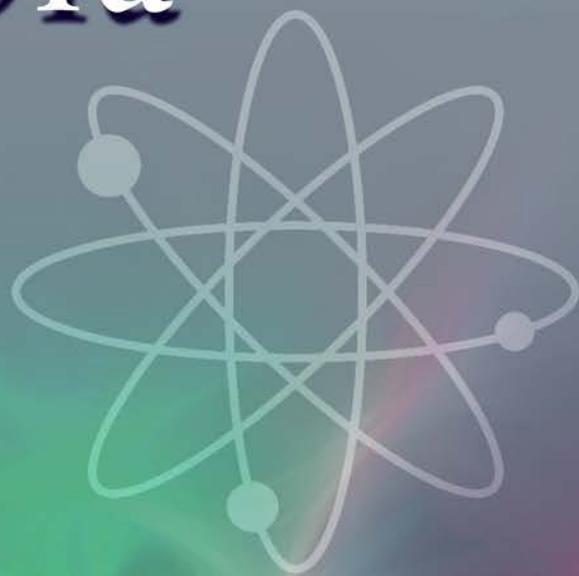


Proteção
RADIOLOÓGICA
no diagnóstico
e terapia





Patrícia Fernanda Dorow
Caroline de Medeiros (Org.)

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NO DIAGNÓSTICO E TERAPIA

1ª edição

Florianópolis – SC
2019



Reitora

Maria Clara Kaschny Schneider

Diretora do Campus Florianópolis

Andréa Martins Andujar

Chefe do Departamento Acadêmico de Saúde e Serviços

Eduardo Beck

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
– IFSC – CAMPUS FLORIANÓPOLIS
A. MAURO RAMOS N. 950, FLORIANÓPOLIS, SC.**

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

MESTRADO PROFISISONAL EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Reitoria:
Rua 14 de Julho, 150 – Coqueiros
Florianópolis- Santa Catarina
CEP: 88075-010
Telefone: (48) 3877-9000
www.ifsc.edu.br

Proibida a reprodução total ou parcial desta obra.

ISBN - 978-85-8464-137-6
FICHA CATALOGRÁFICA
catalogação na fonte pela Biblioteca do Instituto Federal de Santa Catarina.

Catálogo na fonte pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina - IFSC

P967 Proteção radiológica no diagnóstico e terapia [recurso eletrônico] /
Organizadoras: Patrícia Fernanda Dorow, Caroline de Medeiros. -
Florianópolis: Publicações do IFSC, 2019.
138 p. : il. color.

ISBN 978-85-8464-137-6.

1. Radiologia. 2. Radiologia - Legislação. 3. Radioterapia. 4.
Medicina nuclear. I. Dorow, Patrícia Fernanda. II. Medeiros, Caroline de.

CDD 616.0757

Elaborada pela Bibliotecária Renata Ivone Garcia – CRB-14/1417

Elaborado com a colaboração de profissionais da educação, profissionais de saúde, alunos do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia (IFSC) e alunos do Mestrado Profissional em Proteção Radiológica (IFSC).

Reitora do Instituto Federal de Santa Catarina

Maria Clara Kaschny Schineider

Pró-reitor de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação

Clodoaldo Machado

Organização

Patrícia Fernanda Dorow Caroline de Medeiros

Professores do Curso Superior de Radiologia (IFSC) e do Mestrado Profissional em Proteção

Radiológica (IFSC)

Patrícia Fernanda Dorow Caroline de Medeiros Tatiane Sabriela Cagol Camozzato Rita de Cássia Flôr Flávio Augusto Penna Soares Juliana Almeida Coelho de Melo Gerusa Ribeiro Laurete Medeiros Borges Matheus Brum Marques Savi Andrea Huhn Renata Piesch Ribeiro

Colaborador membro da Secretaria do Estado da Saúde e Professor de outras Instituições de Ensino

Andrea de Aguiar Kasper Cleiton Mesquita Martio Carolina Neis Machado

Alunos do Mestrado Profissional em Proteção Radiológica (IFSC) turma 2018 - autores

Ana Sabrina Alves Anderson Giacomo Ferraro Coutinho Caio Vinicius de Oliveira Caroline Salvador Charlene da Silva Franciele Cardoso de Vargas Jéssica Pasqueta José Gilmar Pereira Leticia Harumi Watanabe Nagashima Luiz Carlos Nascimento da Silva Marco Antônio Bertoncini Andrade Tatiane Mayla Domingos Prandi

Alunos do Curso Superior de Radiologia (IFSC) - autores

Andressa Marjory Mendes Caroline de Oliveira Alves Fábio Luiz Zanzi Heloisa Coelho da Silva Itamara Almeida Cardoso Maria Júlia da Silva Maria Luiza da Rosa de Ávila

Elaboração de imagens

Itamara Almeida Cardoso Caroline de Oliveira Alves Maria Júlia da Silva

Capa / Projeto gráfico / Diagramação / Fotografia

Alex Leonardo Guenther (www.alexguenther.com)

Revisão do texto

André Goeldner

Este projeto recebeu apoio com recursos financeiros do edital 2018_PROEX 01 da Pró-reitoria de extensão e relações externas do IFSC e do Câmpus Florianópolis. Reprodução total ou parcial dessa obra autorizada pelos organizadores e pela instituição para fins educativos e não comerciais.



SUMÁRIO



INTRODUÇÃO	9
1. TECNOLOGIAS ENVOLVENDO USO DE RADIAÇÃO	10
1.1 Tipo de Radiação	12
1.2. Diferentes fontes de radiação	18
1.3. Efeitos biológicos da radiação	20
1.4. Exposição e contaminação	23
1.5. Normas e limites de dose	25
1.6. Barreiras de proteção	28
2. LEGISLAÇÕES NA RADIOLOGIA	32
2.1. Padrão regulatório no Brasil, radiodiagnóstico médico	37
2.2. Padrão regulatório de competência da CNEN	38
2.3 Padrão regulatório de Santa Catarina	38
3. TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	41
3.1. Histórico	41
3.2. Princípios de Funcionamento	42
3.3. Evolução da tomografia computadorizada	43
3.4. Equipamento de tomografia computadorizada	45
3.5. Componentes da tomografia computadorizada	45
3.6. Qualidade da imagem	46
3.7. Reconstrução de Imagens	49
3.8. Exposição à radiação	50
3.9. Parâmetros de protocolo	51
3.10 Novas aplicações	52
4. RADIOTERAPIA	55
4.1. Câncer	57
4.2. Terapêutica Oncológica	58
4.3. Indicação para radioterapia	60
4.4. O que é radioterapia?	60
4.5. Diferenças entre os Tratamentos de Radioterapia e Quimioterapia	62
4.6 Processo radioterapêutico	64
4.7. Equipamentos utilizados em radioterapia	69
4.8. Garantia da qualidade	73
4.9 Efeitos colaterais da radioterapia	74
4.10. A descoberta das novas tecnologias	78
4.11. Novas tecnologias	80

5. MEDICINA NUCLEAR	85
5.1. Conceitos	86
5.2. Contaminação e irradiação	87
5.3. Radionuclídeos, fármacos e radiofármacos	88
5.4. Produção de radionuclídeos	89
5.5. Gerador de molibdênio e tecnécio	90
5.6. Cíclotron	91
5.7. Componentes do Cíclotron	92
5.8. Princípio de Funcionamento do Cíclotron	92
5.9. Equipamentos	92
5.10. Gama câmara	93
5.11 Equipamentos de tomografia por emissão de pósitrons	94
5.12 Equipamentos não formados de imagens	95
5.13 Geiger-Muller	95
5.14 Medidor de atividade	96
5.15 Indicações clínicas	97
5.16 Protocolo de cintilografia de perfusão miocárdica	99
5.17 Indicações clínicas	100
5.18 Contraindicações	101
5.19 Reações adversas e interações medicamentosas	101
5.20 Preparo do paciente	102
5.21 Biodistribuição	102
5.22 Artefatos	104
5.23 PET-CT	106
5.24 Terapia com radiofármacos	
6. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA (EPC)	110
7. SAÚDE DO TRABALHADOR E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA	119
7.1. Quanto ao uso do monitor individual	123
7.2. Quanto ao controle ocupacional, como devemos fazer?	125
8. GESTÃO DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM SERVIÇOS DE SAÚDE	129
8.1. Memorial descritivo	130
8.2. Princípios da proteção radiológica	132
8.3. Tecnologias para auxiliar na gestão da proteção radiológica	134

INTRODUÇÃO

A proteção radiológica objetiva proteger as pessoas dos efeitos biológicos decorrentes da exposição à radiação ionizante. Atualmente, grande parte do diagnóstico e acompanhamento de patologias é realizado por meio de tecnologias de imagem que utilizam radiação ionizante para obtenção da imagem anatômica, como radiografias e tomografias computadorizadas, por exemplo. Com o crescimento dos pedidos médicos para esses exames de imagem que usam a radiação ionizante para diagnóstico ou mesmo o tratamento radioterápico, o conhecimento sobre os efeitos indesejados decorrentes do seu uso se faz necessário, permitindo que medidas preventivas possam ser tomadas.

Os profissionais da saúde são responsáveis por suas ações e possuem alta consciência quanto à proteção dos pacientes, dos acompanhantes, dos colegas, bem como a si próprios em relação à aplicação das técnicas envolvendo o uso de radiação ionizante. Por isso, é importante seguir as recomendações de proteção radiológica, como o uso de blindagem nas áreas controladas e o uso de monitores de radiação, participando de treinamentos de segurança e educação continuada sobre proteção das radiações.

Além disso, a segurança dos profissionais da saúde, ocupacionalmente expostos à radiação ionizante, depende de ações dos serviços de saúde, na figura dos seus gestores, para implementar ações de proteção dos trabalhadores. Nesse sentido, é importante que todos os envolvidos no serviço conheçam as recomendações para proteção radiológica.

Por outro lado, a conscientização entre os profissionais da saúde em relação à importância da justificção de um procedimento, um conhecimento prático e uma avaliação de risco ainda é uma questão importante que merece maior atenção, considerando a fragilidade de informações dos mesmos sobre os efeitos da radiação, as constantes variações nos padrões práticos de radiologia diagnóstica e as novas tecnologias.

Diante do exposto, o objetivo deste material é reafirmar a importância da proteção radiológica para profissionais da saúde, bem como fomentar os conhecimentos, as atitudes e práticas de proteção radiológica que podem ser empregados para minimizar a exposição à radiação ionizante.

1. TECNOLOGIAS ENVOLVENDO USO DE RADIAÇÃO

Flávio Augusto Penna Soares
Patrícia Fernanda Dorow
Juliana Almeida Coelho de Melo
Andressa Marjory Mendes
Caroline de Oliveira Alves
Fábio Luiz Zanzi
Heloisa Coelho da Silva
Itamara Almeida Cardoso
Maria Luiza da Rosa de Ávila

A obtenção de imagem e o tratamento com radiação são tecnologias muito importantes na medicina moderna, quase indispensáveis hoje em dia. Por intermédio de imagens radiológicas é possível identificar informações importantes que irão auxiliar no processo de diagnóstico, tratamento e acompanhamento de diferentes patologias.

O aumento das aplicações das radiações ionizantes faz com que a preocupação com a exposição à radiação dos indivíduos ocupacionalmente expostos também se torne maior. Sendo assim, os melhores cuidados com a saúde dependem também do conhecimento das propriedades e do correto uso das radiações ionizantes.

Os princípios básicos da proteção radiológica englobam preceitos simples que garantem a segurança em áreas que empregam a radiação ionizante. Entre essas normas, podemos citar a justificção, otimização e limitação de dose para pacientes e indivíduos ocupacionalmente expostos. Cada solicitação de imagem médica que utiliza radiação ionizante deve justificar a exposição à radiação ionizante em relação aos benefícios do exame, ou seja, a possibilidade do diagnóstico.

A otimização inclui controle sistemático de qualidade, monitoramento da exposição individual e comprometimento com a qualidade nos serviços que utilizam as tecnologias radiológicas. Pesquisas indicam que mais de um terço de todos os exames radiológicos solicitados são total ou parcialmente desnecessários.

Para pessoas expostas a grandes doses de radiação ionizante, chamadas de doses agudas, as consequências biológicas tornam-se clinicamente observáveis e até previsíveis. Esses são casos principalmente de grandes acidentes ou erros no uso das radiações.

Os profissionais da saúde que trabalham em serviços de cuidados prolongados, como a internação para iodoterapia, por exemplo, são mais propensos a serem expostos a esses riscos. Porém, existem formas descomplicadas de monitorar a dose recebida e de se proteger. A educação e o treinamento são fundamentais para prevenir o uso ou a exposição excessiva da radiação e de materiais radioativos.



Que a radiação não pode ser vista, ouvida, cheirada ou tocada? Por isso, trabalhadores podem receber doses acima do limiar permitido e não saberem. Portanto, é muito importante que você faça uso do dosímetro e conheça as medidas de proteção radiológica.

Fontes artificiais de radiação são encontradas em grande número ao nosso redor e estão diretamente relacionadas ao estilo de vida moderno e ao emprego de tecnologia em grande escala. No entanto, sua contribuição para a radiação global recebida pela população é muito menor do que a das fontes naturais de radiação. As tecnologias médicas e nucleares, assim como alguns produtos de consumo, são as principais fontes de radiação produzidas artificialmente.

O uso da radiação na medicina está focado em propósitos diagnósticos, interventivos e terapêuticos, como radiologia diagnóstica, radioterapia e medicina nuclear. As imagens radiográficas são uma das ferramentas mais poderosas disponíveis aos médicos para diagnosticar doenças. A radiografia é uma ferramenta diagnóstica muito comum e pode ser usada para diversos tipos de exames, variando de uma simples radiografia de tórax ou mamografia à complexa fluoroscopia e tomografia computadorizada.

Em todo o mundo, realizam-se anualmente mais de 1 bilhão de exames radiográficos para uso no diagnóstico médico, a chamada radiologia convencional, que utiliza feixes de raios X para obter imagens bidimensionais do corpo. São exames práticos, simples e de custo acessível. Dependendo da tecnologia que utilizam, podem ser classificadas em convencional ou digital. Na primeira, são utilizados filmes radiográficos que, posteriormente, serão processados com o uso de químicos específicos. Na segunda tecnologia, mais moderna, uma placa sensível captura os raios X, converte a informação em sinal digital e envia para um computador que monta a imagem digitalizada.

