referências Bibliográficas do Plano de Radioproteção 108

1 – Identifcação do Serviço de Radioterapia

Razão Social: _____
Matrícula CNEN nº _____
CNPJ nº _____

Clínica de Radioterapia Veterinária

Endereço:
_____
_____

Município de _____ – Estado de _____ – CEP: _____
Fone: ( ) _____
e-mail: _____

1.1 - Classificação da Instalação

SUBGRUPO 7C - Equipamentos geradores de radiação ionizante que produzem feixe com energia maior que 0,60 MeV e menor ou igual a 50 MeV.

1.2 – Direção da Entidade

Responsável pela Clínica de Radioterapia: Dr. _____
Médico Radioterapêuta
CRM/SP: _____ Registro – CNEN: _____
CPF nº _____ RG nº _____ / SSP-SP

Supervisor de Radioproteção: Prof. Dr. _____
Físico Médico Hospitalar
Registro CNEN: _____ ABFM: _____
CREA-SP: _____
CPF nº _____ RG nº _____
e-mail: _____

Médico Veterinário: _____
CRMV/SP: _____ Registro – CNEN: _____
CPF nº _____ RG nº _____

2 – Objetivos do Plano de Radioproteção

O objetivo desse Plano de Radioproteção é proporcionar requisitos de proteção radiológica e segurança no sentido de garantir o controle dos níveis de exposição de pessoas às radiações ionizantes especificados por lei.

O plano em questão deverá ser assinado pelo radioterapêuta responsável da instituição que será o responsável legal (titular) pelo seu cumprimento. A supervisão da radioproteção será realizada por Físico-Médico legalmente habilitado na área da Radioterapia, com título credenciado pela CNEN.

3 – Lista dos profissionais e trabalhadores ocupacionalmente expostos

3.1 - Responsável Legal (titular): _____
Formação acadêmica: _____
Função: Médico Radioterapêuta
Certificação: Registro CNEN: _____ - CRM: -_____
CPF nº _____ RG nº _____

3.2 - Responsável Técnico: _____
Formação acadêmica: _____
Função: Médico Radioterapêuta
Certificação: Registro CNEN: _____ - CRM: _____
CPF nº _____ RG nº _____

3.3 – Substituto do Responsável Técnico: _____
Formação acadêmica: _____
Função: Médico Radioterapêuta
Certificação: CRM: _____
Título de Especialista em Radioterapia: CB _____
CPF nº _____ RG nº _____

3.4 - Supervisor de Radioproteção: Prof. Dr. _____
Formação: Bacharel em Física - Com doutorado em braquiterapia
Função: Físico Médico e Supervisor de Radioproteção
Certificação/Registro CNEN nº____ / ABFM: _____
CREA _____
CPF nº _____ RG nº _____

3.5 - Substituto do Supervisor de Radioproteção: _____
Formação: Bacharel em Física Médica
Função: Proteção Radiológica, Física Médica e Dosimetria
CPF nº _____ RG nº _____

3.6 – Médico Veterinário: _____
Formação acadêmica: Bacharel em medicina veterinário
Função: Médico Veterinário - Manuseio dos animais
Certificação: CRMV: _____
Título de Especialista em _____
CPF nº _____ RG nº _____

3.7 - Funcionário: _____
Formação acadêmica: Tecnologia em Radiologia
Função: Técnólogo em Radioterapia
Registro: CRTR-SP nº _____

3.8 - Funcionário: _____
Formação acadêmica: Tecnologia em Radiologia
Função: Técnólogo em Radioterapia
Registro: CRTR-SP nº _____

4 - Descrição das Instalações

Localização

A Clínica de Radioterapia está construída em uma área pertencente ao terreno da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP de Botucatu (FMVZ), na cidade de Botucatu-SP. A área construída é totalmente isolada de qualquer construção ou prédio em anexo. A área externa da clínica é livre e parte está destinada para estacionamento de veículos de funcionários e visitantes. A sala de tratamento com o acelerador linear está construída no pavimente térreo, não há edificações diretamente acima nem abaixo da clínica. Três paredes da sala fazem vizinhança com área externa destinada a estacionamento de veículos, uma outra parede fica frontal com a sala de comando do equipamento, e a outra faz divisa com a sala de braquiterapia, estas duas últimas áreas adjacentes serão controladas, onde transitarão apenas pacientes e funcionários da Clínica de Radioterapia, devidamente monitorados.

A área total construída da Clínica de Radioterapia é de _____ m^2, os espaços úteis dos ambientes internos totalizam _____ m^2, e está dividida nos seguintes ambientes:

Ambiente	Área m^2	Classificação
Sala do Acelerador Linear		Área restrita controlada
Área de comando do AL		Área supervisionada
Área de circulação 1		Área livre
Área de circulação 2		Área livre
Posto de Enfermagem		Área livre
Sala de armazenamento de fontes		Área controlada
Sala de Serviços de Radioterapia		Área livre
Sala de Física Médica e Planejamentos		Área livre
Copa / cozinha		Área livre
Sala de avaliação e consulta 1		Área livre

Sala de avaliação e consulta 2		Área livre
Sala de preparo de pacientes 1		Área livre
Sala de preparo de pacientes 2		Área livre
Sala de preparo de pacientes 3		Área livre
Sala de arquivo		Área livre
Sala confecção de moldes		Área livre
2 banheiros para funcionários		Área livre
Depósito de materiais de limpeza		Área livre
Consutório com sala de exames		Área livre
Sala de administração		Área livre
Recepção		Área livre

Classificação das áreas conforme Norma CNEN NN 6.10 – Resolução 176/14 de 11/2014

5 – Serviço de Radioproteção

O Serviço de Radioproteção possui dois físicos. A função de Supervisor de Radioproteção é de responsabilidade do Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes, com credenciamento junto à CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) e especialista em física médica pela ABFM (Associação Brasileira de Física Médica). O substituto do Supervisor de Radioproteção é o/a física médica _____.

6 - Descrição técnica dos equipamentos e/ou das fontes de radiação ionizante existentes e de suas localizações no serviço

6.1 – Acelerador Linear:

Equipamento destinado à teleterapia com feixes de fótons e de elétrons, instalado na sala cuja planta e planilha de cálculos de blindagem já foi aprovada pela CNEN (Ofício nº ____/___-CGMI/CNEN de ___/___/_____).

O equipamento foi instalado em ____/_____, dispõe de intertravamento para interrupção do feixe de radiação quando a porta é aberta, e não permite seu reinicio sem autorização pelo painel de comando. Existem botões de interrupção do feixe dentro da sala e no console do equipamento.

6.1.1 – Características do Acelerador Linear

Equipamento: ACELERADOR LINEAR RADIOTERÁPICO UNIQUE™.

Fabricante: Varian Medical Systems, INC. Modelo: UNIQUE™ .

Energias permitidas para feixe de fótons: 6 MV (de acordo com BJR 11)

Energias permitidas para feixe de elétrons: Não tem feixes de elétrons

Taxa de Dose para os feixes de fótons: 100 UM/min a 600 UM/min (faixa de 4 valores diferentes) – considerando uma Unidade Monitora UM = 1 cGy em Zmax, no isocentro e campo:10x10cm^2.

Campo máximo de radiação primaria: (40 x 40) cm² a 100 cm – mínimo = (0,5 x 0,5) cm^2.

Isocentro: (100 +/- 0,2) cm- variação menor que 1,0 mm.

Indicadores mecânico e digital da posição do gantry e do colimador = precisão menor ou igual a 1º

Rotação permitida: 360º com movimento contínuo (precisão +/- 1º)

Colimadores: deslocamentos assimétricos e independentes. Não tem Multileaf – sem MLC.

Indicador óptico de distância com resolução de 0,5cm.

Penumbra menor ou igual a 10,0 mm (isodose entre 20% a 80% a 10,0cm de prof. - 10x10cm^2).

Capacidade de tratamento em arco dinâmico com fótons.

Fonte de energia: Sistema de radiofrequência Magnetron

Filtro: conjunto de filtros em cunhas com pelo menos quatro angulações: 15º , 30º , 45º e 60º .

Mecanismo sem o uso fixo dos filtros para a produção de feixes com perfil similar produzidos por aqueles filtros.

Dois monitores de LCD, um em cada lado do acelerador.

Capacidade de arco terapia para fótons, no sentido horário e no sentido anti-horário.

Beam stopper: sem beam stopper

Mesa de tratamento do paciente – capacidade para até 200 kg – movimentação rotacional de 180º.

Port film graticule.

Laser da sala: 1 sagital, 1 coronal e dois laterais (espessura linha < 1,0mm, no isocentro = 0,5mm).

Conjunto de monitores CCTV colorido e intercomunicadores.

Contrapeso para gantry

Unidade de comando e gerenciamento: Sistema Aria

Sistema de planejamento: Eclipse

Console de comando do A.L.

Kit de peças básicas de reposição

Manuais técnicos do equipamento

Sistema de planejamento: _____

Registro ANVISA nº _____

Radiação de fuga do cabeçote e estrutura aceleradora: 0,1% da taxa de dose no isocentro a 100cm do alvo, ou da trajetória do feixe primário.

Equipamento com possibilidade de upgrade para realização de procedimentos de radiocirurgia com cones, com colimadores do tipo micro multilâminas, IMRT Step & Shoot e IMRT dinâmico.

6.2- Fonte de Referência de Estrôncio-90:

Fonte radioativa de estrôncio-90 destinada aos testes de controle de qualidade dos conjuntos dosimétricos (eletrômetros e câmaras de ionização). A fonte está acondicionada em blindagem própria e guardada em armário dentro da sala do acelerador linear.

Fabricante: _____
Fornecedor: _____
Número de Série: _____
Isótopo: Sr-90 Meia-Vida: 28,7anos Atividade inicial: 30 MBq ±10%
Data de Referência: ___/___/_____
Classificação ISO: C6X444
Taxa de Dose em 10 cm de distância: < 1µSv/h

7– Organização do Serviço – Atribuições específicas do Supervisor de Radioproteção e da Equipe Médica

Noma CNEN NN 6.10 – Resolução CNEN 176/14 de 11/2014 – Capítulo II – Das Responsabilidades em Serviços de Radioterapia.

7.1 - Responsabilidades do Responsável Legal (Titular) – (CNEN 6.10 - Cap II – Seção I)

O responsável Legal de um Serviço de Radioterapia é um individuo responsável perante a justiça pelo estabelecimento, pode ser pessoa física ou jurídica onde está instalado o Serviço. Normalmente cabe ao Diretor da entidade esta responsabilidade.

A Direção da Instituição é responsável pela radioproteção e segurança da mesma, devendo providenciar, antes mesmo da utilização de qualquer fonte de radiação, o licenciamento da Instalação. De acordo com as Normas da CNEN, atualmente em vigor, para operacionalizar essas medidas, a Direção da Instalação deve manter um Serviço de Radioproteção e estabelecer e executar um Plano de Radioproteção. Em resumo, cabe ao responsável Legal:

a) Requerer, junto a autoridade sanitária local, o alvará de funcionamento do serviço.
b) Assinar o Plano de Radioproteção Radiológica, juntamente com o Supervisor de Proteção Radiológica.
c) Prover a monitoração individual dos trabalhadores.
d) Prover os instrumentos para monitoração ambiental, quando for o caso.
e) Manter os registros de dose equivalente à disposição dos trabalhadores.
f) Prover equipamentos de proteção individual aos trabalhadores.
g) Garantir o livre ingresso e acesso a documentação a autoridade sanitária competente e aos inspetores da CNEN.
h) Assegurar que todas as fontes de radiação estejam adequadamente instaladas e protegidas e providenciar o imediato recolhimento das fontes de radiação fora de uso, conforme Resolução específica da CNEN.
i) Comunicar imediatamente a CNEN e demais autoridades competentes sobre a ocorrência de dano, perda ou roubo de fonte de radiação.
j) Garantir que haja um médico radioterapeuta e um especialista em física médica de radioterapia para cada 600 novos pacientes por ano no Serviço de Radioterapia.
k) Estabelecer um Serviço de Proteção Radiológica de acordo com as Resoluções da CNEN.
l) Estabelecer um Serviço de Física Médica de acordo com as recomendações nacionais ou internacionais.
m) Prever e prover os recursos humanos e materiais necessários a operacionalização do serviço.
n) Estabelecer e programar as medidas técnicas organizacionais necessárias para garantir o cumprimento das diretrizes de proteção radiológica e a qualidade dos serviços prestados.
o) Acompanhar sistematicamente a vigência das autorizações individuais e institucionais.
p) Garantir que nenhum paciente seja submetido a uma exposição com as fontes radioativas sem que seja prescrita ou aprovada por um médico especialista em radioterapia.
q) Garantir a segurança e o desempenho de todos os equipamentos e fontes sob sua responsabilidade.
r) Providenciar a imediata remoção das fontes radioativas que já não estejam em isso ao seu destino final.

s) Garantir os arranjos necessários para que as exposições de seres humanos para fins de pesquisa médica obedeçam aos requisitos estabelecidos pela CONEP, do Conselho Nacional de Saúde.
t) Fornecer as informações solicitadas pela Vigilância Sanitária.
u) Assessorar-se do Supervisor de Proteção Radiológica, sempre que houver assuntos relativos à Proteção Radiológica da Instalação.
v) Adquirir sempre que necessário, equipamentos de proteção radiológica de tal forma a minimizar as ocorrências de exposições acidentais e exposições de emergência para garantir um bom funcionamento do Serviço de Radioproteção.
w) Autorizar, sempre que necessário, exposições de emergência.
x) Garantir tratamento médico adequado aos trabalhadores envolvidos em acidentes radioativos.
y) Informar aos trabalhadores sobre os riscos associados ao seu trabalho e sobre as normas de radioproteção adotados pela Instalação.
z) Enviar a CNEN para aprovação, quaisquer modificações em projetos da Instalação, que possam alterar as condições de exposições para trabalhadores e indivíduos do público.
aa) Informar a CNEN em caso de acidente radioativo, os procedimentos de emergência adotados pela Instalação.
bb) Submeter a CNEN um relatório detalhado das situações anormais, tanto de acidentes como emergências, no qual deve constar uma análise quanto às causas e consequências.

7.2 - Responsabilidades do Responsável Técnico – (CNEN 6.10 - Cap II – Seção II)

O responsável técnico por um Serviço de Radioterapia e seu substituto eventual deve obrigatoriamente:

a) Ser médico radioterapeuta com qualificação certificada por sociedade reconhecida representativa da classe.
b) Garantir que todos os planejamentos de tratamento sejam realizados por um especialista em física médica da radioterapia ou sob a sua supervisão, impressos em papel, e com uma segunda assinatura por conferência.
c) Garantir que nenhum paciente seja submetido a uma exposição médica a menos que esta seja prescrita por um médico radioterapeuta com qualificação certificada por sociedade reconhecida representativa da classe.
d) Assessorar o Titular do serviço de radioterapia sobre todos os assuntos relativos ao gerenciamento do serviço.
e) Orientar e supervisionar os procedimentos de radioterapia a que são submetidos os pacientes, considerando os requisitos estabelecidos neste Regulamento.
f) Designar os profissionais, em numero suficiente e com a qualificação profissional necessária, para conduzir os procedimentos de Radioterapia em suas respectivas competências.
g) Estabelecer e disponibilizar os protocolos utilizados na rotina do serviço, bem como as eventuais modificações que se façam necessárias.
h) Assegurar que o paciente receba informações sobre o procedimento a que será submetido e sobre os aspectos de proteção radiológica.
i) Assegurar que o paciente receba informações sobre cuidados requeridos após o procedimento, quando necessário.

j) Coordenar o processo de investigação e notificar a Vigilância Sanitária local os eventos adversos graves ocorridos no serviço de radioterapia.

7.3 - Responsabilidades do médico radioterapêuta

O médico radioterapêuta é o responsável pelo tratamento do paciente, e tem a seu cargo a consulta, a prescrição da dose e o tratamento, a supervisão do paciente durante o tratamento e o relatório resumido do tratamento de cada paciente. Suas responsabilidades são:

a) Consulta: avaliação clinica do paciente para se confirmar a necessidade de radioterapia;
b) Estabelecimento do plano de tratamento: é a discussão dos achados durante a consulta incluindo diagnóstico e os campos de radiação, dose, fracionamento e técnica. Esta discussão pode incluir outros oncologistas, radioterapeutas e físicos médicos e visa obter o melhor planejamento do tratamento;
c) Orientar os profissionais técnicos quanto à localização dos campos de tratamento.
d) Aplicação do tratamento: o médico radioterapeuta deve se envolver de forma regular na aplicação do tratamento e ao menos um médico radioterapeuta deve estar sempre disponível para consulta clínica enquanto se realizam os tratamentos;
e) Avaliação do paciente durante o tratamento: os pacientes devem ser controlados no mínimo uma vez por semana, para avaliar alterações de seu estado clínico, resposta do tumor, toxicidade, etc. O médico radioterapeuta deve prestar atenção especial a possíveis alterações anatômicas que possam necessitar de novo planejamento ou novo cálculo do tempo de tratamento;
f) Resumo do tratamento: ao final do tratamento o médico radioterapeuta deverá resumir o curso do tratamento. Este resumo devera incluir a dose administrada, a descrição da técnica de tratamento, o tempo de tratamento, a tolerância do paciente, a resposta do tumor e o plano de preservação;
g) Avaliação do seguimento: deve-se estabelecer um plano que detalhe a frequência do seguimento do paciente após o tratamento, onde se avaliará a resposta e aferição da morbidade do tratamento;
h) Segurança do paciente: as Normas Básicas de Proteção Radiológica dispõem que se atribua ao médico radioterapeuta em conjunto com o supervisor de proteção radiológica a responsabilidade de zelar pela proteção e segurança total do paciente ao prescrever e administrar uma exposição com fins terapêuticos;
i) Notificar ao Responsável Técnico eventos adversos graves ocorridos no serviço de radioterapia, de que tenha conhecimento;
j) Ser responsável pelo uso do material radioativo da Instalação;
k) A responsabilidade final das decisões do tratamento será sempre do médico radioterapeuta;
l) Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.
m) Cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN.
n) Informar ao físico qualquer alteração que porventura possa ser feita no campo de tratamento.

7.4 - Responsabilidades do Supervisor em Proteção Radiológica

– (CNEN 6.10 - Cap II – Seção III)

a) Elaborar, implementar e revisar o Plano de Proteção Radiológica com a frequência nele estabelecida, para garantir que as fontes e equipamentos emissores de radiações ionizantes sejam utilizados de forma segura de acordo com as normas de segurança e proteção radiológica vigentes e as restrições estabelecidas na autorização para operação concedida pela CNEN;
b) Fazer cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN;
c) Fazer cumprir as normas e recomendações da CNEN sobre radioproteção;
d) Assessorar o Titular do serviço de radioterapia e o responsável técnico sobre todos os assuntos relativos à segurança e proteção radiológica;
e) Calcular as blindagens de salas dos equipamentos de radioterapia;
f) Identificar as condições que possam apresentar exposições potenciais;
g) Realizar os exercícios simuladores do plano de emergência;
h) Notificar o titular sobre todos os pontos que não estejam de acordo com o Plano de Proteção Radiológica;
i) Informar por escrito à Direção da Instalação sobre as necessidades de gastos para a manutenção das boas condições de radioproteção do serviço.
j) Assegurar que os equipamentos de dosimetria e monitores de área se mantenham em boas condições de funcionamento e com os fatores de calibração atualizados;
k) Elaborar, aplicar e supervisionar o programa de monitoração individual e de monitoração de área, bem como gerenciar a documentação dos registros gerados;
l) Disponibilizar mensalmente a cada indivíduo ocupacionalmente exposto os valores das doses resultantes de sua monitoração individual e seus dados radiológicos;
m) Supervisionar o controle de material radioativo (inventário, transporte interno e externo e armazenamento);
n) Estabelecer normas e procedimentos de trabalho, que devem ser seguidas pelo pessoal auxiliar, inclusive os Técnicos de Radioterapia;
o) Desenvolver um programa de educação em Física das Radiações e Proteção Radiológica. Elaborar, supervisionar, participar e revisar os programas de treinamento anualmente para os profissionais do serviço, tais como médicos, físicos, técnicos, enfermeiros, etc;
p) Estabelecer programa de treinamento junto com o médico, para formação de novos técnicos de radioterapia.
q) Treinar os técnicos repetidamente para enfrentar as emergências até tornarem-se familiarizados com todos os passos dos procedimentos.
r) Colaborar com os médicos radioterapeutas no planejamento das aplicações radioterápicas a fim de assegurar que se administre a dose de radiação exatamente na forma prescrita, com a máxima proteção radiológica para o paciente;
s) Manter livro de Registro de Ocorrências Radiológicas da Instalação;
t) Participar na elaboração de acessórios necessários ao tratamento ou à proteção radiológica;
u) Colaborar no projeto de novas instalações e na seleção dos equipamentos ou instrumentos utilizados.
v) Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.