A quantidade de radiação associada a esses procedimentos varia consideravelmente e é altamente dependente da tecnologia utilizada. Procedimentos de baixa dose incluem radiografias de tórax e procedimentos de altas doses incluem procedimentos fluoroscópicos e intervencionistas, bem como tomografia computadorizada e medicina nuclear. A radioterapia geralmente possui as radiações de mais alta dose por ser um tratamento de longo prazo.

1.1 Tipos de Radiação

A radiação é uma forma de energia em trânsito, emitida por uma fonte e se propaga em qualquer meio, sob forma de partícula com ou sem carga, ou ainda sob a forma de onda eletromagnética. A produção da radiação pode ocorrer devido a processos de adequação de energia que ocorrem no núcleo ou nas camadas eletrônicas dos átomos, ou mesmo devido à interação de outras radiações ou partículas diretamente com o núcleo ou com o átomo. O termo “radiação” pode ser caracterizado como espalhamento de ondas eletromagnéticas, as quais são formadas por campos elétricos e magnéticos, inclui-se nesse campo a luz visível, ondas de rádio, raios ultravioletas, raios X e raios gama. O termo também é muito usado para emissão de partículas.

O espectro eletromagnético apresenta o conjunto de radiações que são classificadas de acordo com sua frequência ou o comprimento de onda. Ondas eletromagnéticas e feixes de partículas sem carga têm a probabilidade de atravessarem um material sem sofrerem interação com o meio, ou seja, não há perda de energia. Já um feixe com partículas carregadas, estas, ao colidirem com um material, perdem gradativamente sua energia.

Assim, as radiações podem ser do tipo ionizante e não ionizante, conforme demonstrado na Figura 01.

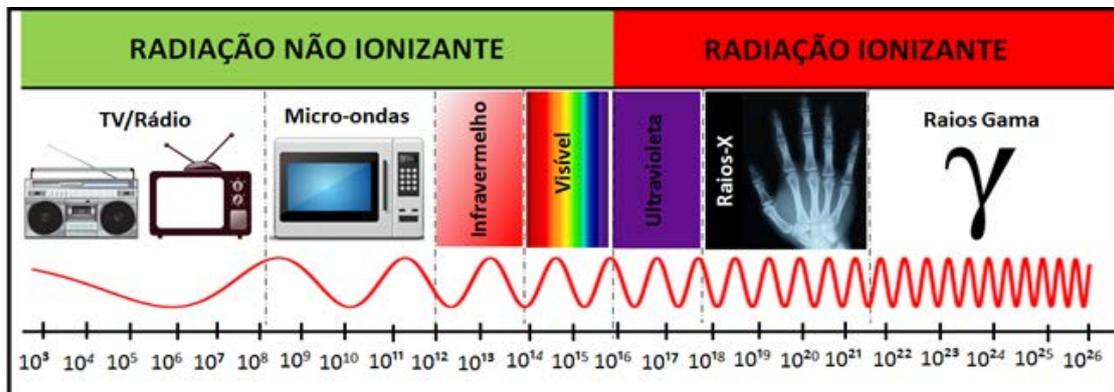


Figura 01 – Espectro eletromagnético.
Fonte: Adaptado de (OKUNO, 2013).

As radiações ionizantes são aquelas em que há transferência de energia e liberação de elétrons do meio e normalmente é dividida em:

- a) radiação corpuscular (radiação alfa e radiação beta) e;
- b) radiação eletromagnética (raios gama e raios X).

Radiações ionizantes, por outro lado, “não podem ser vistas, ouvidas, cheiradas ou tocadas”. Podem, no entanto, ser detectadas e medidas mesmo em quantidades mínimas com instrumentos muito simples, específicos para tal.

Recebe o nome de raios X a radiação eletromagnética de alta energia que tem sua origem na eletrosfera ou no freamento de partículas carregadas no campo eletromagnético do núcleo atômico.

A radiação corpuscular é constituída de um feixe de partículas energéticas, como elétrons, pósitrons, prótons, nêutrons, partículas alfas etc. Alguns desses feixes energéticos são produzidos em reatores nucleares e aceleradores de partículas. Uma fonte natural da radiação corpuscular é a radiação cósmica, que provém do espaço sideral.

A radioatividade descreve a desintegração dos átomos. Um átomo é distinguido pelo número de prótons em seu núcleo. Alguns elementos naturais são instáveis, portanto, seus núcleos se desintegram ou decaem, liberando energia na forma de radiação. Esse fenômeno físico é chamado radioatividade, enquanto os átomos radioativos são também chamados radionuclídeos. Algumas partículas, como alfa, elétrons e pósitrons são emitidas de forma espontânea por radionuclídeos. Essa busca por estabilidade é conhecida como o fenômeno de desintegração ou decaimento nuclear: após a emissão da energia, o radionuclídeo se transforma em outro elemento químico. O primeiro elemento que emite radiação é chamado de pai, e o segundo resultante, de filho. Se o elemento filho ainda não tiver alcançado a estabilidade energética, ele também irá se desintegrar, até transformar-se em um elemento estável. O decaimento nuclear de uma amostra obedece a uma redução exponencial com o tempo.

Os radionuclídeos decaem a uma taxa característica que permanece constante, independentemente das influências externas, como temperatura ou pressão. Não se sabe quando um núcleo específico irá se desintegrar, mas, se tiver uma amostra com um número grande de radionuclídeos, afirma-se que, após um intervalo de tempo chamado de meia-vida, metade dos núcleos atômicos terá se desintegrado.

O tempo que leva para metade dos radionuclídeos se desintegrar ou decair é chamado "meia-vida". Isso difere para cada radioisótopo, variando de frações de segundo a bilhões de anos. Por exemplo, a meia-vida do iodo¹³¹ é de 8 dias, mas para o urânio²³⁸, que está presente em quantidades variáveis em todo o mundo, é de 4,5 bilhões de anos. O potássio⁴⁰, a principal fonte de radioatividade em nossos corpos, tem uma meia-vida de 1,42 bilhão de anos.

Existe também a meia-vida biológica, que é o tempo necessário para que metade dos átomos ingeridos ou inalados seja eliminada biologicamente.

As radiações não ionizantes são utilizadas na ressonância magnética e no ultrassom, por exemplo. Possuem baixo nível de energia devido ao seu longo comprimento de onda e sua menor frequência. Os efeitos para a saúde da radiação não ionizante são insignificantes se comparados com os da radiação ionizante.

Ondas de rádio

Podemos considerar que "São as ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda entre 1 m e vários quilômetros (frequências menores do que 10⁸ Hz)" (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017, p. 20). Um exemplo mais conhecido é a transmissão de rádio e TV.

Micro-ondas

Segundo Carvalho e Oliveira (2017, p. 20) “São as ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 mm e 1 m (f entre 1012 kHz e 109 kHz) e podem ser produzidas por osciladores em circuitos elétricos”. Um exemplo mais conhecido é o forno de micro-ondas.

Radiação infravermelha ou ondas de calor

“É a radiação eletromagnética com comprimentos de onda maiores do que a da luz visível, de 0.7 μm a 1 mm, ou seja, frequências imediatamente inferiores às da luz vermelha (entre 1014 Hz e 1011 Hz). (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017, p. 20). Em geral, a radiação infravermelha é gerada por vibrações de átomos ou moléculas, e ao interagir com a matéria causam mudança na energia interna do objeto que a recebe, e por isso é chamada de radiação de calor. Exemplo: os controles remotos que são responsáveis por enviarem a informação ao seu receptor que está na TV utilizando a radiação infravermelha.

Luz visível

São ondas eletromagnéticas visíveis ao olho humano, segundo Carvalho e Oliveira (2017, p. 21) “possuem frequência de $7 \cdot 10^{14}$ Hz a $4 \cdot 10^{14}$ Hz representados no espectro eletromagnético por cores que variam do vermelho ao violeta”.

Radiação ultravioleta

“As ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 nm e 400 nm, ou seja, com frequências imediatamente superiores à da luz violeta (entre 1015 Hz e 1017 Hz) são chamadas de radiação ultravioleta”. (CARVALHO E OLIVEIRA, 2017, p. 21).

VOCE SABIA?

A luz do sol é quente porque nosso corpo absorve os raios infravermelhos que ele contém. No entanto, raios infravermelhos não produzem ionização nos átomos dos tecidos. Em contraste, a radiação ionizante pode prejudicar o funcionamento normal das células ou até matá-las. A quantidade de energia necessária para causar efeitos biológicos significativos por ionização é tão pequena que nosso corpo não pode sentir essa energia, ao contrário do caso dos raios infravermelhos, que produzem queimaduras. A radiação ultravioleta também tem a capacidade de destruir bactérias e por essa razão é utilizada para a esterilização de instrumentos e ambientes cirúrgicos, sistemas de ar-condicionado, entre outros, por meio do uso de lâmpadas especiais.

Partículas alfa

A radiação alfa é um núcleo atômico formado por prótons e nêutrons, que se encontram fortemente ligados uns aos outros, mas foram expulsos de um átomo superpesado (Figura 02).

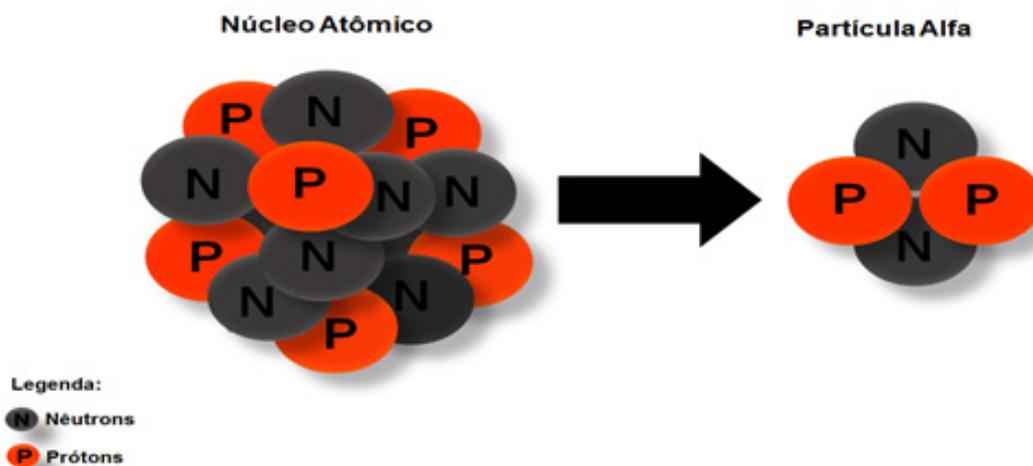


Figura 02 – Núcleo atômico e a emissão da partícula alfa.

Fonte: Adaptado de (MOURA, 2012).

O poder de penetração é muito baixo e pode ser interrompido por uma fina camada de papel ou pela fina camada superficial da pele (epiderme), (Figura 03). Estas partículas podem ser categorizadas como pouco ofensivas, se estivermos protegidos, no entanto, se os materiais emissores de partículas alfa forem absorvidos pelo corpo humano por meio da respiração, alimentação ou bebida, podem expor tecidos internos diretamente à radiação e isso pode vir a causar danos biológicos.

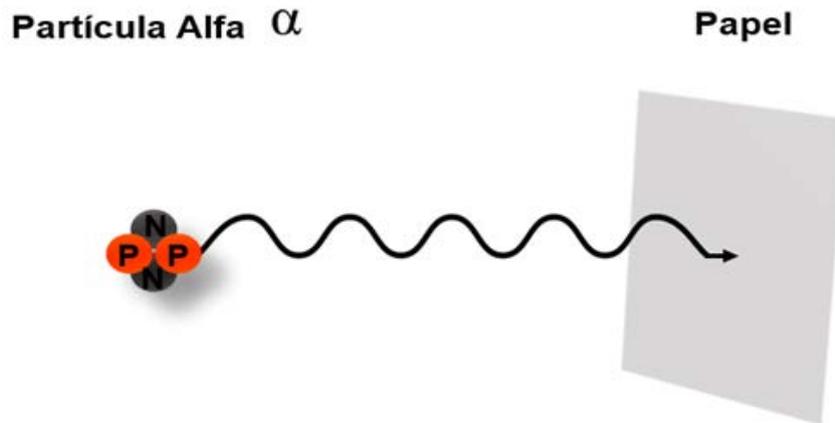


Figura 03 – Partícula alfa barrada em uma folha de papel.
Fonte: Adaptado de (MENDONÇA et al., 2013).

Partículas beta

Este processo ocorre quando elétrons de alta energia são emitidos por núcleos atômicos em que ocorre uma conversão nuclear de um próton em um nêutron, com surgimento de um elétron e um neutrino. O próton permanece no núcleo atômico, o neutrino e o elétron são projetados para fora, formando, assim, a radiação beta (Figura 04).

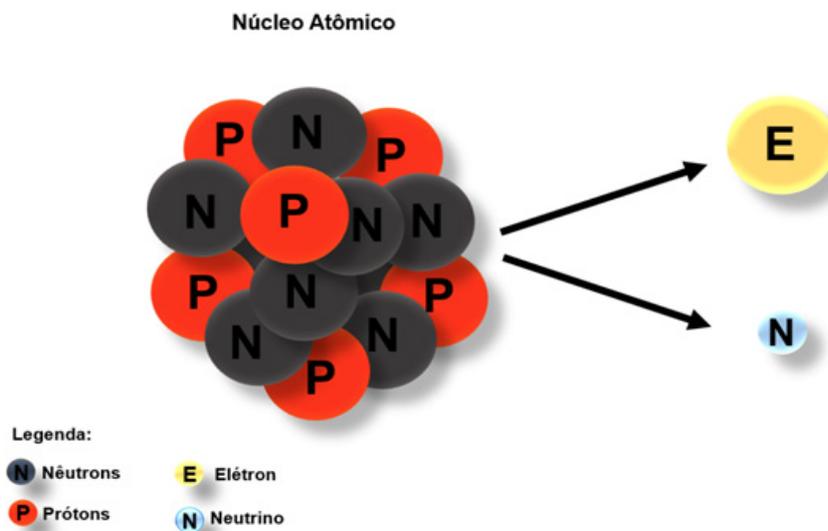


Figura 04 – Núcleo atômico e a emissão da partícula beta.
Fonte: Adaptado de (OKUNO; YOSHIMURA, 2016).

A carga dos elétrons, por ser negativa, faz deles mais penetrantes do que as partículas alfas e podem passar por vários centímetros de água. Em geral, alumínio com vários milímetros de espessura barra a radiação beta. Todavia, a pele ou uma roupa normal não protege da radiação beta, sendo essas partículas muito perigosas à saúde.