7.5 - Responsabilidades do Físico Médico – (CNEN 6.10 - Cap II – Seção IV)

O papel deste profissional tem componente clínico, de pesquisa e de educação. Suas principais responsabilidades são:

a) Cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN;
b) Estabelecer com o médico radioterapeuta a melhor opção para os tratamentos;
c) Compor curvas de isodose sempre que necessário e possível, de tal forma que possa garantir a dose prescrita pelo médico no volume alvo;
d) Calibração dos aparelhos de radioterapia: é o responsável pela calibração de todas as unidades de tratamento e da verificação da atividade das fontes radioativas, de acordo com os protocolos adotados;
e) Especificações dos aparelhos de radioterapia: ajuda a definir as especificações para aquisição de unidades de tratamento, simuladores, sistemas de planejamento computadorizados e sistemas de imagem. Deve-se envolver no desenho das instalações e certificar-se que se cumprem as Normas Básicas de Proteção Radiológica.
f) Testes de aceitação: é o responsável pela aceitação dos equipamentos após sua instalação ou reparo mesmo que o fabricante ajude a fazer as medidas dosimétricas. O Físico Médico certifica que as unidades de terapia, simulação, imagem e planejamento de tratamentos funcionam de acordo com as especificações de compra.
g) Medidas e análise de dados: é o responsável das medidas de todos os dados necessários para o uso clínico das unidades de tratamento. Isto inclui todas as energias, modalidades de fontes radioativas necessárias para o planejamento de tratamentos de radioterapia externa e braquiterapia. Deve avaliar a qualidade dos dados dosimétricos e certificar-se se são apropriados para os diferentes tipos de tratamento.
h) Tabulação de dados para uso clínico: é o responsável de garantir que os dados dos feixes terapêuticos e das fontes radioativas da instituição tenham sido introduzidos no sistema de planejamento computadorizado e calibrar regularmente os feixes terapêuticos utilizando protocolos nacionais ou, na falta desses, protocolos internacionais recomendados pela AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica). Os dados devem ser tabulados e transcritos para um livro de registro de forma que sejam úteis e inteligíveis por qualquer outra pessoa que realize cálculos dosimétricos.
i) Estabelecimento de procedimentos de cálculos dosimétricos: é o responsável de estabelecer os procedimentos de cálculo de dose utilizados no Serviço e de verificar sua exatidão.
j) Planejamento de tratamentos: supervisiona os cálculos e as medições necessárias para determinar a dose absorvida ou a distribuição de dose em pacientes. Isto se refere aos cálculos manuais ou computadorizados e/ou medidas diretas de radiação em simuladores ou “in vivo”. Tem obrigação de propor ao médico radioterapeuta a otimização de planos de tratamento.
k) Programa de Garantia de Qualidade: A responsabilidade principal da execução do programa de garantia de qualidade deve ser conferida ao físico, o qual certificará se as políticas e procedimentos contêm os elementos apropriados de boa prática, de aplicação do tratamento, de proteção radiológica, de controle de qualidade e

cumprimento dos regulamentos. O Físico Médico especifica os padrões básicos que serão verificados no ato de aceitar um equipamento e colocá-lo em serviço para uso clínico. Desenvolve procedimentos de aceitação e colocação em serviço, estabelece e realiza controles de qualidade periódicos para averiguar se os valores de referência estão dentro das tolerâncias aceitáveis.

l) Supervisão da manutenção dos aparelhos: deve supervisionar a manutenção dos aparelhos e responsabilizar-se de recebê-los e autorizar seu uso clínico após reparos de manutenção. É responsável por garantir e documentar que qualquer alteração devido a manutenção ou reparo do equipamento não afete o funcionamento ou a calibração das unidades de tratamento ou tempo.

m) Ensino: o físico médico deve providenciar educação e treinamento em Física Médica e Proteção Radiológica a médicos, técnicos de radioterapia, enfermeiras, estudantes e pessoal técnico, com periodicidade máxima de dois anos.

n) Manter o dosímetro clínico (eletrômetro e câmara de ionização) e o monitor de área calibrado por laboratório de referência autorizado pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, por delegação do INMETRO.

o) Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.

7.6 - Responsabilidades dos Técnicos e Tecnólogos em radioterapia

– (CNEN 6.10 - Cap II – Seção V)

O técnico ou tecnólogo em radioterapia é o profissional que administra ao paciente o tratamento com radiações ionizantes sob a supervisão do médico raditerapeuta e do físico médico. A formação deste profissional pode ser em cursos de habilitação técnica de nível médio na área de radiologia ou curso superior de tecnologia em radiologia. Este profissional deve ter conhecimentos teóricos e experiência clínica em radioterapia adequada para a sua integração numa equipe multidisciplinar de profissionais envolvidos no atendimento aos pacientes submetidos aos procedimentos radioterápicos. O técnico ou tecnólogo em radioterapia é o responsável pela garantia da realização do tratamento tal como planejado. Cabe a ele os cuidados fundamentais com o posicionamento e as orientações dadas ao paciente no momento do tratamento.

As tarefas mais importantes que eles desempenham são:

a) Cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN.

b) Executar as suas atividades em conformidade com os requisitos e exigências dos regulamentos de radioproteção estabelecidos pela Direção da Instalação.

c) Responsabilizar-se e administrar o tratamento ao paciente de acordo com a prescrição clínica e o plano de tratamento elaborado pelo médico radioterapêuta.

d) Auxiliar na etapa de simulação do tratamento;

e) Colaborar na preparação do tratamento do paciente.

f) Participar e providenciar a confecção de blocos de colimação, máscaras de imobilização, moldes e demais acessórios determinados nas etapas de simulação e planejamento do tratamento;
g) Manter o paciente informado em relação ao seu tratamento.
h) Posicionar corretamente o paciente e conhecer todos os aspectos técnicos de localização e simulação do tratamento.
i) Seguir atentamente a ficha de tratamento, ajustando e aplicando, no comando, os parâmetros técnicos corretos para cada campo.
j) Fazer as colimações dos campos de radiação de maneira correta, recorrendo ao Médico ou ao Físico sempre que necessário.
k) Utilizar e conhecer todos os acessórios de imobilização do paciente, moldes, etc.
l) Comunicar ao Físico Médico e ao Radioterapeuta qualquer erro ou engano que por acaso tenha cometido, no sentido que, com os profissionais anteriormente referidos possam encontrar uma solução para o problema.
m) Observar o paciente através do monitor de vídeo (observação visual do paciente) durante todo o tempo de exposição e tratamento, advertindo-o em caso de movimentação.
n) Zelar pelo bem estar do paciente durante o período do tratamento.
o) Providenciar cuidados ao paciente durante seu tratamento.
p) Observar a evolução clínica do paciente, detectar sinais precoces de complicações, comunicando imediatamente ao médico radioterapêuta, para a decisão de suspensão do tratamento quando for o caso.
q) Conhecer o funcionamento e o uso dos equipamentos e acessórios, assim como seus limites de segurança.
r) Comunicar ao Supervisor de Proteção Radiológica, qualquer problema de ordem elétrica ou mecânica que possa ser observado no aparelho, ou qualquer evento que, no seu entender, possa influir nos níveis de exposições ou risco de ocorrência de acidente.
s) Conhecer e aplicar os regulamentos vigentes de radioproteção, detectar riscos de irradiação desnecessária e contribuir na radioproteção do público e do paciente.
t) Conhecer os diferentes métodos de tratamento e os protocolos clínicos utilizados na instituição.
u) Evitar o acesso de pessoas não autorizadas às áreas restritas onde os mesmos desempenham as suas atividades.
v) Zelar pelos equipamentos emissores de radiações e de tratamento e de seus acessórios, verificando se os mesmos apresentam-se em bom estado durante o período de serviço para evitar possíveis acidentes que possam pôr em risco os pacientes.
w) Auxiliar na preparação de fontes de braquiterapia.
x) Juntamente com o responsável pela proteção radiológica, manter atualizado o inventário exato dos materiais radioativos armazenados, bem como quando necessário, transportá-lo de forma adequada.
y) Auxiliar o Supervisor de Proteção Radiológica, Físico Médico e o Médico Radioterapeuta nas atividades diárias da Instalação.
z) Colaborar com a formação de novos técnicos, dando toda a informação necessária.
aa) Participar de programas de treinamento e reciclagem na unidade.
bb) Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.
cc) Participar das metodologias de Gestão da Qualidade em Radioterapia.

7.7 - Responsabilidades do médico veterinário

Este item não consta na Norma Técnica da CNEN, está sendo proposto neste trabalho de mestrado.

O médico veterinário, quando não possuir o título de especialista em radioterapia emitido pela CNEN, deverá auxiliar o médico radioterapêuta na rotina do atendimento, planejamento e tratamento paciente veterinário. Suas responsabilidades são:

a) Consulta: avaliação clinica do paciente veterinário para se identificar o tipo de patologia e região anatômica a ser tratada;
b) Estabelecimento do plano de tratamento: é a discussão dos achados durante a consulta incluindo diagnóstico eos campos de radiação, dose, fracionamento e técnica;
c) Orientar os profissionais técnicos quanto à localização dos campos de tratamento.
d) Aplicação do tratamento: o médico veterinário deve se envolver de forma regular na aplicação do tratamento e deve estar sempre disponível para consulta clínica enquanto se realizam os tratamentos;
e) Avaliação do paciente durante o tratamento: Como em radioterapia veterinária as suas especificidades (imobilização do animal) requer procedimento anestésico a cada sessão do tratamento, o médico veterinário deve acompanhar o paciente diariamente, avaliando as alterações de seu estado clínico, resposta do tumor, toxicidade, etc. O médico veterinário deve prestar atenção especial a possíveis alterações anatômicas que possam necessitar de novo planejamento ou novo cálculo do tempo de tratamento;
f) Resumo do tratamento: ao final do tratamento o médico veterinário devera resumir o curso do tratamento. Este resumo devera incluir a dose administrada, a descrição da técnica de tratamento, o tempo de tratamento, a tolerância do paciente, a resposta do tumor e o plano de preservação;
g) Avaliação do seguimento: deve-se estabelecer um plano que detalhe a frequência do seguimento do paciente após o tratamento, onde se avaliara a resposta e aferição da morbidade do tratamento;
h) Segurança do paciente: as Normas Básicas de Proteção Radiológica dispõem que se atribua aos responsáveis pelo tratamento a responsabilidade de zelar pela proteção e segurança total do paciente ao prescrever e administrar uma exposição com fins terapêuticos;
i) Notificar ao Responsável Técnico eventos adversos graves ocorridos no serviço de radioterapia, de que tenha conhecimento;
j) Ser responsável pelo uso do material radioativo da Instalação (quando o médico veterinário possui titulação de especialista emitida pela CNEN);
k) Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.
l) Cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN.
m) Informar ao físico qualquer alteração que porventura possa ser feita no campo de tratamento.