Nêutrons

As partículas nêutrons não têm carga, e por isso não produzem ionização diretamente. Seu poder de penetração é alto e só pode ser interrompido por espessas massas de concreto, chumbo, água ou parafina. Sua interação com átomos de matéria produz novas radiações alfa, beta, gama e raios X.

Raios gama

De acordo com Carvalho e Oliveira (2017, p. 19), "São as ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda menores do que 10 pm (f maiores que 1019 kHz)". Altamente penetrantes, atravessando facilmente o corpo humano, sendo barradas pelo concreto ou chumbo. Há probabilidade de causarem câncer, danos nos tecidos humanos ou alterações genéticas. Não possuem carga e nem massa (pois não envolvem nenhuma partícula).

Raios X

São produzidos quando os elétrons, acelerados por alta tensão, são lançados contra um meio material, perdendo e transferindo energia para o meio. Portanto, para emitir os raios X é necessário um fenômeno elétrico, pois resulta da interação entre o elétron em movimento e o átomo de um material.

Segundo Carvalho e Oliveira (2016) possui comprimento de onda entre 0,01 nm e 10 nm e frequência entre 1016 Hz e 1019 Hz e são utilizados em diagnósticos médicos e na odontologia, pela facilidade de penetração no tecido humano. A radiação no aparelho de raios X é acionada por um botão, que libera a radiação ionizante, e ao parar o acionamento a liberação da radiação é imediatamente desativada. Então, sem o acionamento do botão o aparelho de raios X não emite nenhuma radiação, e muito menos torna o indivíduo radioativo, pois não ocorre contaminação. Este tipo de radiação pode ser barrada por chumbo ou concreto (Figura 5).

VOCE SABIA?

O aparelho de raios X só emite radiação quando acionado o botão de disparo, que libera a radiação ionizante. Após parar o acionamento do botão, a liberação de radiação é imediatamente desativada. Então, sem o acionamento do botão o aparelho de raios X não emite nenhuma radiação, e muito menos torna o indivíduo radioativo, pois não ocorre contaminação.

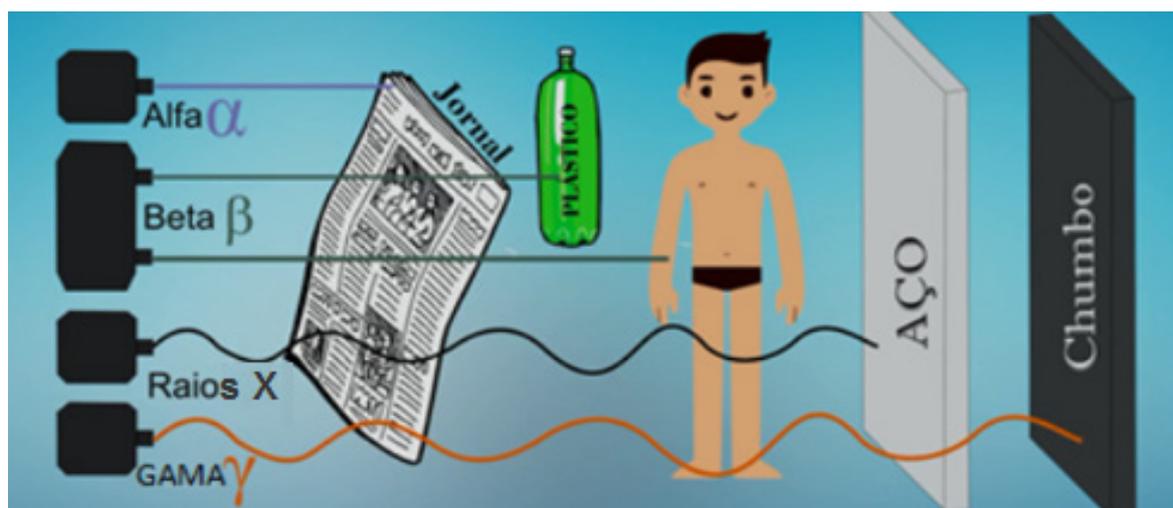


Figura 05 – Poder de penetração das radiações.
Fonte: Adaptada de Cardoso (2012).

1.2. Diferentes fontes de radiação

Fontes de radiação

Exposições humanas à radiação vêm de fontes naturais e artificiais. As doses totais recebidas de fontes naturais são referidas como radiação de fundo, enquanto as doses totais de fontes artificiais são chamadas de radiação artificial, as quais são responsáveis pelas exposições ocupacionais.

Fontes naturais de radiação

Algumas fontes emitem radiação espontaneamente. A radiação natural ocorre na natureza em elementos específicos que emitem, de seus núcleos, radiações alfa (α), beta (β) ou gama (γ).

A maior parte dos solos e das rochas contém urânio e tório (elementos radioativos), esses materiais também geram radionuclídeos filhos. Entre eles, o radônio e o xenônio, que são gasosos. Assim, ambientes construídos por materiais, como cerâmica, argamassa, concreto, gesso etc., disseminaram estes gases radioativos no ambiente, de forma que tanto o homem e os animais respiram os gases e aerossóis radioativos.

Fontes artificiais de radiação

Entre as fontes artificiais de radiação, as mais importantes estão os equipamentos de diagnóstico e terapia empregados na área médica. No Brasil há mais de 595 instalações destinadas à radioterapia (225) e medicina nuclear (370). Para diagnóstico, temos os equipamentos radiográficos que geram internamente um fluxo de elétrons com o objetivo de criar um feixe de raios X para a obtenção da imagem. São elementos principais de um equipamento radiográfico: tubo de raios X, painel de controle e gerador de alta tensão.

Mas como é possível gerar radiação?

Os geradores podem utilizar a eletricidade, como no caso dos tubos de raios X e dos aceleradores de partículas, e outros utilizam radioisótopos, exemplos desses são os irradiadores e as fontes de nêutrons.

Fontes de radiação seladas

A fonte selada pode ser conceituada como um material radioativo dentro de um encapsulamento feito de material de blindagem, que tem como finalidade impedir um possível contato direto com o material contido em seu interior. Embora atenua a radiação, essa embalagem não tem o objetivo de impossibilitar que haja a emissão de radiação. Há diversos modelos e materiais de invólucros para essas fontes seladas.

Na braquiterapia, uma modalidade de tratamento da radioterapia, esse tipo de fonte é bastante utilizado. Na medicina nuclear, o uso deste tipo de fonte já é mais restrito à calibração dos equipamentos.

Fontes de radiação não seladas

A fonte não selada pode ser conceituada como um material radioativo que não está dentro de um invólucro que evite o contato com a mesma. Portanto, é possível entrar em contato com o material radioativo, e inclusive administrá-lo em seres vivos. A principal aplicação para as fontes não seladas é a medicina nuclear, em que os materiais são diluídos, agregados a fármacos e administrados nos pacientes. O radionuclídeo mais utilizado na medicina nuclear é o Tc99m, que é administrado por via intravenosa e se espalha pelo organismo, emitindo radiação.

Pode-se conceituar ainda que os materiais radioativos, também denominados simplesmente fontes, podem ser encontradas na medicina em dois tipos: as seladas e as não seladas.

1.3. Efeitos biológicos da radiação

O termo radiação evoca respostas emocionais entre indivíduos leigos, bem como entre profissionais, particularmente, quando as exposições ocorrem durante determinados momentos ou situações, como gravidez e infância. Então, o comportamento das pessoas pode variar de completa indiferença à radiação e desconsideração de medidas cautelares até o medo irreal de qualquer associação com a radiação. O professor Jaworowski (1998), presidente do Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica (UNSCEAR), observou que a fobia nuclear e a radiofobia foram expressões dominantes na segunda metade do século XX, particularmente após os acidentes na Usina de Three Mile Island e em Chernobyl. Esses termos foram usados para descrever o estado de ansiedade em torno da exposição à radiação.

A UNSCEAR (Figura 06) publicou os níveis de exposições mundiais do homem devido à radiação natural e irradiação médica nos anos de 1982 e de 2008, e assim a Proteção Radiológica torna-se perceptível no contexto da evolução das práticas médicas. Percebe-se que a radiação natural aumentou ao longo dos anos e outras diminuíram.

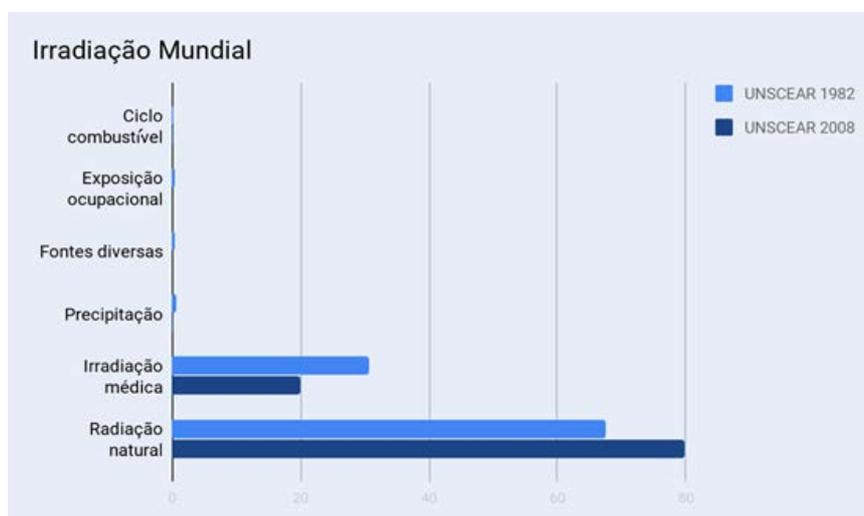


Figura 06 – Exposição do Homem à Radiação Ionizante.
Fonte: Adaptado de (OKUNO, 2013).

Sendo assim, as atividades de proteção radiológica são pensadas para minimizar a exposição à radiação tanto dos pacientes quanto dos profissionais da saúde.

Quando a radiação ionizante é empregada na medicina para fins diagnósticos e terapêuticos, é inevitável que a equipe médica seja exposta desavisadamente em algum grau. Isso ocorria principalmente quando os equipamentos eram menos sofisticados e a proteção radiológica, menos rigorosa.

A primeira evidência convincente de um maior risco de câncer após a exposição à radiação foi o aparecimento de muitos casos de leucemia entre os primeiros médicos radiologistas (1898). Entretanto, os efeitos de altas doses de radiação hoje são bem conhecidos. O primeiro efeito biológico registrado decorrente da radiação foi observado por Becquerel, que deixou acidentalmente um recipiente de rádio no bolso de seu colete, o que lhe causou um eritema cutâneo e, conseqüentemente, uma úlcera (1895).

Alguns anos após a aplicação diagnóstica das radiografias, carcinomas de pele, leucemia, dermatite, catarata e outros efeitos adversos à saúde foram observados em pacientes, médicos e na equipe envolvida nos procedimentos com o uso da radiação. Assim, surgiram as primeiras recomendações, oriundas da necessidade de proteger os pacientes e profissionais da saúde contra a radiação ionizante.

Esses eventos revelaram que, embora alguns efeitos decorrentes da exposição à radiação não apareçam imediatamente, a menos que uma grande dose seja absorvida, outros efeitos, especialmente os cânceres, são detectáveis e ocorrem mais frequentemente naqueles que recebem doses moderadas. Em doses mais baixas, há um grau de recuperação das células e dos tecidos, o que pode evitar um dano mais grave.

Os efeitos da radiação são altamente dependentes da quantidade de energia transferida, do tempo de exposição e do tipo de exposição. Independentemente da fonte de radiação, seja ela natural ou artificial, e da quantidade da dose (pequena ou grande), sabe-se que existe probabilidade de ocorrerem efeitos biológicos. Os efeitos que a radiação possui sobre os seres humanos estão inter-relacionados e procedem do nível mais baixo ao mais alto.

A radiação ionizante, por definição, causa a ionização dos átomos, o que afeta as moléculas e pode prejudicar células, tecidos e órgãos, bem como todo o corpo. Assim, todo dano biológico começa como consequência de interações de radiação nos átomos que compõem as células.

Os efeitos da radiação em todo o corpo dependem da região do corpo que foi exposta (cristalino, tórax etc.), da sensibilidade das células expostas e, claro, das doses administradas. As células com maior atividade metabólica são as mais sensíveis à radiação, pois sofrem rápida divisão.



Tecidos e órgãos jovens são mais radiossensíveis do que os tecidos e órgãos mais velhos. Então, um feto é mais radiossensível do que uma criança, e uma criança é mais radiossensível do que um adulto.

Dessa forma, quantidades modestas de radiação em um feto podem ter consequências catastróficas, como: fenda palatina, obstrução dos membros e cérebro anormalmente desenvolvido.

As manifestações biológicas da superexposição são divididas em efeitos agudos (determinísticos), efeitos secundários ou tardios (estocásticos), incluindo efeitos somáticos ou efeitos genéticos.

O efeito estocástico, característico das exposições ocupacionais à radiação, é independente da dose absorvida, não havendo um limite pré-fixado. A primeira evidência sólida dos efeitos estocásticos da irradiação veio de um estudo de exposição ocupacional de radiografias médicas, relatado em 1944, que demonstrou um grande excesso de risco de leucemia entre os radiologistas norte-americanos. Contudo, a falta geral de registros de dose para a equipe médica inicial que, ao experimentar as exposições mais altas, dificultava a derivação dos riscos por dose unitária recebida pelos trabalhadores médicos. Embora doses ocorridas em níveis baixos de exposição possam ser medidas ou avaliadas com confiabilidade razoável, os efeitos à saúde não foram demonstrados de forma confiável em tais níveis.

O sistema de proteção radiológica para os níveis baixos e prolongados de exposição à radiação ionizante que são geralmente experimentados ocupacionalmente é baseado em estimativas de risco que assumem que o único efeito somático resultante de tal exposição é o câncer. Isso destaca a importância da proteção radiológica e o uso de equipamentos de proteção para órgãos radiossensíveis.

Os efeitos da radiação aguda incluem alterações nos glóbulos brancos, vômitos e depressão da medula óssea. Essas manifestações ocorrem quando uma dose de radiação excede 0,25 Gy. Se a pessoa sobrevive aos efeitos agudos da exposição à radiação, efeitos secundários – como ulceração da pele ou supressão das secreções do hormônio tireoidiano, destruição do tecido brônquico e vascular normal – são observados.