8 - Treinamento específico ministrado à equipe de profissionais do Serviço - programas de cursos e carga horária

O Serviço de Radioterapia deve proporcionar aos seus funcionários um treinamento periódico que envolva os conceitos de proteção radiológica, procedimentos de rotinas do Serviço, conceitos de efeitos radiobiológicos e noções de dosimetria das radiações. O programa mínimo deve ser apontado pelo coordenador do treinamento, normalmente o físico médico e supervisor de radioproteção do serviço, e cursos de reciclagem devem ser realizados com periodicidade anual (Inciso VI da Norma CNEN NN 6.10-Resolução CNEN 176/14).

Programa de Treinamento realizado no Serviço:

1 - Normas de Proteção Radiológica e Legislação em Radioterapia.

1.1 - Definições e conceitos das Normas da CNEN: Duração = 2,0 horas

a) CNEN NN 3.01 – Resolução 164/14 de março/2014;
b) CNEN NE 3.06 - Resolução CNEN nº 130 de 04/06/2012;
c) Norma CNEN NN 6.02 – Resolução CNEN nº 166/14 de 04/2014;
d) Norma CNEN NN 6.10 – Resolução CNEN nº 176/14 de 11/2014;

1.2 - Definições e conceitos das Normas da ANVISA: Duração = 1,0 hora

a) Resolução ANVISA – RDC 20 de 02/02/2006;
b) Nota Técnica Conjunta nº 1/2012 – GGTES/GGTPS/ANVISA de 12/06/2012;

1.3 - Definições e conceitos das Normas do MTbE: Duração = 1,0 hora

a) Norma Regulamentadora do MTbE NR-32 de 11/11/2005

2 – Conceitos Básicos sobre Física Radiológica – Duração = 2,0 horas

Breve histórico sobre os raios-X e radioatividade. Definições sobre exposição e dose de radiação, conceitos e unidade de medidas.

3 – Conceitos Básicos sobre Equipamentos de Radioterapia – Duração = 2,0 horas

a) Características e princípios de funcionamento do acelerador linear e equipamentos de radioterapia instalados na clínica;
b) Identificação do acelerador linear em funcionamento na clínica;
c) Identificação dos demais equipamentos de radioterapia em funcionamento na clínica;

4 – Conceitos Básicos de Detectores de Radiação – Duração = 3,0 horas

a) Conceitos Básicos sobre detectores de radiação (detectores TLD, caneta dosimétrica, câmara de ionização e eletrômetros para dosimetria, detector Geiger Muller);
b) Manuseio do detector GM;
c) Medidas de levantamento radiométrico da sala de teleterapia;

d) Identificação, características e manuseio da fonte de referência para controle de qualidade do conjunto dosimétrico.

5 – Noções básicas de anatomia – Duração = 3,0 horas

Vista geral, nomenclatura e definições elementares sobre:

a) Divisão do corpo humano;
b) Posição Anatômica;
c) Planos anatômicos:
   c.1) Planos Seccionais: plano mediano; planos sagitais; planos frontais (coronais); planos transversos (horizontais);
   c.2) Planos Tangenciais: plano superior; plano inferior; plano anterior; plano posterior; planos laterais.
d) Sistema esquelético – denominações dos principais ossos do corpo humano;
e) Crânio;
f) Sistema músculo esquelético;
g) Sistema digestório;
h) Sistema respiratório;
i) Sistema circulatório;
j) Sistema urinário – vista geral;
k) Sistema genital masculino e feminino – vista geral;
l) Sistema endócrino – vista geral;
m) Sistema nervoso central;

6 – Noções básicas de anatomia animal – Duração = 5,0 horas

Vista geral, nomenclatura e definições elementares sobre:

a) Pequenos animais - Divisão do corpo – planos anatômicos - posição anatômica;
b) Grandes animais - Divisão do corpo – planos anatômicos - posição anatômica;
c) Pequenos animais – Sistemas (identificação de ossos, músculos e órgãos);
d) Grandes animais – Sistemas (identificação de ossos, músculos e órgãos);

7 – Acessórios de posicionamento e imobilização, blocos de colimação – Duração = 1,0 hora;

8 – Técnicas de tratamento - Duração = 2,0 horas

9 – Métodos de Simulação do tratamento - Duração = 1,0 hora

10– Sistemas de planejamento (manual e computadorizado) - Duração = 1,0 hora

11– Conceitos sobre dosimetria e controle de qualidade - Duração = 3,0 horas

12– Noções básicas de enfermagem e biossegurança - Duração = 2,0 horas.
13– Situações de emergência - Duração = 1,0 hora
14– Perspectivas futuras da radioterapia - Duração = 1,0 hora
15 - Exercícios práticos e resolução de casos simulados - Duração = 10 horas

Atividades extras realizadas no ambiente de trabalho com entrega de listas de exercícios, correções e discussão de dúvidas.

Carga horária total prevista = 41,0 horas de atividades.

Antes do início do funcionamento do equipamento, os profissionais técnicos, físicos, médicos e atendentes administrativos, receberam treinamento específico de operação do acelerador linear, do sistema integrado de gerenciamento de dados e sobre o sistema de planejamento. Estes treinamentos foram ministrados pelo grupo de engenheiros e especialistas do fabricante do acelerador linear.

9 - Classificação das áreas da Instalação

O controle de áreas compreende a avaliação, classificação, controle de acesso, balizamento, sinalização e monitoração. Periodicamente serão confirmadas as classificações de áreas controladas e livres de acordo com eventuais modificações do uso da instalação. O programa de monitoração de área abrange a seleção e demarcação de pontos de referência para a realização de medições. Os pontos selecionados devem: ser de fácil acesso à instrumentos portáteis de medição; ser significativos para a detecção prévia de qualquer irregularidade nas condições de operação; ser representativos com relação a permanência e transito de trabalhadores para efeitos de estimativa de doses; ser pouco sujeitos a modificações nas condições normais de trabalho.

9.1. Vizinhanças da Sala de Tratamento (Acelerador Linear)

Neste trabalho de pesquisa está ilustrada uma sala de teleterapia projetada para a rotina de radioterapia veterinária.

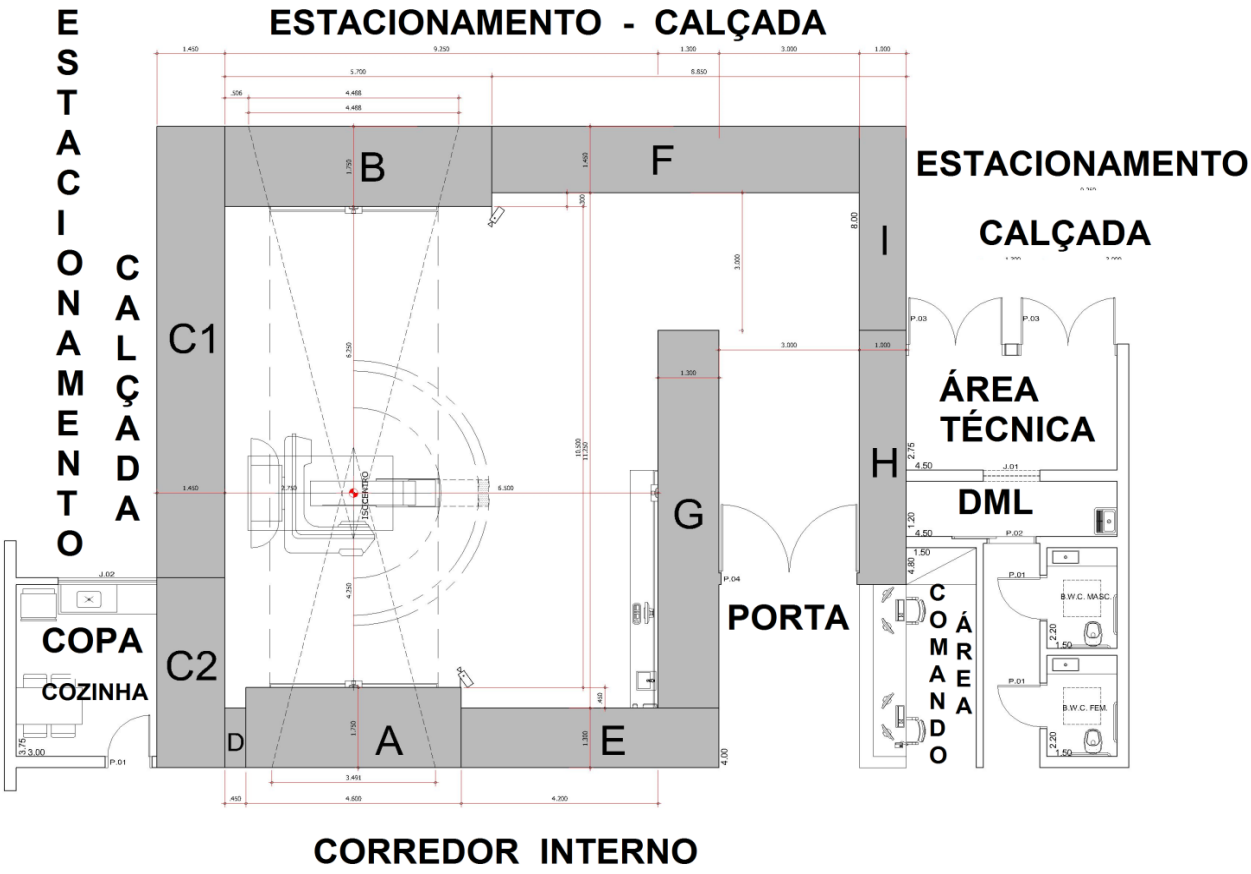
A clínica será destinada exclusivamente para pacientes veterinários de pequenos (cães, gatos, etc.) e grandes animais (cavalos, etc.). A experiência na

área oncológica veterinária, estabelecida pela trajetória científica da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP de Botucatu, aponta que a maioria dos casos a serem atendidos tratar-se-á de pequenos animais com lesões superficiais e profundas (tumores de pele e órgãos internos). Considerando a necessidade, em alguns casos, de anestesia animal, e relatos de literatura extraídos de outros centros de radioterapia veterinária já estabelecidos em outros países, a dose de radiação diária será maior (em torno de 250 cGy a 400 cGy) que as normalmente aplicadas em radioterapia humana, o que resulta em diminuição do número de aplicações e menor quantidade diária de pacientes. Face às dimensões anatômicas na média serão utilizados dois campos de radiação por aplicações. Considerando que o serviço também deverá ser utilizado para pesquisas com irradiações de amostras na área, não mais do que 20 pacientes deverão ser assistidos por dia.

Esta sala foi projetada para instalação e operação de um aparelho do tipo acelerador linear com energias de fótons de 6,0 MV, habilitado para realização de técnica de IMRT.

A carga de trabalho clínica (Wc) foi estabelecida considerando-se um número de 20 pacientes por dia com média de 2,0 campos de tratamento por paciente, somando 40 campos por dia e exposição de 4,0Sv por campo, trabalhando 5 dias por semana. Nestas condições a carga de trabalho clínica será de 800 Sv/semana a 1,0 metro do alvo (fonte). Foram considerados ainda 100 Gy/semana para a carga de trabalho da física (procedimentos de dosimetria e controle de qualidade dos feixes de radiação). Também foi acrescida uma quantidade de dose de radiação destinada à pesquisas científicas (estudo de protocolos radioterápicos aplicados à radioterapia veterinária) Wp = 200 Gy/semana.

Assim, a carga de trabalho total será de W_{total} = 1100 Gy/semana à 1,0 metro da fonte (isocentro de tratamento). Para os cálculos de blindagem da sala do acelerador linear considerou-se a a máxima energia de fótons disponível no Acelerador Linear Varian UNIQUE™ que é de 6 MV.



A Tabela abaixo ilustra a classificação das áreas, o tipo de ocupação, os fatores de uso (U) e ocupacional (T) das áreas vizinhas à sala do acelerador linear e as espessuras projetadas de cada uma das paredes. O Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) com as espessuras calculadas para construção das paredes foi analisado e aprovado pela CNEN (Ofício nº _____/_____-CGMI/CNEN de ___/___/_____).

Áreas vizinhas à sala do acelerador linear

				Espessura (cm)	
Barreira	**Localização / Vizinhança**	**U**	**T**	**Calculada**	**Projetada – construir**
A	Corredor Interno	1/4	1/4	**174,00**	**175,00**
B	Estacionamento / Calçada	1/4	1/20	**165,00**	**175,00**
C1	Estacionamento / Calçada	1,0	1/20	**139,00**	**145,00**
C2	Copa e Cozinha	1,0	1/4	**140,00**	**145,00**
D	Corredor Interno	1,0	1/16	**123,00**	**130,00**
E	Corredor Interno	1,0	1/16	**123,00**	**130,00**
F	Estacionamento / Calçada	1,0	1/20	**115,00**	**145,00**
G	Corredor do Labirinto	1,0	1/8	**125,00**	**130,00**
H	Área Técnica / Comando	1,0	1,0	**97,00**	**100,00**

I	Calçada	1,0	1/16	**90,00**	**100,00**
Porta	Corredor de entrada do labirinto	1,0	1/8	**3,26 mmPb**	**3,50 mmPb**
Teto	Sem acesso / Barreira Primária	1/4	1/40	**148,00**	**150,00**
Teto	Sem acesso / Barreira Secundária	1,0	1/40	**105,00**	**110,00**
Teto	Barreira secundária - Labirinto	1,0	1/40	**88,00**	**90,00**

10 - Instrumentação para medição da radiação

10.1 - Dosímetro clínico

10.1.1 - Conjunto Dosimétrico 1

10.1.1.1 - Eletrômetro:

Fabricante: _____; Modelo: _____Nº de Série: T1010-00484

10.1.1.2 - Câmara de ionização:

Tipo dedal modelo Farmer

Fabricante: _____Modelo: _____Nº de Série: _____

Certificado de Calibração N°: ____/_____– IPEN- Data de Calibração: ___/___/___

Validade: ___/___/_____ $N_{D,}w$ = _____ mGy/nC

10.1.2 - Conjunto Dosimétrico 2

10.1.1.1 - Eletrômetro:

Fabricante: _____;Modelo: _____Nº de Série: T1010-00484

10.1.1.2 - Câmara de ionização:

Tipo dedal modelo Farmer

Fabricante: _____Modelo: _____Nº de Série: _____

Certificado de Calibração N°: ____/_____– IPEN- Data de Calibração: ___/___/___

Validade: ___/___/_____ $N_{D,}w$ = _____ mGy/nC

Certificado de Calibração N°: 0225/2014 – IPEN - Data de Calibração: 25/06/2014

Validade: 25/06/2016 $N_{D,}w$ = 53,61 mGy/nC

10.2 - Monitor de Área

Fabricante: _____ - Modelo: _____ Nº de Série: _____

Certificado de calibração N°: _____

Data de calibração: ___/___/_____. _____.

Validade: ___/___/_____.

10.3 – Medidor de Planura e Simetria

Fabricante: _____ Modelo: _____
Certificado de calibração: _____

10.4 – Densitômetro Óptico

Marca: _____ Modelo: _____
Número de série: _____

11 - Instruções para o Trabalho e Condutas do Profissional na Radioterapia

11.1 – Instruções para o Trabalho - ACELERADOR LINEAR (Marca - Modelo)

Antes de usar o equipamento, a _____ (fabricante) recomenda que os profissionais conheçam todos os procedimentos de emergência locais e a localização dos interruptores de emergência, dentre os quais:

• Botões <Stop Motors> (Parar motores) nos controladores portáteis e nos painéis de controle na sala de tratamento;

• Interruptores de desligamento <OFF> de emergência na sala de tratamento, na área de controle e em áreas próximas ao equipamento.

11.1.1. – Instruções para o trabalho de rotina

Instruções gerais fornecidas aos trabalhadores ocupacionalmente expostos:

1 - Usar o dosímetro pessoal sempre que estiver na área de serviço. Ao iniciar a jornada de trabalho, apanhar o dosímetro pessoal e prendê-lo na lapela do avental.

2 - Antes de iniciar o trabalho com pacientes, proceder aos seguintes testes de segurança: porta, botões de emergência do comando interno e console externo, verificar o estado de funcionamento do sistema de vídeo e intercomunicação da sala de tratamento.

3 – É proibida a entrada de acompanhantes e pessoas alheias ao serviço na área de comando e na sala de tratamento.

4 - Verificar a identidade do paciente antes de proceder a aplicação, para ter certeza de que a ficha corresponde ao paciente a ser tratado.

5 - Ajudar sempre o paciente a subir e a descer da mesa de tratamento com firmeza e atenção.

6 - Para a execução do plano de tratamento de cada paciente, aplicar todos os parâmetros descritos na ficha técnica. Na dúvida, não executar a aplicação e chamar um físico e/ou médico radioterapêuta.

7- Instalar acessórios, como bandejas duplas ou simples, filtros, aplicadores de elétrons, e outros, antes de posicionar o paciente.

8 - Monitorar constantemente os parâmetros de medida, como escalas e campos luminosos.

9 - Observar o paciente durante todo o tratamento, verificando os dispositivos de visualização e comunicação com o paciente através de sistema de áudio e vídeo.

10 - A irradiação deve ser interrompida sempre que necessário, como no caso em que o paciente se mova, ou se perceber vômito ou ruído respiratório estranho.

11 - Nunca executar planejamentos de terapia rotatória sem antes fazer um teste de 360° para evitar colisões da cabeça do aparelho com o paciente ou com a mesa de tratamento.

12 - Observar a sinalização da porta (luz vermelha e luz verde) antes de entrar na sala.

13 - Para a segurança, na área de comando externa à sala de tratamento existe um botão de emergência que desliga totalmente os circuitos do acelerador;

14 - A porta de entrada da sala de tratamento possui luzes de indicação da situação do feixe de radiação: luz verde: indica não irradiação, sendo permitida a entrada na sala; luz vermelha: indica que o feixe de radiação está sendo exposto, não é permitida a entrada na sala de tratamento.

15 - A porta de entrada também possui interruptores que interrompem o feixe de radiação caso a mesma seja aberta durante a exposição do feixe.

16 - Todos os trabalhadores devem receber treinamento para conhecer a localização dos botões de emergência da mesa, da sala de tratamento, do console e da chave do console.

18 - Ao término da jornada de trabalho, deixar o dosímetro de uso pessoal no quadro correspondente, localizado na sala _____.

19 - Todas as dúvidas decorrentes do planejamento de qualquer paciente devem ser dirigidas aos físicos ou aos médicos radioterapêutas do serviço.

12 - Plano para situações de emergência

12.1 Procedimentos de Emergência – Acelerador Linear

Para finalizar a radiação e todos os movimentos da máquina em uma emergência, pressione um dos botões de parada de emergência na sala de tratamento ou na área de comando.

O técnico deve conhecer as posições de todos os botões de emergência antes de operar o acelerador linear.

12.1.1. – situação: O feixe não é interrompido ao transcorrer a unidade monitor programada (Prescribed MU).

Na falha do *monitor primário (***Prescribed UM 1***)* o feixe será desligado pelo *monitor secundário (Backup MU).*

12.1.2 - O feixe não é interrompido pela unidade monitora secundária

Na falha do *monitor secundário* o feixe será interrompido pelo *timer* do equipamento.

12.1.3 - Falha do timer do equipamento.

Neste caso, o feixe deverá ser desligado manualmente pressionando o botão vermelho no dispositivo da mesa de comando, ou acionando o botão de emergência situado na parede da área de comando.

12.2 - Condutas em caso de emergência:

O técnico deve estar sempre atento ao funcionamento da máquina para detectar quaisquer irregularidades com o equipamento, não permitindo exposição desnecessária do paciente. Ao verificar que se completou a UM programada e o feixe não foi desligado, o técnico deverá interromper o feixe imediatamente, através do botão vermelho na mesa de comando ou, na falha deste, acionando o botão de emergência situado na área de comando, antes mesmo do acionamento da *UM secundária* ou do *timer* do acelerador.