Se um indivíduo passar por uma situação crítica de efeitos agudos e secundários, ainda poderá desenvolver efeitos somáticos e genéticos tardios. Estes últimos são vistos na forma de doenças, como a leucemia. Efeitos genéticos tardios

manifestam-se na próxima geração do indivíduo, por causa da alteração dos gametas.

No entanto, as pessoas se recuperam de lesões por radiação. A existência de um mecanismo de reparo para mamíferos é óbvia na medida em que eles se recuperam dos sintomas da síndrome de radiação aguda. Como regra geral, aproximadamente 90% das lesões causadas pela radiação ionizante são reparadas, deixando um resíduo de 10% de danos irreparáveis acumulados.

1.4. Exposição e contaminação

A exposição à radiação de um objeto ou corpo pode ocorrer pela contaminação e pela irradiação. Para melhor entendimento, é necessário conceituar essas terminologias (Figura 07):

- **Contaminação**, sendo ela radioativa ou não, caracteriza-se pelo contato com uma substância ou um material em determinado local onde não deveria estar.

- **Irradiação** é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação sem que haja contato direto com a fonte de radiação, neste caso a fonte se encontra distanciada do objeto ou do corpo.

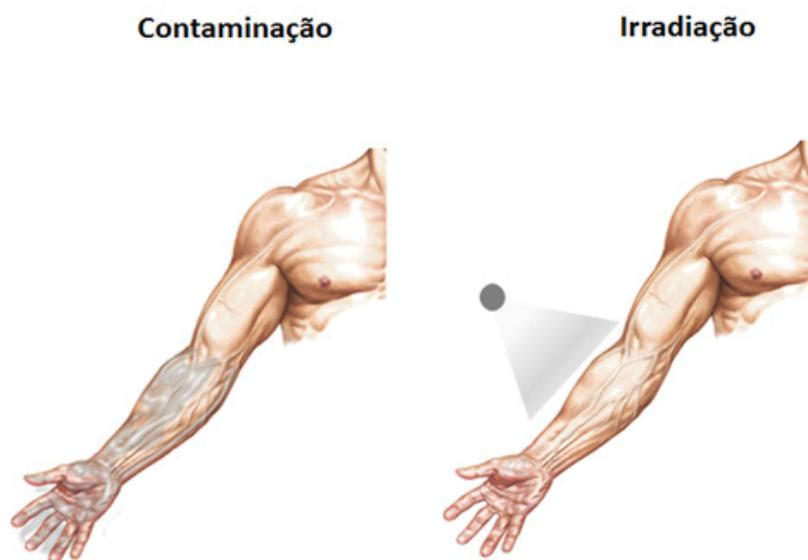


Figura 07 – Diferenças entre contaminação e irradiação.
Fonte: Adaptada de Cardoso (2012).

Ao irradiar um objeto, não significa que estamos contaminando-o, ou seja, não estamos tornando-o radioativo ou portador de radiação. Por tanto, após o término da exposição à radiação, podemos tocá-lo ou manuseá-lo normalmente. Porém, devemos tomar cuidado, pois um corpo ao ser irradiado estará sofrendo os efeitos causados pela radiação enquanto ele estiver exposto a uma fonte. No nosso dia-a-dia, podemos observar a irradiação na área médica, na aplicação de exames, como radiografias, mamografia, densitometria óssea, tomografia computadorizada, entre outros. Também materiais industriais são irradiados para melhorar suas características ou então para esterilização.

Entretanto, apesar da irradiação não contaminar, o contrário não é verdadeiro. Contaminar com material radioativo, no entanto, implica em depositar o material e irradiar o local, os objetos e as pessoas onde esse material se encontra. A contaminação pode ser classificada como externa e interna. A externa se caracteriza pela fonte de radiação estar em contato com a superfície do corpo, como, por exemplo: roupas, cabelos e pele. A contaminação interna ocorre quando há incorporação da fonte por ingestão, inalação ou lesões de pele que permitam a entrada (absorção) do material radioativo pela corrente sanguínea, por exemplo.

Ao ser contaminado, o objeto ou corpo pode contaminar outros pelo contato com a superfície contaminada ou por simples irradiação dos que estão próximos. Portanto, é necessário a descontaminação radioativa, que consiste em retirar o contaminante (material radioativo indesejável) de onde este se localiza. A partir do momento da remoção do contaminante radioativo, não há mais exposição no local. E o material usado para limpeza se torna radioativo (contaminado) e deve ser corretamente descartado.



A irradiação por fontes de césio-137, cobalto-60 e similares (emissores alfa, beta e gama), usadas na medicina e na indústria, não torna os objetos ou o corpo humano radioativo.

Em 1987, ocorreu um acidente radiológico envolvendo contaminação e irradiação devido à violação de uma fonte de césio-137 removida de uma unidade de teleterapia desativada na cidade de Goiânia, no Estado de Goiás. Houve exposição e contaminação de várias pessoas neste acidente.

1.5. Normas e limites de dose

Muitos trabalhadores são expostos às radiações artificiais por causa da natureza de seus trabalhos. As exposições ocupacionais hoje são geralmente muito menores do que no passado. Profissionais da área da saúde, principalmente radiologistas, técnicos e tecnólogos em radiologia, enfermeiros, médicos, físicos médicos e outros membros da equipe de saúde constituem um grande segmento de indivíduos ocupacionalmente expostos, pois recebem doses ocupacionais, ou seja, recebem doses relacionadas à natureza do seu trabalho.

Para prevenir doses muito próximas do tolerado, as agências reguladoras reforçam os limites de dose de radiação. Os limites do público e dos indivíduos ocupacionalmente expostos são estabelecidos suficientemente baixos para impedir ou limitar os efeitos radiobiológicos aleatórios (estocásticos) em indivíduos expostos. A ideologia de um exame ou terapia tão baixo quanto razoavelmente exequível (ALARA = As low as reasonably achievable) e as otimizações de risco são aplicadas dentro da faixa de exposições ocupacionais permitidas. Para doses abaixo dos limites regulamentados, apenas efeitos estocásticos para a saúde podem ser esperados. No Quadro 01 é possível observar os limites de doses estabelecidos, comparando os limites dos indivíduos ocupacionalmente expostos com o público.

Grandeza	Órgão	IOE	Público
Dose Efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv*	1 mSv
Dose Equivalente	Cristalino	20 mSv**	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e Pés	500 mSv	--

Quadro 01 – Limites de doses.

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 1998).

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

Os efeitos são quantificados em termos de sua probabilidade dentro de uma população de pessoas com exposição similar (por exemplo, frequência de cânceres fatais por milhão de pessoas expostas a uma dose unitária). Este é um princípio de segurança de radiação, com o objetivo de minimizar as doses a pacientes e trabalhadores e os lançamentos de resíduos de materiais radioativos empregando todos os métodos razoáveis. O princípio ALARA orienta todas as etapas do uso médico que envolvem radiação, os projetos de instalações dos equipamentos de irradiação e os procedimentos de proteção.

Os três princípios fundamentais para auxiliar na manutenção de doses ALARA são demonstrados na Figura 08: tempo, distância e blindagem.



Figura 08 – Princípios básicos da proteção radiológica.

Fonte: Adaptado de CNEN-NN-3.01

- 1. Tempo** – minimizando o tempo de exposição direta, reduz-se a dose total de radiação.
- 2. Distância** – dobrando a distância entre o corpo e a fonte de radiação, a exposição à radiação será dividida por quatro.
- 3. Blindagem** – materiais de absorção para as partículas alfa e beta; e chumbo para raios X e gama são uma forma eficaz de reduzir a exposição à radiação.

Atualmente, a aplicação do princípio ALARA é motivada pelo desejo de limitar a probabilidade de lesão por radiação em um grau que seja socialmente aceitável e equilibrado de forma igualitária entre o benefício do uso de radiação e o custo da medida de proteção.



Historicamente, os esforços formalizados de gerenciamento de dose de radiação datam do Projeto Manhattan, quando os efeitos biológicos da radiação ionizante eram menos compreendidos. No início dos anos 1940, o sucesso do projeto era uma prioridade de defesa nacional e as doses de radiação dos cientistas eram consideradas social e economicamente justificáveis em apoio ao esforço de guerra.

Unidades de Medida de Radiação

A exposição à radiação é descrita em grandezas especialmente definidas. Existem três formas de definir a quantidade de radiação:

- 1) exposição;
- 2) dose (quantidades de radiação) e;
- 3) risco para os pacientes.

Há diferentes unidades, como: roentgen, gray, sievert e coulombs por quilograma que são usadas para representar a dose de radiação. Elas estão inter-relacionadas por meio de constantes e são frequentemente usadas de forma intercambiável. Cada uma é usada para definir uma dimensão específica de radiação, como o roentgen, para exposição; o RAD, para dose absorvida; e o REM, para dose equivalente e dose efetiva.

Dose efetiva é uma quantidade dosimétrica ajustada ao risco no uso e controle de exposições de todas as fontes de radiação. No entanto, também é comumente usada como uma medida de risco estocástico, particularmente em aplicações médicas. Embora as doses possam ser medidas ou avaliadas com razoável confiabilidade até níveis muito baixos, o risco associado é cada vez mais incerto na medida em que os valores de doses diminuem.

IMPORTANTE

Meia-vida é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial.

Historicamente, quantidades de material radioativo foram medidas usando o curie (Ci), que consiste em uma unidade de atividade de radionuclídeos. O nome surgiu em homenagem a Madame Curie, por sua descoberta do isótopo de urânio. Representa o número de transformações nucleares ou desintegração por unidade de tempo. O curie é definido, para qualquer radionuclídeo, como a quantidade de radionuclídeo que está se desintegrando a uma taxa de 37 bilhões de desintegração por segundo ($3,7 \times 10^{10}$). Esse é o valor esperado de desintegrações por segundo de 1 g de ^{226}Ra .

Essa unidade foi mais tarde substituída pela unidade derivada do Sistema Internacional de Unidades, o becquerel (Bq), que equivale a uma desintegração por segundo. Existem diferentes unidades para medir as radiações ionizantes e fontes radioativas (Figura 09).

Grandeza	Definição	Unidade - Sistema Internacional
EXPOSIÇÃO	Mede a quantidade de ionização produzida em uma certa massa de ar.	Roentgen (R)
DOSE ABSORVIDA	Mede a quantidade de energia depositada por unidade de massa.	Gray (Gy)
DOSE EQUIVALENTE	Quantidade de energia transferida para um absorvente (tecido biológico) dependendo do tipo de energia; leva em conta o efeito causado no tecido por cada tipo de radiação.	Sievert (Sv)
DOSE EFETIVA	Avaliação da exposição e dos efeitos adversos para a saúde do indivíduo de acordo com a dose equivalente nos diversos órgãos.	Sievert (Sv)

Figura 09 – Grandezas dosimétricas.
Fonte: Adaptado de (SOARES et al., 2011).

1.6. Barreiras de proteção

De acordo com a Portaria 453 de 1998 do Ministério da Saúde, podemos conceituar barreiras como “Blindagem - Barreira protetora. Material ou dispositivo interposto entre uma fonte de radiação e seres humanos ou meio ambiente com o propósito de segurança e proteção radiológica.”

Sendo assim, a estrutura física de uma sala de exames deve ser planejada com as barreiras necessárias, as quais devem ser calculadas adequadamente para evitar a passagem da radiação. A espessura dessas blindagens é calculada por meio de fórmulas matemáticas, conforme modelos internacionais. A Figura 10 demonstra como devem ser planejadas as blindagens.

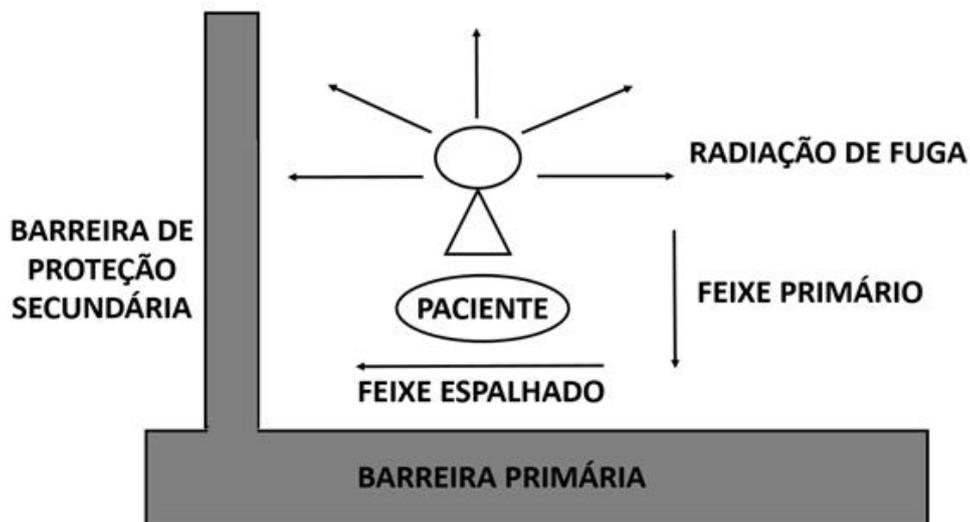


Figura 10 – Planejamento de blindagens
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A barreira primária serve para atenuar o feixe primário da radiação, em geral com maior espessura, podendo ser utilizado revestimento de massa baritada entre 1 e 2 cm para as paredes e de 0,5 mm a 2,00 mm de chumbo para portas e batentes. Já para as barreiras secundárias, em que não há radiação direta do feixe, esta barreira pode ser menor. Devemos, ainda, levar em consideração para o cálculo destas blindagens, os níveis de radiação recomendados na legislação vigente, que é de 5 mSv/ano em áreas controladas e de 0,5 mSv/ano em áreas livres. Algumas barreiras adicionais são utilizadas nas salas de exame como, por exemplo, biombos plumbíferos, nos quais os operadores ficam protegidos das radiações secundárias, vidros plumbíferos, em salas de mamografia e ainda salas de comando separadas e blindadas, como as de tomografia e radioterapia.

Já para exames em que o feixe possui baixas energias e a colimação é bem fechada em torno destes o uso de blindagem não se faz necessário, como, por exemplo, em exames odontológicos ou de densitometria óssea. Após a execução destas blindagens, testes de dosimetria devem ser realizados para verificação da integridade da blindagem, bem como testes periódicos de acordo com a legislação.



A argamassa baritada (barita) é fornecida pronta para utilização, bastando adicionar água e aplicar sobre paredes de tijolo, de gesso ou concreto celular e, após aplicação, pode-se fazer uso de qualquer tipo de acabamento: pintura, azulejo, gesso, texturas, laminados melamínicos (tipo fórmica), cortiça, vidro etc., ou seja, ela não restringe o uso de qualquer tipo de acabamento.