Na eventualidade dos sistemas de segurança descritos acima falharem, deverá ser cortada a alimentação elétrica geral do acelerador no quadro elétrico na sala técnica no fundo da sala de tratamento.

Na ocorrência de qualquer uma das situações acima, o Supervisor de Radioproteção deverá ser comunicado imediatamente.

Quando o equipamento apresentar oscilações anormais ou defeitos consecutivos, o técnico deverá comunicar ao Supervisor de Radioproteção para evitar paralisações mais prolongadas do equipamento devido a intensificação de um problema pré-existente.

Na ocorrência de focos de fumaça ou cheiro de queimado nos módulos da unidade de tratamento, o equipamento deverá ser desligado. Comunicar o Supervisor de Radioproteção.

Caso o Supervisor de Radioproteção não se encontre no local no momento da ocorrência de qualquer uma das situações acima, o físico médico ou o médico veterinário/radioterapeuta devem ser comunicados.

Telefones de emergência:

Supervisor de Proteção Radiológica

Marco Antônio Rodrigues Fernandes – (18) 99799-5683 / 3624-4744 / 3623-0560

Supervisor de Proteção Radiológica - Substituto

Nome:_____ – Fone ( ) _____

Médico Radioterapeuta
Nome:_____
Fone: ( ) _____
Substituto: _____ ( ) _____

Médico Veterinário
Nome:_____
Fone: ( ) _____

A instrução acima está apresentada em local visível, próximo ao aparelho.

13 - Procedimentos de radioproteção

Todos os trabalhadores da clínica de radioterapia com acesso às áreas controladas deverão portar dosímetros individuais com leitura mensal dos níveis de radiação recebidos.

13.1- Instruções para a utilização de monitores individuais de radiação:

1 - É obrigatório o uso de dosímetro de monitoração pessoal durante a permanência do trabalhador no local de trabalho;

2 - Os monitores deverão ser utilizados exclusivamente durante o período de trabalho, ao término deste, deverão ser guardados em local apropriado, junto com os demais monitores e dosímetros de controle (padrão), em ambiente pouco úmido, de temperatura amena e o mais afastado possível de fontes emissoras de radiação (sala de CPD/arquivo);

3 - O dosímetro de controle (dosímetro padrão) não poderá, em hipótese alguma, ser utilizado para monitoração individual, ele se destina a servir de referência para os demais monitores;

4 - Evitar maus tratos mecânicos como: amassar, abrir a porta dosímetro, perfurar. grampear, molhar ou abandonar em lugares não apropriados. Nunca levar os monitores de radiação para casa ou para fora da clínica;

5 - Não utilizar o dosímetro sob hipótese alguma, quando for submetido a exame médico ou terapia com radiação;

6 - O monitor individual de dose (quer seja de TLD ou outro material) deve ser usado de maneira visível, a altura do tórax com a identificação voltada para frente. Não deve ser colocado dentro do bolso. Nenhum objeto (caneta, isqueiro, carteira, etc) deve ficar na frente do monitor;

7 - Nos casos do uso de aventais plumbíferos, deve-se seguir as recomendações do laboratório de dosimetria contratado quanto o posicionamento do monitor sob ou

sobre o avental. Normalmente recomenda-se o uso do monitor sobre o avental, e a leitura obtida é dividida por um fator 10 considerando a atenuação pelo avental plumbífero. Quando partes do corpo (geralmente as mãos) são expostas a taxas de doses maiores que o restante, é recomendada a utilização de dosímetros adicionais para extremidades, tais como pulseiras e anéis;

8 - Todos os trabalhadores receberam individualmente um documento explicativo protocolado sobre o uso e cuidados do dosímetro de uso pessoal;

9 - Os dosímetros são trocados mensalmente, com exceção dos casos de exposição acidental ou de emergência, quando a leitura se efetua em poucas horas e o trabalhador é enviado para avaliação e cuidados do médico do trabalhado.

10 - As leituras mensais são afixadas em quadro próprio para conhecimento dos trabalhadores e registradas em ficha individual para o histórico do trabalhador, a qual fica a disposição das autoridades regulatórias;

11 - Semestralmente são realizados exames de controle médico sob a responsabilidade de médico especialista em medicina e segurança do trabalho;

12- Na eventualidade de um trabalhador receber dose acidental ou de emergência maior do que duas vezes o limite primário anual, haverá obrigatoriamente controle médico e perícia especial;

13 - Em caso de alguma dúvida ou qualquer esclarecimento adicional que se fizer necessário, entrar em contato com o Supervisor de Radioproteção ou com o responsável técnico do serviço de radioterapia.
Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes: (18) 99799-5683 / 3624-4744
Responsável Técnico: _____ - Fone: (14) _____.

13.2 – Programa de Monitoração:

13.2.1 – Monitoração Individual:

Os trabalhadores da Instalação possuem monitor individual de leitura indireta mensal para ser utilizado sempre que estiverem em área restrita ou durante o expediente de trabalho, sendo fornecida por uma empresa devidamente credenciada pela CNEN e compatível com as condições de exposição, tais como o tipo de radiação, energia, geometria de irradiação do corpo, tempo de exposição e taxa de dose.

Na ocorrência de acidente ou suspeita de acidente, o dosímetro será encaminhado à empresa fornecedora para avaliação.

Os trabalhadores da Instalação possuem ficha individual de controle de doses.

13.2.2 – Monitoração de Área:

O detector portátil de radiação tipo Geiger Muller (GM) é utilizado para levantamento radiométrico do meio ambiente, para garantir que o nível de radiação esteja condizente com as normas em vigor.

Todos os dispositivos de segurança são verificados, tais como intertravamento da porta de acesso à sala de tratamento, botões de emergência, luz de sinalização e mecanismos de controle de feixe de radiação.

Todas as áreas sujeitas à exposição às radiações ionizantes são sinalizadas com o símbolo internacional indicativo de presença de radiações ionizante, segundo a Norma da CNEN (CNEN NN 3.01 – Nov/2005). Além disso, estão afixados nas proximidades do comando do equipamento os procedimentos em caso de emergência, a serem seguidos pelos funcionários, que possuem monitores individuais para uso em serviço. O acesso ao prédio é controlado pelo pessoal administrativo, e o acesso às áreas controladas é sinalizado e controlado por serviço próprio da Instalação.

Anualmente será realizado o levantamento radiométrico em pontos selecionados nas vizinhanças das salas dos equipamentos emissores de radiações ionizantes, verificando a manutenção dos níveis de exposição e os valores serão registrados para futuras inspeções dos técnicos da CNEN.

13.3 – Limites de Dose e Otimização da Radioproteção:

Nenhum indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) será exposto à radiação sem que:
- seja necessário;
- tenha conhecimento dos riscos radiológicos associados ao seu trabalho;
- esteja adequadamente treinado para o desempenho seguro de suas funções.

Indivíduos com idade inferior a 18 anos não podem estar sujeitos a exposições ocupacionais.

Gestantes não trabalharão em áreas controladas, a partir da notificação da gravidez.

Serão respeitados os seguintes Limites Máximos de Dose Anuais (LMP):

Indivíduos ocupacionalmente exposto (IOE) – LMP = 20mSv (a)

Indivíduos do público – LMP = 1mSv (b)

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

Limites de Dose Anuais (a)

Grandeza	Trabalhador (mSv)	Indivíduos do publico
Equivalente de Dose Efetiva (Corpo Inteiro)	20 (a)	1 (b)
Equivalente de Dose para o Cristalino	20 (c)	-
Equivalente de Dose para Mãos e Pés	500	-
Equivalente de Dose para a Pele (d)	500	50

(*) – conforme alteração pela Resolução CNEN 114/2011.

(a) Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano. Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar temporariamente uma mudança na limitação de dose, desde que: não exceda 50mSv em qualquer ano; o período temporário de mudança não ultrapasse 5 anos consecutivos; e que a dose efetiva média nesse período temporário de mudança não exceda 20mSv por ano.
(b) Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva até 5mSv um em ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos não exceda a 1mSv por ano.
(c) Alteração pela Resolução CNEN 114/2011.
(d) Valor médio em 1,0 cm^2 de área, na região mais irradiada.

A norma da CNEN (CNEN NN nº 3.01) prevê somente **Limites Primários Anuais**, mas por motivos práticos de dosimetria foram estabelecidos três **Níveis de Referencia** para o programa de monitoração pessoal, em relação as doses mensais, a saber (Posição Regulatória - CNEN PR 3.01/004:2011):

A) Nível de registro: O nível de registro para monitoração individual mensal de IOE (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto) é de 0,20 mSv para dose efetiva: todas as doses maiores ou iguais a 0,20 mSv devem ser registradas, embora possa ser feita também o registro das doses abaixo desse nível.

B) Nível de investigação: O nível de investigação para monitoração individual de IOE deve ser, para dose efetiva, 6 mSv por ano ou 1 mSv em qualquer mês. Para dose equivalente, o nível de investigação para pele, mãos e pés é de 150 mSv por ano ou 20 mSv em qualquer mês. Para o cristalino, o nível de investigação é de 6 mSv por ano ou 1 mSv em qualquer mês.

Quando a dose efetiva mensal de algum usuário estiver entre estes valores, a instituição deve investigar as causas que justifiquem estes níveis.

O laboratório de dosimetria deve enviar um comunicado informando quais os usuários que atingiram esta dose e sugerir providencias a serem tomadas.

13.4 - Exposições de Emergência

No caso de exposições ocupacionais recebidas no curso de uma intervenção, devem ser cumpridos os seguintes requisitos, conforme apropriado, em relação às equipes de intervenção:

a) nenhum membro das equipes de intervenção, para atendimento a situações de emergência, deve ser exposto à dose superior ao limite anual de dose para exposição ocupacional, estabelecido na norma CNEN- NN- 3.01, exceto com a finalidade de:

- salvar vidas ou prevenir danos sérios à saúde;
- executar ações que evitem dose coletiva elevada; ou
- executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas;

b) quando da realização de intervenções para atendimento a situações de emergência sob as circunstâncias mencionadas acima, as doses efetivas dos

membros da equipe devem ser inferiores a 100mSv, com exceção das ações para salvar vidas, quando devem ser sempre observados os limiares relacionados aos efeitos determinísticos;

c) somente podem empreender ações nas quais a dose efetiva possa exceder 50mSv. Nesses casos, esses voluntários devem ser informados, com antecedência, dos riscos associados à saúde, e devem ser treinados para as ações que possam ser necessárias;

d) quando a fase de pós-emergência de uma intervenção for iniciada, os membros das equipes, que efetuaram operações de recuperação, deverão estar sujeitos aos mesmos requisitos de exposição ocupacional para as práticas, conforme a norma CNEN- NN- 3.01;

e) o titular, empregador e responsáveis pelas demais organizações envolvidas na intervenção, devem, durante a intervenção de emergência, fornecer proteção radiológica apropriada aos membros das equipes, avaliar e registrar as doses recebidas e, quando a intervenção terminar, fornecer os históricos das doses recebidas;

f) as doses recebidas em situação de emergência não impedem exposições ocupacionais posteriores, uma vez que estas não devem ser contabilizadas para fins de conformidade com os limites de dose para práticas. No caso de ter recebido, em situação de emergência, uma dose efetiva superior a 100mSv ou dose absorvida superior ao limiar de efeitos determinísticos, o titular ou empregador deve solicitar aconselhamento médico qualificado, antes que o membro da equipe venha a se submeter a qualquer exposição adicional.

A Instituição deverá informar a CNEN o ocorrido e as providências tomadas.

13.5 - Estimativa das Exposições de Rotina do Serviço.

Conforme cálculos demonstrados nas planilhas de blindagens apresentadas no RPAS (Relatório Preliminar de Análise de Segurança), os níveis de radiações esperados no serviço são:

10.5.1 - Indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) – 20 mSv/ano.
10.5.2. - Indivíduos do público – menor ou igual a 1,0 mSv/ano.

14 – Controle Médico Ocupacional

A supervisão médica abrangerá os seguintes exames:

a) Exame pré-ocupacional para verificar se o trabalhador está em condições de saúde física e mental para iniciar a sua ocupação, incluindo uma análise do

seu histórico médico e radiológico contendo todas as informações sobre exposições anteriores;

b) Exame hematológico de acordo com as doses recebidas pelo trabalhador;
c) Exame hematológico periódico, realizado a cada 6 meses.
d) Exames específicos em trabalhadores que tenham recebido doses superiores aos limites estabelecidos em normas da CNEN ou sempre que o Médico julgar necessário;
e) Exame pós-ocupacional imediatamente após o término da ocupação no emprego.

15 - Descrição dos procedimentos de rotina no setor de radioterapia veterinária

Os animais são encaminhados para o setor de radioterapia pelos respectivos médicos veterinários e especialistas de origem, após diagnosticada a patologia que tenha indicativo oncológico. No setor de radioterapia será agendada a consulta de avaliação com o médico veterinário e radioterapêuta.

Feita a avaliação clínica do animal e de posse de todos os exames necessários, o médico veterinário e radioterapêuta, seguindo os protocolos radioterápicos, irá prescrever o plano de irradiação adequado para cada caso, considerando a dose de radiação, o tempo de tratamento, a energia e a posição anatômica em que o paciente veterinário deverá ser tratado (fracionamento, parâmetros radiométricos do feixe de radiação, posicionamento anatômico e acessórios de imobililzação da área a ser irradia).

Na data agendada para o planejamento do tratamento, o médico veterinário e radioterapêuta, juntamente com o físico médico e o tecnólogo de radioterapia, avaliam por exames de escopia, as dimensões dos campos de radiações e estabelecem os parâmetros radiométricos do tratamento. Em casos de tratamentos tri-dimensionais (3D) os pacientes serão encaminhados para o setor de tomografia computadorizada para obtenção as imagens tomográficas da região anatômica a ser planejada.

O sucesso da radioterapia depende, dentre outros fatores, da reprodutibilidade do campo de radiação planejado, por esta razão, após a aceitação dos campos de radiação planejados, são realizadas marcações delimitando as dimensões do campo de tratamento.

Terminada a simulação, o físico médico elabora os planos do tratamento juntamente com o médico veterinário e radioterapêuta que identifica e delimita os órgãos de interesse no volume de radiação e os órgãos de riscos circunvizinhos que necessitam de proteção contra radiação ou que exigem restrição de dose de radiação, deliberando assim o PTV (volume de tratamento planejado).

Após a finalização dos cálculos e aceitação do plano de tratamento, o paciente é encaminhado ao equipamento de irradiação adequado para o seu tratamento, onde o profissional técnico de radioterapia procederá à execução do plano de tratamento durante o período de dias estabelecido pelo médico veterinário e raditerapeuta.

Para verificar se o campo de irradiação esta sendo bem reproduzido durante o tratamento, o médico veterinário e radioterapeuta solicita uma radiografia de controle (portal filme ou check filme), que é uma radiografia feita no aparelho onde o paciente será tratado.

Durante o tratamento o paciente é conduzido à avaliações clínicas do médico veterinário, com periodicidade estabelecida no serviço, ou sempre que for necessário face à queixas pontuais do proprietário do animal ou sintomas apresentados decorrentes do tratamento. Cabe ao técnico ou tecnólogo comunicar imediatamente o médico veterinário e radioterapêuta sobre qualquer sintoma indesejado que o proprietário do animal o relate ou caso ele mesmo perceba reações anormais da radioterapia.

Os profissionais responsáveis pelo tratamento diário devem garantir que:

a) As regiões adjacentes ao campo de irradiação que apresentam órgãos críticos estejam com suas colimações adequadas ao tipo de unidade de terapia utilizada, por exemplo, quando o campo de aplicação é próximo ao cristalino do olho;
b) As regiões de tratamento que incluam a medula óssea possuam a colimação da mesma a partir da dose limite de 4500cGy;
c) A posição do corpo do animal esteja corretamente ajustadas sobre a mesa de tratamento, de tal forma a reproduzir o planejamento inicial;
d) A imobilização do animal sempre que necessário seja efetiva e proporcione a reprodutibilidade do campo de tratamento;
e) As colimações de regiões de GAP ou campos adjacentes estejam em conformidade com a determinação estabelecida pelo físico e pelo veterinário;
f) Todos os parâmetros especificados na ficha técnica de tratamento estejam sendo respeitados.

16 – Registro de Dados Dosimétricos

Acelerador linear – marca: _____ – modelo: _____

Os testes mecânicos, elétricos e dosimétricos inciais para aceitação (CAT) do acelerador linear foram realizados sobre a supervisão de engenheiros responsáveis da empresa fabricante _____, por físico independente contratado por ela e acompanhamento do físico responsável do serviço de radioterapia veterinária (Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes). Os resultados dos parâmetros analisados estão de acordo com as tolerâncias do fabricante e os protocolos de controle de qualidade em radioterapia, e estão anotados em documento específico guardados na sala de física médica no serviço.

Após a realização dos testes de aceitação (CAT) do acelerador linear foram realizadas as medidas dos parâmetros radiométricos dos feixes de radiação disponíveis no equipamento (Testes de Comissionamento da Máquina). Os valores obtidos dos parâmetros de cálculos (dose absoluta, fator de calibração, perfil e comportamento dos feixes de radiação, atenuação de filtros e acessórios, etc...) estão registrados em pastas de planilhas específicas, todos os documentos estão armazenados na sala de física médica no serviço.

Os resultados dos procedimentos de dosimetrias e testes de controle de qualidade periódicos, realizados após o inicio da operação do acelerador linear, serão registrados em documento próprio e guardados na sala de física médica.

Os dados e registros dos pacientes veterinários, tais como: data de inicio, nome, número de registro, diagnóstico, dose de tratamento, plano de tratamento e cálculos físicos serão apontados em documentos específicos e comporão a ficha técnica de tratamento individual para cada animal paciente. A ficha de tratamento será devidamente rubricada pelo médico veterinário e radioterapeuta e pelo físico médico. As aplicações diárias serão apontadas e rubricadas pelo técnico responsável pelo tratamento no dia da aplicação.

Todos os documentos comprobatórios da rotina de tratamento e dos procedimentos de dosimetria e controle de qualidade dos feixes de radiação ficarão à disposição dos inspetores da CNEN, os quais terão livre acesso à todas as áreas da instalação.

17 - Gerencia de rejeitos radioativos (Norma CNEN-NE:6.05)

Para o caso da clínica de radioterapia veterinária que realize apenas procedimentos de teleterapia, não haverá a produção de rejeitos radioativos, pois não usará e nem manipulará fontes radioativas não seladas.

18 - Plano de Proteção Física das Instalações e Equipamentos

A clínica de radioterapia veterinária _____está construída (área construída de _____ m^2) em uma área pertencente (terreno de _____ m^2) ao _____, na cidade de _____, Estado de _____.

O acesso ao terreno da clínica se dá por portaria única com serviço de vigilância integral e permanente.

O prédio do serviço de radioterapia tem uma entrada para os animais e seus proprietários e outra para os funcionários do setor. Estas duas portas de entrada apresentam visão frontam dos funcionários do atendimento e recepção. Para acesso de pessoal de serviços e manutenção existe outra entrada lateral independente das outras duas, a qual possui visão frontal da sala de comando e corredor interno da clínica.

Os proprietários dos animais que serão submetidos aos procedimentos de radioterapia permanecem na sala de espera da clínica onde os níveis de radiação tem classificação de área livre.

Após o expediente, o corpo de segurança mantém ronda permanente em todas as dependências da clínica. A equipe de segurança conta com ronda motorizada diuturnamente.

A ocorrência de roubos ou danos de qualquer natureza às fontes radioativas ou equipamentos emissores de radiação ionizante serão comunicados por escrito, pelo supervisor de proteção radiológica, no prazo de 24 horas, à vigilância sanitária e à CNEN, com cópias para o chefe da segurança e para a autoridade máxima da instituição.

19 - Procedimentos e resultados de monitorações radiológicas das áreas

O levantamento radiométrico (LR) consiste em medidas dos níveis de transmissão de radiação ionizante através das paredes e blindagens da sala de tratamento. Os valores das leituras do LR devem confirmar aqueles pré-estabelecidos e cálculados no Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) avaliado e aprovado anteriormente pela CNEN para a emissão da licença para construção. Os níveis de transmissão de radiação medidos no LR devem satisfazer os limites de doses estabelecidos pelas Normas de Proteção Radiológica da CNEN, quer sejam: 1,0 mSv/ano (áreas livres) e 20 mSv/ano (áreas supervisionadas e controladas).

Para a realização do LR da sala do acelerador utilizou-se um monitor de radiação do tipo Geiger Muller da marca _____ modelo _____ série: _____, devidamente calibrado pela Metrobrás (certificado de calibração nº _____). As condições de leitura foram:
Campo de radiação = 40,0 cm X 40,0 cm (campo máximo)
Colimador a 45º (diagonal = 56,56 cm)
Projeção medida da parede = _____ cm (colimador a 0º)
Projeção medida da parede = _____ cm (colimador a 45º)
Energia máxima: E = ____ MV UM = 1000 sem filtro e sem espalhador
Gantry com angulação de: 0°, 45º, 90°; 135º; 180°; 225º; 270º e 315º.