Referências



- BAVEYE, Philippe; LABA, Magdeline. Aggregation and toxicology of titanium dioxide nanoparticles. *Environmental Health Perspectives*, v. 116, n. 4, p. A152-A152, 2008.
- BIRAL, Antônio Renato. Radiações ionizantes para médicos, físicos e leigos. In: Radiações ionizantes para médicos, físicos e leigos. 2002.
- BRASIL; Ministério da saúde e secretaria de vigilância sanitária. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico: Portaria nº 453. 1998.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Radioproteção. CNEN-NN-3.01 – Diretrizes básicas de proteção radiológica. [acessado em 25 de outubro de 2018]. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=301>
- BUSHONG, S. C. Ciência Radiológica para Tecnólogos: Física. Biologia e Proteção, 2010.
- CARDOSO, Eliezer de Moura. Apostila educativa Energia Nuclear e suas aplicações. Comissão Nacional de Energia Nuclear. 3º edição, 2012.
- CARVALHO, Regina Pinto de; OLIVEIRA, Silvia Maria Velasques. Aplicações da Energia Nuclear na Saúde. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - Sbpcc, 2017. 86 p. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/Livros-e-Estudos/aplicacoes-da-energia-nuclear-na-saude.pdf>. Acesso em: 11 set. 2018.
- FERRARI, Mauro. Cancer nanotechnology: opportunities and challenges. *Nature reviews cancer*, v. 5, n. 3, p. 161, 2005.
- MENDONÇA, Bruno Brener; DOS SANTOS, Mislany Kênia Ferreira; DA SILVA, Izabel Cristina Rodrigues. Os eventos biológicos, especialmente os mecanismos epigenéticos, são alterados pela exposição do indivíduo a radiação ionizante. **Acta de Ciências e Saúde**, v. 1, n. 2, p. 50-67, 2013.
- OLIVEIRA, Silvia Maria Velasques de et al. Aplicações da energia nuclear na saúde. 2017.
- OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das radiações**. Oficina de Textos, 2016.
- OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de

Goiânia. **estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013.

PICANO, Eugenio. Sustainability of medical imaging. *BMJ: British Medical Journal*, v. 328, n. 7439, p. 578, 2004.

SCAFF, Luiz AM. **Física da radioterapia**. São Paulo: Sarvier, 1997.

SOARES, Flávio Augusto Penna; PEREIRA, Aline Garcia; FLÔR, Rita de Cássia. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. **Radiol Bras**, v. 44, n. 2, p. 97-103, 2011.

TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; PRINZIO, R. D.; PRINZIO, A. D. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. Rio de Janeiro: Ed. Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 2005.

TILLY JUNIOR, João Gilberto. Física Radiológica. Rio de Janeiro: Gênio, 2010. p. 263.

XAVIER, Allan Moreira et al. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. *Química Nova*, 2007.

2. LEGISLAÇÕES NA RADIOLOGIA

*Marco Antônio Bertoncini Andrade
Matheus Brum Marques Bianchi Savi*

A popularização dos raios X aconteceu de forma incrivelmente rápida logo após sua descoberta, em 1895. Essa rápida disseminação aconteceu em um período de uso irrestrito de radiações para diversas finalidades. Na área médica, a primeira radiografia realizada nos Estados Unidos da América foi feita em janeiro de 1896, para detecção de uma fratura de punho. Apenas 14 dias da comunicação de Röntgen, o dentista Friedrich Otto Walkhoff realizou a primeira radiografia odontológica. Em fevereiro de 1896 no Tennessee, Estados Unidos, os raios X foram utilizados para localizar um projétil de arma de fogo que se alojava na cabeça de um cadáver. Em abril do mesmo ano, os raios X já estavam sendo utilizados para visualização e posterior remoção cirúrgica de um cálculo renal em Glasgow, Escócia. Espanha, Itália, Rússia, França, Áustria e Inglaterra também realizaram suas primeiras radiografias meses depois da descoberta.

Você sabia? Em menos de dois anos da descoberta de Roentgen, em 1897, as autoridades da Bélgica já haviam sugerido que todos os hospitais deveriam ter pelo menos um aparelho de raios X.

Outros usos não médicos também foram evidenciados neste período. Inventores famosos (como Thomas Edison) já realizavam demonstrações públicas em Nova York, onde qualquer indivíduo podia visualizar seus ossos das mãos por meio de um equipamento de fluoroscopia. Em meados da década de 20, diversas sapatarias inglesas possuem o chamado "Pedoscope", aparelho de raios X destinado somente para verificar o calçamento adequado do calçado nos pés dos clientes. Ressalta-se aqui que os equipamentos de raios X utilizados nesta época raramente proporcionavam alguma proteção para paciente e operador, devido principalmente ao desconhecimento de como essa nova radiação recém-descoberta funcionava. Não era incomum que os operadores de raios X da época utilizassem a própria mão para focalizar o feixe de radiação.

O uso descontrolado, e as vezes injustificado, das radiações ionizantes proporcionou neste período inicial (1895 - 1915) as primeiras evidências de que a exposição humana aos raios X poderia trazer malefícios à saúde. Para se ter uma ideia, um dos primeiros casos de lesões associadas à exposição aos raios X aconteceu logo em 1896. Um trabalhador norte-americano de Chicago teve que amputar seu pé depois de realizar uma radiografia para avaliar seu tornozelo quebrado. As radiografias foram realizadas com exposições entre 35 e 40 minutos, levando inicialmente a uma lesão ulcerosa na pele, que posteriormente evoluiu e resultou na amputação da anatomia.



Ainda no final do século XIV, cientistas famosos, como Nicola Tesla e Thomas Edison, já reportavam casos de danos na pele, lesões oculares e perda de cabelo em seus empregados e colegas?

Apesar de observáveis, os cientistas da época tinham dificuldade para associar as lesões com os raios X. Especulava-se que essas lesões poderiam ser decorrentes de fenômenos elétricos das descargas de alta tensão do equipamento, de raios ultravioleta e até de possíveis contaminações pelos materiais da ampola de raios X. Não obstante, começou-se aí a considerar a radiação ionizante como uma potencial fonte de perigo.

Foi então que, em 1915, as associações profissionais, instituições e até mesmo autoridades governamentais passaram a fazer recomendações para mediar essa relação humana com esse potencial perigo recém-descoberto. Ainda em 1915, o Committee of X-ray Injuries ("Comitê das Lesões de Raios X"), da instituição britânica Roentgen Society publicou as primeiras recomendações para proteção dos operadores de raios X, indicando cautela no uso dos equipamentos. Essa recomendação foi o primeiro passo para a formação do conceito de proteção radiológica.

Porém, para quantificar esse perigo de alguma forma, era necessário que alguma unidade de medida fosse colocada em prática, principalmente para poder estabelecer limites de exposição. Então, a comunidade científica criou o SED, ou Skin Erythema Dose, que corresponde a uma exposição aos raios X que resulte em um eritema de pele, uma leve vermelhidão. Tal unidade, apesar de rudimentar, foi capaz de associar, pela primeira vez, uma quantidade de exposição a um dano biológico ocasionado pela radiação.

O primeiro limite de tolerância para exposição para trabalhadores foi instituído pelo American Roentgen Ray Society, e compreendia a 0,01 SED por mês. Outras organizações e alguns governos foram aderindo/adaptando suas recomendações. Em 1925, o governo italiano também oficializou esses níveis de tolerância para exposições ocupacionais em radioterapia. O Governo holandês instituiu um ano depois que a dose limite para trabalhadores era de 1 SED para cada 90.000 horas trabalhadas.

A comunidade científica e governamental comumente reunia-se para debater as descobertas radiológicas e suas implicações sociais. E foi durante o segundo International Congress of Radiology – ICR (Congresso Internacional de Radiologia), realizado na Suécia, em 1925, que se fundou o International X-ray and Radium Protection Committee (ICXRP), com a intenção de difundir as diretrizes de proteção radiológica a seus membros. Inicialmente, o ICRPC mostrou-se pouco ativo, tendo

em vista a pequena quantidade de membros, sendo que apenas dois deles eram médicos. Na mesma edição do ICR, criou-se uma outra instituição, a Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação (ICRU), focada na padronização e no desenvolvimento de unidades de medição radiológicas.

Em 1928, uma nova unidade de medida foi apresentada para limitar a exposição às radiações, denominada Roentgen (R), em homenagem ao descobridor dos raios X. Um R correspondia à quantidade de radiação necessária para gerar uma certa quantidade íons em uma quantia específica de massa de ar. Então, novamente, as organizações revisaram seus limites de dose. Em 1931, a Liga das Nações (organização que antecedeu as Nações Unidas) recomendava 10-5 R por segundo em uma jornada de 8 horas.

Em 1931, o Comitê Conselheiro Americano em Proteção ao Raios X e Rádio (USACXRP) estabeleceu o limite de 0,2 R por dia (que foi adotado pelo ICXRP três anos depois). Em 1934, sugere ainda uma dose diferenciada para as mãos, de 5 R por dia. Dois anos depois, reduziu o limite de 0,2 R por dia para 0,1 R.

Infelizmente, apenas dois membros do ICXRP sobreviveram à segunda guerra mundial. Em 1950, o comitê passou a ser denominado International Commission on Radiological Protection (ICRP), e representa até os dias atuais a maior instituição emissora de recomendações em proteção radiológica. Tal órgão era formado por diversos subcomitês, que trabalhavam em diversas áreas (como permissibilidade de doses, proteção para uso de radiações, manejo e descarte de materiais radioativos etc.).

Os Estados Unidos foram pioneiros em desenvolver recomendações aplicáveis nacionalmente, em especial por meio de seu Conselho Nacional de Proteção Radiológica e Medidas (NCRP). Tais recomendações eram tecidas com base na situação de saúde e segurança de sua própria nação, e muitas vezes eram referenciadas em recomendações internacionais. Em 1949, o NCRP sugeriu a redução de dose máxima ocupacional para 0,3 R por semana, e o valor foi ratificado pela ICRP no ano seguinte. Outra contribuição da NCRP foi sugestão feita em 1954 de se adotar o princípio "As Low As Reasonable Achievable" (ALARA), que basicamente sugere que a utilização da radiação resulte em exposições tão baixas quanto razoavelmente possível. Essa filosofia foi utilizada no desenvolvimento de recomendações e normatizações no mundo todo.



O princípio ALARA pode ser aplicado à tecnologia em que o seu uso, apesar de benéfico para a humanidade pode vir a causar danos, representando um risco a ser controlado.

Em 1951, a ICRP propõe que os países interessados criassem seus próprios comitês nacionais (assim como o norte-americano), para lidar com seus problemas de proteção radiológica de forma mais eficiente, hierarquizando as organizações em um nível nacional. Dessa forma, os países devem assumir suas responsabilidades para com a proteção radiológica, e não apenas adotar os limites recomendados pela comunidade internacional. Assim, as recomendações que um comitê de uma nação faz, justificadas por sua realidade social, podem não ser as mais adequadas em outro país. Toda medida regulatória (leis, normatizações, proibições etc.) deve ter sua implantação adaptada e fundamentada para cada território. Posteriormente, diversas recomendações internacionais e regulações nacionais foram sendo desenvolvidas pelo mundo.

Outras instituições preocupadas com os efeitos das radiações ionizantes foram criadas em nível internacional, em especial o Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica (UNSCEAR), em 1956, e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), em 1957. A primeira foi idealizada para estudar e difundir os efeitos das radiações ionizantes nos seres humanos, enquanto a segunda tem um forte apelo à segurança nuclear internacional.

Como sua primeira publicação, a UNSCEAR elaborou um relatório em 1958 re-apresentando os conceitos fundamentais em proteção radiológica, além de descrever outras unidades de medida aplicadas para quantificar a radiação ionizante. Entre essas unidades, pode-se citar o rad, criado em 1953 pela ICRU para quantificar a radiação absorvida, no qual 1 rad corresponde a uma energia absorvida pelo material equivalente a 0,01 J para cada quilograma do material. Essa unidade foi pensada, pois os vários tipos de radiação são absorvidos de forma diferente em cada material, haja vista que 1 R proveniente de radiação X interage de forma distinta no ar e na água, por exemplo. Além do rad, a comunidade científica debatia os efeitos da radiação quando o material em questão é o corpo humano, fazendo com que outra unidade fosse desenvolvida, o "Roentgen Equivalent Man", ou REM. Tal unidade, apesar de derivar do rad, sua aplicação leva em consideração o conceito de efetividade radiológica efetiva (RBE), que de forma geral atribui fatores de peso para as medidas em rad, de acordo com a fonte de radiação (raios X, elétrons, nêutrons etc.), representando a dose equivalente (e não mais absorvida). Assim, doses de radiação relacionadas aos efeitos biológicos gerados no corpo humano passaram a ser quantificadas em rem e, em 1955, a NCRP recomenda que a dose anual máxima permitida para trabalhadores seja de 5 rem.

Em 1956, seguindo a recomendação da ICRP para desenvolver instituições nacionais que contribuam para a proteção radiológica em um nível local, o Brasil cria a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), autarquia federal com o propósito de desenvolver a política nacional de energia nuclear. Em seu princípio, grande parte de suas regulamentações era focada em licenciamento e segurança de instalações nucleares, porém, em 1973, publica sua Resolução nº 06 – Normas Básicas de Proteção Radiológica. É um documento de 64 páginas, bastante técnico e focado nos requisitos operacionais de estabelecimentos que utilizam fontes de radiação. Quanto às doses ocupacionais, seguiu já estabelecido o limite de 5 rem/ano, em que a dose trimestral não poderia ultrapassar 3 rem.

Anos mais tarde, as duas unidades em uso, o rad (dose absorvida) e o rem (dose equivalente), foram revisadas e atualizadas pela comunidade internacional para gray (Gy), em 1975, e Sievert (Sv), em 1977, respectivamente, fazendo com

que as recomendações também fossem atualizadas. Ressalta-se aqui que a dose equivalente em Sievert passou a ser composta também por fatores de peso para a anatomia exposta, e para fins ocupacionais esse fator tem peso 1 (considerando exposição do corpo todo).

Nesta época, uma das publicações mais amplas e importantes para a conceitualização e o detalhamento dos princípios de proteção radiológica foi a ICRP 26, adotada em 1977. Tal documento foi sendo revisado em edições posteriores (em 1991, com a ICRP 60 e recentemente, em 2007, com a ICRP 103). Na ICRP 26, os pilares da proteção radiológica foram detalhados; justificção, otimização e limitação das doses individuais. Questões importantes também são abordadas no documento, como a quantificação do risco de efeitos estocásticos (e não mais somente os efeitos determinísticos visíveis, como o eritema de pele) provenientes da exposição à radiação ionizante. Considerou-se que, não há um limite de dose de radiação seguro para evitar a ocorrência desses efeitos estocásticos para baixas doses, fazendo com que a comunidade científica (e governamental) passasse a utilizar o então debatido modelo Linear No Threshold (LNT), ou seja, linear sem um limite. Assim, assumiu-se que, quanto maior a dose de radiação, maior é o risco de ocorrência de câncer, por exemplo, porém não se sabe qual a dose mínima para gerar esse efeito.



Existe uma hipótese em desenvolvimento na qual baixas doses de radiação poderiam ser benéficas ao organismo humano, pois estimulariam uma resposta adaptativa aos danos gerados pela radiação (hormese).

No Brasil, a ICRP 26 foi utilizada como base para atualizar a Resolução 06 de 1973. O resultado dessa atualização foi a publicação da Norma Experimental 3.01 de 1988. Assim como a ICRP 26, detalha em seu capítulo 4 os princípios básicos de proteção radiológica. Quanto à normatização dos limites de dose anuais, também instituiu 50 mSv para trabalhadores e 1 mSv para o indivíduo do público.

Em 1990, veio a primeira grande atualização da ICRP 26, na forma da ICRP 60. Com um maior conhecimento dos mecanismos de proteção radiológica, essa nova publicação atualiza alguns limites de dose. Para trabalhadores, o então limite adotado de 50 mSv/ano (equivalente a 5 rem/ano) ano foi adaptado para que, em um período de cinco anos, o trabalhador não receba mais do que de 20 mSv por cada ano (não podendo ultrapassar 50 mSv em nenhum dos anos), enquanto que o limite de dose para indivíduo do público foi de 5 mSv/ano para 1 mSv/ano.

2.1. Padrão regulatório no Brasil, radiodiagnóstico médico

Atualmente, a Portaria Federal MS/SVS nº 453, de 1º de junho de 1998, é a norma que estabelece o regulamento técnico “Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico”. Fortemente embasado pela ICRP 60, o documento foi construído pela autoridade reguladora, na forma do Ministério da Saúde e pela extinta Secretaria de Vigilância Sanitária (substituída pela ANVISA) e levado a consulta pública por meio da Portaria nº 189 de 13 de maio de 1997. Mesmo estando bastante alinhado com as recomendações e normativas internacionais, leva em consideração as especificidades políticas, econômicas e sociais da realidade brasileira, como a atribuição de algumas competências para a autoridade sanitária, constituída pelas Vigilâncias Sanitárias (Visa) dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios. Assim como as Normas da CNEN, possui caráter regulatório e seu descumprimento implica em infrações e sanções. É um documento técnico, com regras bastante operacionais que condicionam o uso das radiações ionizantes na medicina e odontologia. É dividido em 6 partes.

Capítulo 1: Disposições gerais; estabelece os objetivos e o campo de aplicação, além de estabelecer a figura da Autoridade Sanitária.

Capítulo 2: Sistema de Proteção Radiológica; detalha os princípios fundamentais de proteção radiológica já definidos nas recomendações da ICRP (justificação, otimização e limitação), e adiciona um princípio de “prevenção de acidentes”. Nesta parte está definido o padrão nacional para a limitação das doses ocupacionais (item 2.13).

Capítulo 3: Requisitos operacionais; aqui estão descritas todas as necessidades operacionais e legais para que o estabelecimento de saúde preste o serviço diagnóstico com qualidade, saúde e segurança. Detalha desde as regras para licenciar o serviço (obtenção do alvará sanitário), garantia de qualidade, requisitos mínimos do memorial de proteção radiológica, atribuições dos Responsáveis Técnicos, Responsáveis Legais, Supervisor de Proteção Radiológica e membros da equipe, até como deve ser feito o controle das áreas do serviço.

Capítulo 4: Requisitos específicos para o Radiodiagnóstico Médico; estabelece principalmente aspectos construtivos da instalação (blindagens, materiais, sinalizações e avisos etc.) e requisitos dos equipamentos emissores de radiação ionizantes (raios X, mamógrafo, tomógrafo etc.). Define procedimentos de trabalho que devem mediar a prestação do serviço diagnóstico e os padrões mínimos de desempenho dos equipamentos (controle de qualidade).

Capítulo 5: Requisitos específicos para Radiologia Odontológica; define, em adição aos capítulos 1, 2 e 3, as exigências para operacionalizar um serviço de radiologia odontológica.

Capítulo 6: Disposição transitória; estabelece principalmente prazos para aplicação do regulamento técnico aprovado pela Portaria 453/98.

2.2. Padrão regulatório de competência da CNEN

Há especialidades diagnósticas e de tratamento que a Portaria Federal MS/SVS nº 453/98 não aborda, como a Medicina Nuclear e Radioterapia. Essas áreas têm sua regulação atribuída à CNEN, e não ao Ministério da Saúde (como na Portaria Federal MS/SVS nº 453/98). Assim, qualquer processo produtivo que envolva o uso de fontes de radiação (manuseio, transporte, produção, posse, utilização, armazenamento, deposição etc.) deve ser controlado pela CNEN. Atualmente, as diretrizes básicas de proteção radiológica, levando em conta esse escopo, estão definidas na Norma CNEN NN 3.01, um documento que vem sendo esporadicamente atualizado com posições regulatórias, a última datada de 2014. Complementar a este documento, temos a RDC 38, de 04 de junho de 2008, da ANVISA, que também dispõe sobre a instalação e o funcionamento de Serviços de Medicina Nuclear.

Especificamente em Medicina Nuclear, a Norma CNEN NN 3.05 aprova os requisitos de segurança e proteção radiológica nesses serviços. É nesse documento que as práticas em medicina nuclear são norteadas. Atribuições do responsável técnico e supervisor de proteção radiológica são definidas, descrevem-se os procedimentos de controle de qualidade a serem executados, procedimentos de recebimento, uso, armazenagem e descarte de fontes/rejeitos/materiais. Sua última atualização data de dezembro de 2013.

Para os serviços de radioterapia, temos a Norma CNEN NN 6.10, que estabelece os requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de radioterapia. Assim como a NN 3.05, norteia as práticas pertinentes à prestação do serviço de radioterapia. Em paralelo com a NN 6.10, temos a RDC 20, de 02 de fevereiro de 2006, da ANVISA, que “estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando à defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral”.

2.3 Padrão regulatório de Santa Catarina

Em 2015, foi publicada a Resolução Normativa nº 002/DIVS/SES, representando uma regulação válida em todo o território catarinense que ratifica e ao mesmo tempo atualiza as diretrizes propostas pela Portaria Federal MS/SVS nº 453/98. Tal documento está estruturado principalmente na forma de capítulos que compõem um Anexo de disposições gerais do regulamento, e apêndices específicos para cada modalidade diagnóstica, instrumentos de medidas e definições/tabelas, conforme abaixo.

Anexo I: Disposições gerais; define principalmente os objetivos do regulamento, os critérios de aceitabilidade, os requisitos gerais de proteção radiológica (procedimentos, capacitação, equipamentos, saúde ocupacional, exposições médicas etc.), um capítulo específico para as tecnologias de radiologia digital e telerradiologia e, por fim, estabelece as responsabilidades.

Apêndice I: Radiografia Médica

Apêndice II: Mamografia

Apêndice III: Fluoroscopia

- Apêndice IV:** Radiologia Intervencionista
- Apêndice V:** Tomografia Computadorizada
- Apêndice VI:** Radiologia Odontológica Intraoral
- Apêndice VII:** Radiologia Odontológica Extraoral
- Apêndice VIII:** Instrumentos de Medida
- Apêndice IX:** Definições e tabelas

De forma geral, para as especialidades diagnósticas, cada apêndice inicia com um capítulo sobre os ambientes (sala de exame, processamento, laudos etc.), seguido de três capítulos que abordam os equipamentos (requisitos construtivos, parâmetros operacionais, funções obrigatórias etc.) procedimentos de trabalho (práticas que condicionam a prestação do serviço radiológico) e os requisitos de desempenho e aceitação (parâmetros mínimos de qualidade e segurança, aferidos com testes específicos, em uma periodicidade e um limiar de tolerância definidos, bem como um nível de suspensão para cada um desses testes).

O apêndice VIII detalha os requisitos para execução dos testes anteriormente citados, exigindo desde formação adequada para realização dos ensaios, bem como equipamentos mínimos para tal.

Por fim, o apêndice IX traz uma espécie de glossário, similar ao da Portaria 453/98, composto de termos, suas definições e tabelas explicativas. A Figura 01 apresenta uma síntese das principais normas de cada especialidade radiológica que pode ser consultada para mais esclarecimentos.

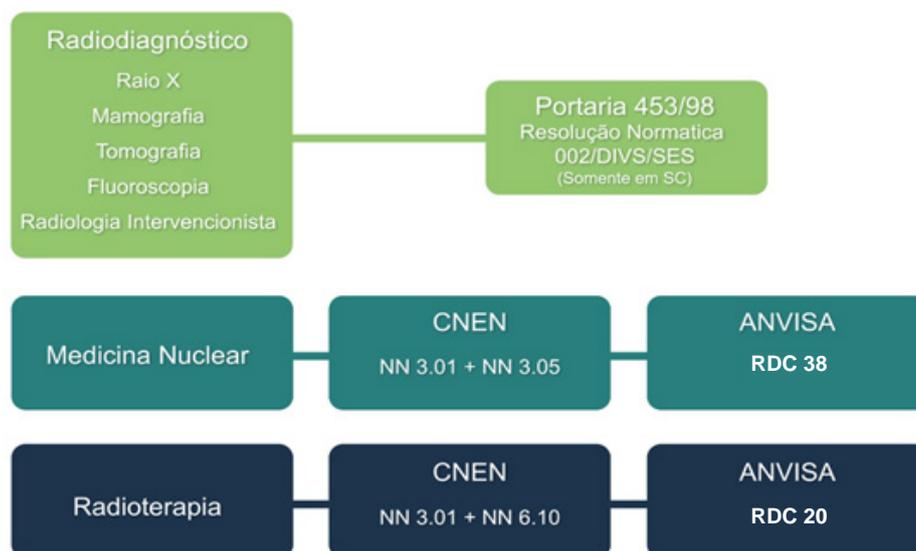


Figura 01 – Ilustração das principais normas de cada especialidade radiológica.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores

Referências



CLARKE, R. H.; VALENTIN, Jack. The history of ICRP and the evolution of its policies. *Annals of the ICRP*, v. 39, n. 1, p. 75-110, 2009.

DE SOUZA PEREIRA, Wagner; KELECOM, Alphonse; DE SOUZA PEREIRA, Juliana Rodrigues. Comparação entre a norma brasileira de radioproteção e a recomendação da International Commission on Radiological Protection, publicadas em 2007. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, v. 3, n. 2, 2015.

INKRET, William C.; MEINHOLD, Charles B.; TASCHNER, John C. Protection standards. *Los Alamos Science*, v. 25, p. 117-123, 1995.

MOULD, Richard Francis. *Chernobyl record: the definitive history of the Chernobyl catastrophe*. CRC Press, 2000.

MOULD, Richard Francis. The early history of x-ray diagnosis with emphasis on the contributions of physics 1895-1915. *Physics in Medicine & Biology*, v. 40, n. 11, p. 1741, 1995.

NAVARRO, Marcus Vinícius Teixeira. *Risco, radiodiagnóstico e vigilância sanitária*. SciELO-EDUFBA, 2009.

SAYRE, Robert M. et al. Skin type, minimal erythema dose (MED), and sunlight acclimatization. *Journal of the American Academy of Dermatology*, v. 5, n. 4, p. 439-443, 1981.

SORDI, Gian Maria AA. Evolução dos paradigmas de proteção radiológica. *Revista brasileira de física médica*, v. 3, n. 1, p. 35-41, 2009.

3. TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

*Caroline de Medeiros
Charlene da Silva
Cleiton Mesquita Martio
Renata Pietsch Ribeiro*

O exame de tomografia computadorizada vem, ano a ano, popularizando-se exponencialmente. Gradativamente, está ocupando o espaço antes destinado aos raios X. Esse crescimento se deve à maior disponibilidade de equipamentos e à conseqüente redução dos preços dos exames. A tomografia computadorizada apresenta um excelente custo-benefício no que se refere a diagnóstico por imagem.

A tomografia computadorizada fornece imagens de alta qualidade permitindo, inclusive, reconstruções multiplanares e tridimensionais com uma boa resolução espacial. Entre suas principais vantagens estão a ausência de sobreposições de estruturas (que ocorrem nos raios X convencionais), a possibilidade de visualização de diferentes estruturas com diferentes densidades (por meio de filtros e ajustes de janelamento específicos), facilidade de manipulação e disponibilização de imagens.

3.1. Histórico

Entre as décadas de 60 e 70, houve um salto revolucionário no que diz respeito ao radiodiagnóstico com o advento do primeiro equipamento de tomografia. Vale lembrar que o nome dado tem origem grega e significa respectivamente "tomos" corte e "grafia" imagem. O aparelho foi desenvolvido por Allan Cormack e Godfrey Hounsfield e era capaz de obter imagens de finas fatias da estrutura em estudo, em vez de uma imagem projetada como na radiografia convencional. Todavia, este feito foi alcançado graças a J. Radon que anteriormente desenvolveu uma pesquisa voltada à reconstrução por intermédio de métodos matemáticos.

Em 1971, foi implementado o primeiro protótipo do equipamento dedicado a práticas clínicas, em específico para exames de crânio. Por esse feito, Hounsfield e Cormack foram agraciados com o Prêmio Nobel de Medicina, em 1979.



No Brasil, o primeiro tomógrafo foi instalado em São Paulo, no Hospital da Real e Benemérita Sociedade Portuguesa de Beneficência, em 1977.

Veja uma breve linha do tempo em relação ao histórico desta tecnologia (Quadro 01).

ANO	HISTÓRICO
1895	Descoberta dos raios X por Röntgen.
1917	J. Radon publicou estudo sobre soluções matemáticas para reconstrução de projeções.
1971	Allan Cormack e Godfrey Hounsfield desenvolveram o primeiro tomógrafo.
1977	Primeiro tomógrafo no Brasil.
1979	Prêmio Nobel para Hounsfield e Cormack.
1998	Desenvolvimento do Tomógrafo Multislice, utilizado atualmente.