O cálculo da dose semanal é definido pela equação:

$$D = L.U.T.t_{beam\ on}$$

Onde:
D = dose semanal (mSv/h)
L = leitura média, lida diretamente do instrumento de medida
U = fator uso
T = fator ocupação
$t_{beam\ on}$ – tempo de beam on (feixe de radiação ligado)

Os resultados medidos para as leituras dos níveis de transmissão estão satisfatórios e abaixo dos limites máximos de dose permitidos pelas Normas de Proteção Radiológica, corroborando com as previsões apresentadas no RPAS.

Os resultados estão apresentados no RFAS.

20 - Dosimetria inicial das fontes de radiação

Para dosimetria e calibração dos feixes de radiação seguiu-se as recomendações do protocolo da Agencia Internacional de Energia Atomica (AIEA): Technical Reports Series Nº. 398, “Absorbed Dose Determination in External

Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based Standards of Absorbed Dose to Water". Vienna, 2000.

A dosimetria inicial completa dos feixes de radiação de fótons e de elétrons do acelerador linear foi realizada durante os testes de comissionamento da máquina. Os resultados estão apontados em planilhas específicas disponíveis na sala de física médica.

Após o inicio da operação do acelerador linear, está prevista a realização periódica de dosimetrias absolutas e testes de controle de qualidade, conforme recomentações da literatura e legislação vigente. A dosimetria absoluta deverá também ser realizada logo após a realização de manutenção preventiva e corretiva do acelerador linear.

O serviço possui uma fonte de estrôncio-90 (Sr-90) para controle de qualidade dos conjuntos dosimétricos. A taxa de dose à 10 cm de distância é < 1µSv/h

21 - Programa de Controle de Qualidade do Serviço

O Programa de Controle de Qualidade (PCQ) iniciou-se com os testes de aceitação da máquina, conforme acompanhamento do fabricante, avaliando todos os parâmetros e testes radiométricos pertinentes (planura e simetria do campo de radiação, curvas de PDP, fatores dosimétricos, dosimetria dos feixes de radiação, etc....), além dos testes mecânicos e dos sistemas de segurança. Os resultados estão guardados em armário próprio na sala de física médica.

Para avaliação do desempenho dos feixes de radiação, são utilizados os formulários para controle diário, semanal e anual do AL e da instrumentação utilizada (conjunto dosimétrico e equipamentos adicionais), de acordo com suas respectivas periodicidades, tais como recomendado na literatura específica: 1) TEC DOC 1151 (Aspecto Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade – Ministério da Saúde – INCa – 2000); 2) RDC 20 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – 02/02/2006); 3) TEC DOC 1040 (Design and implementation of a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects – IAEA - set 1998).

Antes do início do funcionamento do equipamento, os profissionais técnicos, físicos e médicos e veterinários receberam treinamento específico de operação do

acelerador linear, ministrado pelo grupo de engenheiros e especialistas do fabricante (Elekta). Após o início da operação do acelerador linear, a equipe de físicos médicos e supervisor de radioproteção do serviço de radioterapia ministrará periodicamente cursos e treinamentos sobre radioproteção a toda a equipe de profissionais envolvidos com o funcionamento do serviço.

22 - Procedimentos empregados para o transporte de material radioativo

Não existe transporte de material radioativo interno ou externo no serviço de radioterapia.

23 – Definições e Siglas

Acidente – qualquer evento não intencional, incluindo erros de operação e falhas de equipamentos, cujas conseqüências reais ou potenciais são relevantes sob o ponto de vista de proteção radiológica.

Área controlada – área sujeita a regras especiais de proteção radiológica e segurança, com finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais.

Área livre – qualquer área que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada.

Área restrita – área sujeita a regras especiais de segurança na qual as condições de exposição podem ocasionar doses equivalentes efetivas anuais superiores a 1/50 (dois centésimos) do limite primário para trabalhadores.

Área supervisionada - área para a qual as condições de *exposição ocupacional são* mantidas sob supervisão, mesmo que medidas de proteção e segurança específicas não sejam normalmente necessárias.

Atividade (de uma quantidade de radionuclídeo em um determinado estado de energia em um instante de tempo) – grandeza definida por A = dN/dt, onde dn é o valor esperado do número de transições nucleares espontâneas daquele estado de energia no intervalo de tempo dt. A unidade do sistema internacional é o recíproco do segundo (s^{-1}), denominada becquerel (Bq).

Carga de trabalho – nível de utilização de um equipamento de raios X ou fonte de radiação gama.

Calibração – conjunto de operações destinadas a fazer com que as indicações de um instrumento correspondam a valores pré-estabelecidos das grandezas a medir.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Dose – dose absorvida, dose efetiva, dose equivalente ou dose comprometida, dependendo do contexto, conforme definido na norma CNEN (1 Gy = 1 J/kg).

Dosimetria – método de medição direta ou indireta, ou por cálculos, de grandezas radiológicas tais com dose absorvida, dose equivalente, kerma, exposição etc, e demais técnicas associadas.

Efeito determinístico – efeitos para os quais existe um limiar de dose absorvida necessária para sua ocorrência e cuja gravidade aumenta com o aumento da dose.

Empregador – pessoa física ou jurídica com responsabilidades e deveres reconhecidos com relação a seu empregado, estagiário, bolsista ou estudante, no seu trabalho ou treinamento, devido a um contrato ou outro acordo formal. Um autônomo é considerado empregador e empregado.

Exposição – ato ou condição de estar submetido à radiação ionizante.

Fator de ocupação – fator que multiplicado pela carga de trabalho fornece o nível de ocupação de uma dada área quando fontes de radiação estão em condições de irradiação.

Fator de uso – fração da carga de trabalho durante a qual o feixe útil de radiação está direcionado para um determinado alvo.

Fonte de Radiação (ou simplesmente **Fonte**) – aparelho ou material que emite ou é capaz de emitir radiação ionizante.

Fonte radioativa selada (ou simplesmente **Fonte**) – material radioativo hermeticamente encapsulado de modo a evitar vazamentos e contato com referido material, sob condições de aplicação específicas.

Indivíduo do público – qualquer membro da população quando não submetido à exposição ocupacional ou exposição médica.

Instalação – estabelecimento ou parte de um estabelecimento ou local destinado à realização de uma prática. A instalação pode ser classificada com instalação nuclear ou instalação radioativa.

Instalação radioativa – estabelecimento ou instalação onde se produzem, utilizam, transportam ou armazenam fontes de radiação.

Intervenção – toda ação adotada com o objetivo de reduzir ou evitar a exposição ou a probabilidade de exposição a fontes que não façam parte de uma prática controlada, ou que estejam fora de controle em conseqüência de um acidente, terrorismo ou sabotagem.

IOE (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto) – indivíduo sujeito à exposição ocupacional à radiação ionizante.

Medidor de Radiação – Instrumento de medição de grandezas associadas à radiação ionizante.

Monitor de Radiação – medidor de radiação que também possui a função de fornecer sinais de alerta ou alarme em condições específicas.

Monitoração Individual – monitoração de pessoas por meio de dosímetros individuais colocados sobre o corpo.

Monitoração – medição de grandezas e parâmetros para fins de controle ou avaliação da exposição à radiação, incluindo a interpretação dos resultados.

Plano de Radioproteção – documento que estabelece o sistema de radioproteção a ser implantado pelo Serviço de Radioproteção.

Proteção Radiológica ou Radioproteção – conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante.

Radiação ionizante ou Radiação – qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, ioniza seus átomos ou moléculas.

Radioterapia – aplicação médica da radiação ionizante para fins terapêuticos.

Serviço de Radioterapia (ou simplesmente **Serviço**) – instalação médica para a aplicação de Radioterapia em pacientes.

Símbolo internacional da radiação ionizante – símbolo utilizado internacionalmente para indicar a presença de radiação ionizante.

Situação de emergência – situação envolvendo exposição temporária de pessoas, em decorrência de acidente, terrorismo ou sabotagem, que implique em intervenção.

Supervisor de Proteção Radiológica ou Supervisor de Radioproteção – indivíduo com habilitação de qualificação emitida pela CNEN, no âmbito de sua atuação, formalmente designado pelo titular da instalação para assumir a condução das tarefas relativas às ações de proteção radiológica na instalação relativos àquela prática.

Teleterapia – Radioterapia com distância grande entre a fonte de radiação e o paciente, comparadas com as dimensões do tecido irradiado sob tratamento.

Titular – responsável legal pela instituição, estabelecimento ou instalação para a qual foi outorgado, pela CNEN, uma licença, autorização ou qualquer outro ato administrativo de natureza semelhante.

24 – Referências Bibliográficas – Plano de Radpioproteção

1. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Norma CNEN NE 3.02. Serviços de Radioproteção, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 1988.
2. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Norma CNEN NN 6.10. Requisitos de Segurança e Radioproteção para Serviços de Radioterapia, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 2014.
3. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Norma CNEN NE 6.02. Licenciamento de Instalações Radiativas, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 1998.
4. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). (2005). Norma-CNEN-NN-3.01:2011. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Resolução n°. 27 D.O.U. 06/01/2005; 114/2011 01/09/2011. Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br.
5. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Resolução n°. 130 de 31/05/2012 - D.O.U. 04/06/2012. Dispõe sobre os requisitos necessários para a segurança e a proteção radiológica em Serviços de Radioterapia. Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 2012.
6. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Norma-CNEN-NE-3.06. Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Radioterapia. Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 1990.
7. 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.
8. MINISTÉRIO DA SAÚDE – Instituto Nacional de Câncer (INCa). Programa de Qualidade em Radioterapia. Blindagem em Radioterapia- Técnicas e Normas. INCa. Rio de Janeiro. 2000.
9. ANVISA (Agencia 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.
10. Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Design and implementation of a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects – IAEA – Viena. 09/1998).
11. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. "Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities" NCRP Report nº 151. Bethesda, Maryland, 2005.
12. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. "Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities", NCRP Report Nº. 144. Bethesda, Maryland, 2003.

Responsável pela elaboração do Plano de Radioproteção:

Nome do Supervisor de Radioproteção: _____

_____

Assinatura do Supervisor de Radioproteção