Quadro 01 – Breve histórico da tomografia computadorizada.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Ao longo dos anos, o aparelho de tomografia vem sofrendo constantes aperfeiçoamentos, tais como modificações nos detectores, tubo de raios X e softwares de processamento. Essa evolução permitiu uma aquisição de imagem rápida, uma melhor qualidade nas imagens seccionais, além do conforto proporcionado ao paciente.

3.2. Princípios de Funcionamento

Seu funcionamento é dado a partir de um arranjo de detectores opostos a um tubo de raios X. Ou seja, o tubo emite a radiação, que atravessa o paciente e chega ao conjunto de detectores que coleta o sinal emitido. Nesse ponto, essas informa-

ções se transformam em complexos algoritmos matemáticos no computador, que gera imagens axiais (transversais) da anatomia em estudo.

Para que se obtenha uma imagem completa da anatomia, são realizadas múltiplas projeções em diferentes angulações. A partir dos algoritmos, o computador constrói uma imagem digital representada por uma matriz, a qual possui um menor elemento chamado de pixel.

3.3. Evolução da tomografia computadorizada

A evolução é dada de forma cronológica em seis categorias, as diferenças entre estas é o aumento do número de detectores e a maior velocidade de aquisição das imagens. A seguir serão caracterizadas estas modalidades de Tomografia Computadorizada.

Primeira Geração: neste equipamento, a aquisição é fundamentada no princípio de rotação-translação, em que fonte e detector são deslocados linearmente cerca de 1 grau para cada nova aquisição. Ao final, há uma varredura de 180 graus ao redor do paciente. Assim, o tempo de varredura é longo, e a imagem apresenta um único plano de corte (Figura 01).

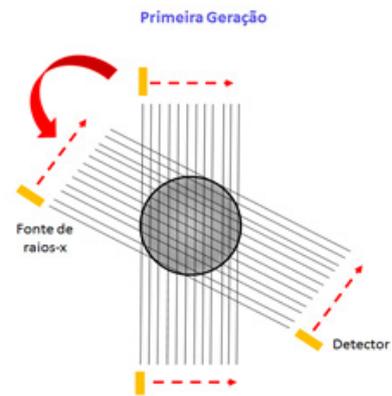


Figura 01 – Primeira geração.
Fonte: Adaptado de (BUSHONG, 2010)

Segunda Geração: esta classe obedecia ao mesmo regime de trabalho da geração anterior, com aumento no número de detectores. Isso possibilitou uma redução considerável do número de aquisição por angulação, o que reduziu o tempo de varredura e, conseqüentemente, o tempo de exame (Figura 02).

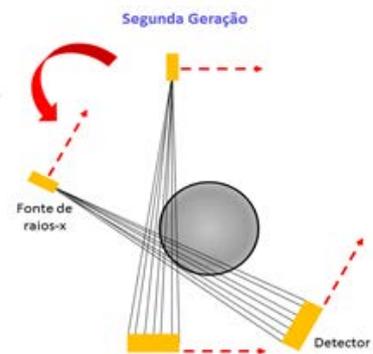


Figura 02 – Segunda geração.
Fonte: Adaptado de (BUSHONG, 2010)

Terceira Geração: nesta categoria, a varredura não era realizada linearmente como as anteriores, a cada grau de angulação. Na terceira, possuía um conjunto de detectores que, juntamente com a fonte de raios X, descreviam um giro de 360 graus em torno do paciente. A limitação desta categoria era dada pelo cabo de tensão que alimentava o gantry, que impossibilitava seu giro contínuo (Figura 03).

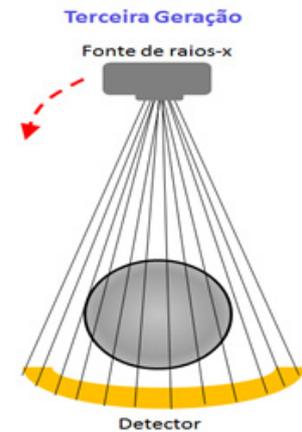


Figura 03 - Terceira geração.
Fonte: Adaptado de (BUSHONG, 2010)

Quarta Geração: nesta, foi concretizado o anel de detectores fixo à medida em que o tubo de raios X rotacionava ao longo do paciente. Isso permitiu uma melhora significativa na imagem, diminuindo a geração de artefatos devido à problemas mecânicos. Além disso, foi possível obter inúmeras projeções já que uma mesma área de detecção era atingida por vários fótons de raios X (Figura 04).

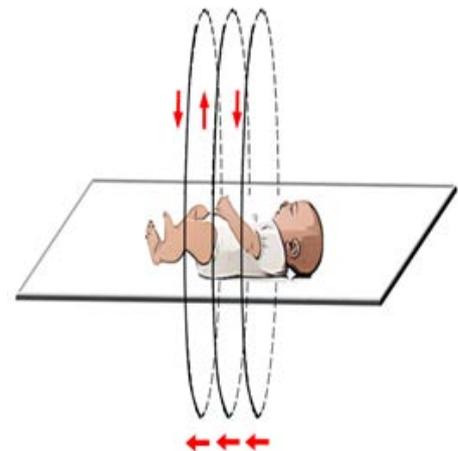


Figura 04 – Quarta geração.
Fonte: Adaptado de (SEERAM, 2015.)

Helicoidais: nesta modalidade, o tubo de raios X gira continuamente com o movimento simultâneo da mesa. Dessa forma, as imagens são adquiridas em espiral, sendo chamada a técnica de *slip-ring*. Tal fato reduziu ainda mais o tempo de exame.

Multidetectores: houve um crescimento no número de fileiras de detectores que realizavam a aquisição simultânea. Quanto maior o número de fileiras, melhor a qualidade das imagens e menor é o tempo de realização do exame. Este número de secções vem aumentando ao longo do tempo, tem-se de 8, 16, 32, 64 e 128 secções são geralmente utilizados, que também podem ser chamados de canais. Hoje, temos aparelhos com capacidade de 256 e 320 canais.

A tomografia computadorizada tem um design próprio e característico. A seguir, vemos um exemplo de sua estrutura física, ao lado do aparelho pode-se observar um exemplo de bomba injetora de contraste. Os componentes do tomógrafo serão discutidos na sequência.

3.4. Equipamento de tomografia computadorizada

A partir deste ponto de desenvolvimento ocorrem algumas divergências entre autores quanto à possibilidade de novas classificações de gerações. Surgem novos equipamentos em que diferentes autores fazem classificações variadas (Figura 05). Por esse motivo, não faremos classificação em gerações, apenas citaremos as evoluções.



Figura 05 – Equipamento.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Aparelhos Dual Source apresentam duas ampolas perpendiculares entre si emitindo diferentes doses de energia no momento da aquisição. Permanecem multicorte helicoidal.

Tomografia por feixe de elétrons: apresenta uma arquitetura única em que os elétrons são direcionados (por bobinas) para o anódio está colocado em semiarco no gantry. Apresenta grande velocidade de aquisição das imagens (aproximadamente 50 ms), multicorte.

Tomógrafos compostos: amplamente conhecidos, como PET (Positron Emission tomography), equipamentos em que estão associados um tomógrafo helicoidal multicorte e um detector gama gerando imagens híbridas após a injeção de radionuclídeos emissores de pósitrons.

3.5. Componentes da tomografia computadorizada

Os principais elementos que compõem o aparelho de tomografia computadorizada são: o gantry, detectores, filtros, colimadores e computador (Figura 06). Sendo assim, para melhor compreensão, cada um será abordado isoladamente. Abaixo observa-se um esquema didático de alguns componentes.

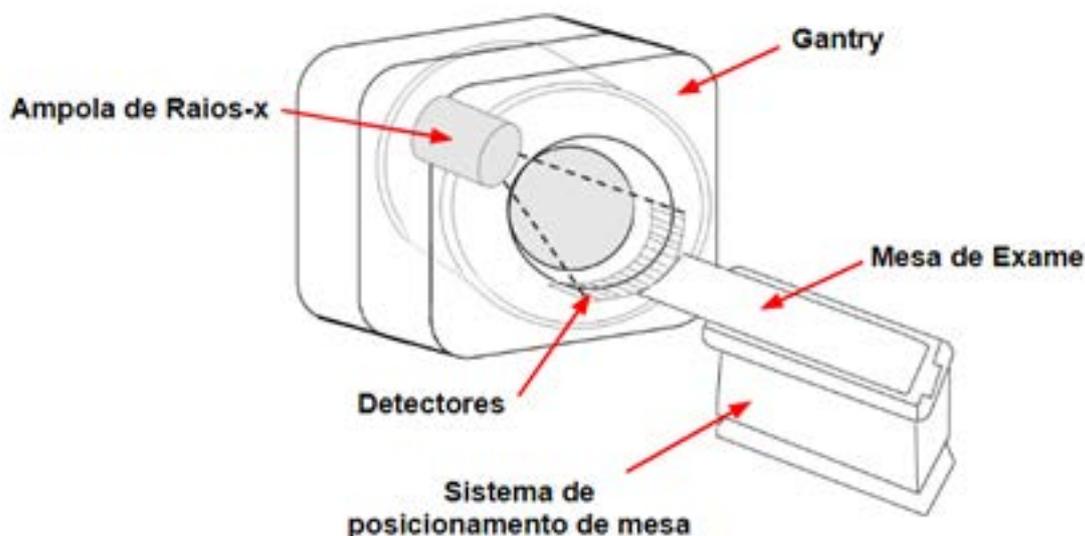


Figura 06 – Componentes da tomografia computadorizada.
Fonte: Adaptado de (GARIB et al., 2007).

Gantry: no seu interior há um tubo de raios X de alta potência, filtros, colimadores e sistema de detectores. O tubo é responsável por produzir a radiação, já os filtros possuem duas classes: plana e bow-tie. Na primeira, tem a capacidade de aumentar a energia média dos fótons de raios X; já a segunda, atenua a radiação direcionada para as extremidades do corpo do paciente. Os colimadores também possuem duas categorias: pré e pós paciente com capacidade de absorver os fótons dissipados. Ainda no gantry, têm-se os detectores que recebem fótons de diferentes intensidades, sendo que podem ser do tipo sólido ou gasoso, além de ter uma relação direta com a dose no paciente. Na TC, os detectores geralmente são a gás (Xenônio) ou sólidos (Germânio e Silício). Na região externa do gantry há os lasers de posicionamento, o display digital e os botões para o comando.

Sistema de posicionamento de mesa é capaz de realizar a movimentação de elevação e descida da mesa, ademais possui um sistema de tampo deslizante. Já a mesa em si tem como função acomodar o paciente. Vale ressaltar que cada marca de aparelho tem um peso máximo de suporte.

Computador: este não está ilustrado na figura, porém tem funções primordiais, tais como: selecionar e executar os parâmetros de exposição, processar os sinais recebidos e convertê-los em imagens, pós processar as imagens e disponibilizá-las para avaliação. Este componente encontra-se fora da sala de exames, está localizado na sala de comando do equipamento.

3.6. Qualidade da imagem

A garantia da qualidade deve estar atrelada a menor dose de exposição ao paciente, sendo fundamentada no princípio ALARA que rege o radiodiagnóstico.

Entretanto, para conceber uma imagem com qualidade é necessário modificar alguns parâmetros de aquisição que consequentemente afetam a dose de radiação. Por esse motivo, a indicação para a realização do exame deve ser adequada e os parâmetros técnicos, apropriados.

Partindo da premissa de que a Tomografia Computadorizada é um método computacional, vários fatores influenciam na qualidade da imagem, sendo eles: matriz de imagem, pixel, campo de visão (FOV, Field of view), número de tomografia computadorizada ou unidade Hounsfield (HU), ruído, relação sinal-ruído, resolução espacial, resolução de baixo contraste, artefatos, linearidade, uniformidade, reconstrução de imagem. Alguns desses itens serão discutidos.

A matriz de uma imagem é um item primordial na qualidade da Tomografia Computadorizada. Cada célula dessa matriz é composta por um pixel que é a representação bidimensional de um volume de tecido, chamado de voxel. A figura na sequência ilustra a composição da matriz, pixel e voxel (Figura 06).

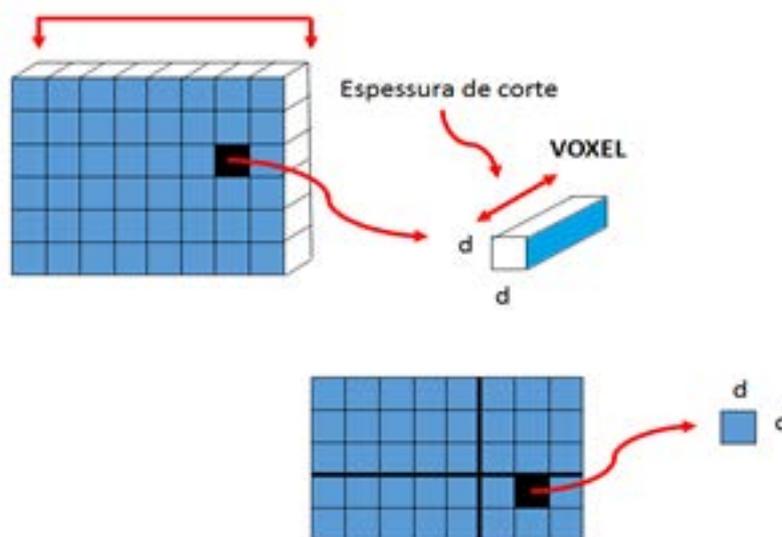


Figura 06 – Imagem tomográfica representando sua matriz, o pixel e voxel.

Fonte: Adaptado de (LOUREIRO, 2002).

Como já discutido anteriormente, o pixel é o menor elemento de uma imagem digital e, portanto, a resolução dessas imagens é limitada pelo tamanho do pixel. Os mesmos possuem diferentes informações numéricas que representam matematicamente o brilho da estrutura em estudo, ou seja, o valor numérico de HU. O FOV está diretamente relacionado com essa grandeza, sendo conceituado como o diâmetro de reconstrução da imagem. A equação abaixo é utilizada para calcular o tamanho do pixel da imagem.

$$Tamanho\ do\ pixel = \frac{FOV}{(Tamanho\ da\ matriz)}$$

(1)

A unidade de Hounsfield (HU) é definida como o coeficiente de atenuação do material que está sendo estudado em relação ao valor de atenuação da água. Esses valores variam entre -1000, que representa o ar, até 3000, que representa um osso denso. Por definição, foi definido que o valor de HU para água é igual a 0. A Figura 07 representa valores de HU para diferentes tipos de tecidos.

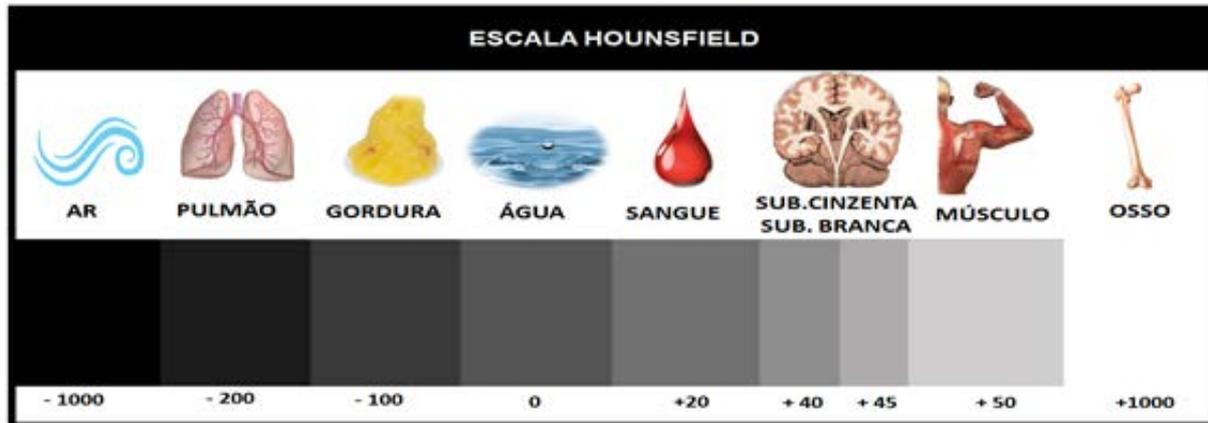


Figura 07 – Valores de HU para diferentes tipos de tecidos.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

IMPORTANTE

Os artefatos da imagem são um grande desafio na imagem tomográfica, eles podem ser gerados por falhas no equipamento, como também pela anatomia do paciente ou até menos adornos metálicos junto ao corpo do mesmo.

Existe uma gama de artefatos, entre eles destacam-se: o do tipo anel, o de movimento, por materiais densos e por último de ruído.

Os artefatos de movimento são consequência do movimento do objeto de estudo durante a aquisição, neste caso a imagem possui um aspecto "borrado", reduzindo sua resolução. Quando se fala de artefatos de pôr materiais densos produzem diversas "estrias" de alta densidade. Esses artefatos ocorrem quando a região em estudo possui algum material com alta densidade como, por exemplo, próteses metálicas.

Por fim, os artefatos de ruído são gerados devido ao baixo nível de sinal captado pelos detectores para gerar as imagens. Pode ser classificado como o desvio padrão de um conjunto de pixels obtido em um objeto. Uma grande variação dos valores dos pixels em uma imagem representa um ruído elevado. Essas imagens apresentam-se com um aspecto granuloso. A dose de radiação está intimamente ligada à geração de ruídos, visto que o ruído das imagens é inversamente proporcional à dose de radiação, ou seja, quanto maior a dose, menor o ruído. Em vista disso, é necessário ter cautela no desenvolvimento de protocolos para a clínica, considerar a relação dose versus qualidade de imagem para que os pacientes não sejam expostos à radiação de forma desnecessária.

3.7. Reconstrução de Imagens

Atualmente, a tomografia é um dos principais exames para o diagnóstico, sendo, portanto, fundamental na conduta médica. O exame possibilita a aquisição de imagens em cortes, tendo a possibilidade de analisar o volume dos órgãos dos pacientes, sem sobreposição, melhorando o contraste dos tecidos e permitindo, assim, uma visualização mais precisa das estruturas anatômicas.

A imagem de tomografia é obtida por meio do escaneamento axial do paciente, sendo que, posteriormente, poderá ser realizada a reconstrução multiplanar em cortes sagitais, coronais e imagens tridimensionais (3D). Veja na Figura 08 a exemplificação dos cortes (axial, coronal e sagital) e a reconstrução ilustrativa 3D.

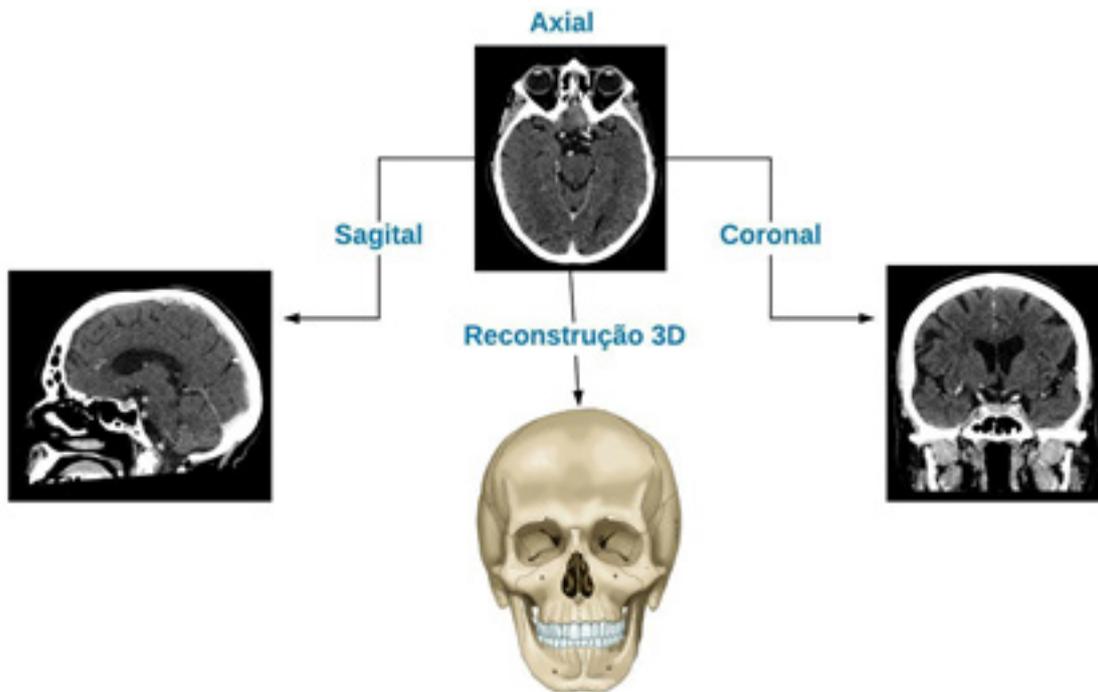


Figura 08 – Cortes e reconstrução 3D.
Fonte: Adaptado de (BUZUG; MIHALIDIS, 2009).

Existem diversos softwares destinados à visualização e manipulação de imagens médicas digitais, além da estação de trabalho de tomografia computadorizada.

3.8. Exposição à radiação

Tendo em vista a evolução desta tecnologia, há aumento considerável no número de exames realizados no mundo, conseqüentemente, houve um aumento nos níveis de dose de radiação a que os pacientes são submetidos. A partir dessa problemática, existe necessidade de otimização dos protocolos, além do cumprimento das legislações vigentes.

Para estimar a dose absorvida, adotaram-se cálculos matemáticos a fim de obter valores específicos para grandezas.

Índice de Dose para Tomografia Computadorizada (CTDI) é definida como a soma da dose absorvida ao longo da direção axial para uma rotação de 360° do tubo de raios X, dividido pela espessura irradiada.

Produto Dose Comprimento (DLP) é o valor dado pela multiplicação do CTDI pelo comprimento irradiado durante o exame, valor que representa o total de dose absorvido pelo paciente em todo o exame.

A Portaria 453/98 ANVISA, que regulamenta as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico no âmbito nacional, estabelece que 50 mGy é o nível de dose média em múltiplos cortes permitido para o exame de TC de crânio. Já para os exames de TC de coluna lombar e abdome, os níveis de dose permitidos são de 35 mGy e 25 mGy respectivamente. Porém, o nível de referência para o CTDIVOL atribuído a exames de TC de crânio estabelecidos pela Resolução Normativa nº 002/DIVS/SES da Vigilância Estadual do Estado de Santa Catarina é de 70 mGy. Para os exames de TC de abdome adulto e pediátrico, os níveis são respectivamente 25 mGy e 20 mGy.

Devido a isso, há a necessidade de constante otimização dos protocolos de exames de TC de crânio, visto que a legislação nacional permite que os níveis de dose atribuídos a este exame sejam 30% maiores quando comparados ao exame de TC de coluna lombar, que é o segundo procedimento com maior nível de dose permitido. E tendo em vista a legislação estadual do Estado de Santa Catarina, este nível de dose sobe para 64% quando comparado ao exame de TC de abdome adulto, que é o segundo exame com o mais elevado nível de dose permitido.

Os TC possuem meios que permitem estimar os níveis de dose de radiação a que os pacientes são expostos durante os exames. Ao selecionar o tipo de exame e os parâmetros de protocolo, tais como: kVp, mA, tempo de rotação do tubo, pitch e colimação, algoritmos matemáticos previamente programados conseguem calcular e indicar os valores do CTDIVOL e DLP que serão utilizados no exame, antes mesmo da exposição.

Por se tratar de equipamento emissor de radiação ionizante, devem ser seguidos todos os cuidados de radioproteção já utilizados nos raios X, como uso de vestimentas de proteção individual, e especial atenção a pacientes gestantes.

A proteção radiológica mais eficaz é a que está incorporada no dia a dia da rotina de trabalho. Para que isso ocorra corretamente nos moldes da lei, é necessária a educação continuada e o constante treinamento das equipes de trabalho. O trabalhador consciente dos riscos inerentes ao uso das radiações ionizantes irá proteger os pacientes como a si mesmo dos riscos potenciais, além de se tornar um multiplicador do conhecimento.

3.9. Parâmetros de protocolo

Os protocolos para varreduras de tomografia computadorizada são programações específicas de operação do aparelho, que atendem à característica do exame a ser realizado. Nos equipamentos de tomografia modernos existem vários protocolos para as diversas investigações.

A tensão do tubo (kVp) controla a penetrabilidade do feixe de raios X que formará a imagem. O kVp tem maior influência sobre a qualidade do feixe do que sua quantidade. Por outro lado, assumindo um tempo de exposição constante, a corrente do tubo (mA) é quem controla a quantidade de radiação produzida, isto é, a dose no paciente. Esta dose é diretamente proporcional ao mA, ou seja, dobrando-se o valor do mA, mantendo o tempo de exposição fixo, a dose também será dobrada. A qualidade do feixe de radiação permanece fixa com a variação do mA. Apesar da vantagem devido ao aumento da corrente melhorar a qualidade da imagem, a desvantagem está no aumento da radiação secundária, bem como a sobrecarga do tubo de raios X.

A espessura de corte em TC é determinada pela abertura do colimador. Cortes finos aumentam o detalhe da imagem, porém, ampliam o nível de ruído das mesmas. Para corrigir o ruído elevado é necessário aumentar o nível de dose do exame. Este parâmetro é fundamental para a realização dos exames, pois ele indicará o número de cortes sequenciais a que uma mesma região anatômica será exposta.

O número de cortes em uma mesma região está relacionado com o termo pitch, sendo que este é expresso por um valor numérico em TC multislice que gira em torno de 0,1 a 1, normalmente. Pitch igual a 1 significa que os cortes tomográficos serão obtidos um justaposto ao outro. Enquanto valores de pitch menores do que 1 farão com que em uma certa porção da anatomia seja irradiada duplamente durante a aquisição. Quanto menor for o valor do pitch, maior será a dose de radiação incidente na região.

Quando a reconstrução das imagens é feita em plano axial, pode não ser notada a diferença quanto ao valor de pitch empregado. Entretanto, quando se deseja reconstruí-las em outros planos, ocorre uma nítida diferença entre a qualidade das imagens. Isso se dá pelo fato de que a reconstrução da imagem feita em outros planos eventualmente necessita de intervalos de cortes menores para que se tenha uma melhor visualização da anatomia de interesse.

Alguns equipamentos mais recentes dispõem de um sistema chamado de controle automático de exposição (AEC), que faz com que a corrente do tubo seja modulada de acordo com a espessura e densidade da estrutura em estudo com o intuito de reduzir a dose no paciente. Contudo, essa técnica não se aplica a todo tipo de exame, um exemplo é para protocolo de crânio, para a qual existem diferentes densidades próximas umas das outras, os ossos que compõem o crânio com uma densidade alta comparada ao tecido mole do encéfalo.

É necessário tomar cuidado com os ajustes de protocolos, visto que a modificação de um parâmetro pode interferir em todo o processo relacionado a qualidade de imagem e dose que o paciente estará sendo exposto. Por esse motivo, a otimização das exposições são abordagens importantes, assim como a utilização de fantasmas para simular as características de absorção e espalhamento da radiação.

3.10 Novas aplicações

A tomografia computadorizada inicialmente desenvolvida para estudos do crânio humano teve suas aplicações estendidas para todo o corpo humano rapidamente. O passo seguinte foram as aplicações específicas em diagnóstico odontológico. Mais recentemente a tomografia se mostrou de grande valor diagnóstico em medicina veterinária, antropologia forense e aplicações industriais. Uma das principais inovações são as angiotomografias, sendo um método reconhecido e amplamente utilizado no diagnóstico, avaliação pré-operatória e no acompanhamento pós-operatório dos pacientes com patologias vasculares.

Referências



Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Dispositivos de proteção contra radiação-X para fins de diagnóstico médico. ABNT NBR IEC 61331. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas; 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Portaria nº 453, de 1º de junho de 1998. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2 de junho de 1998.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria MTB nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Aprova as normas regulamentadoras – NR – do Capítulo V, Título II, da consolidação das leis do trabalho, relativas à segurança e medicina do trabalho. NR-6 – Equipamento de proteção individual-EPI. Portaria SIT/DSST nº 162, de 12 de junho de 2006. Brasília, DF: Diário Oficial da União; 16/05/2006.

BUSHONG, S. C. Ciência Radiológica para Tecnólogos: Física. Biologia e Proteção, 2010.

BUZUG, Thorsten M.; MIHALIDIS, Dimitris. Computed tomography: from photon statistics to modern cone-beam CT. *Medical Physics*, v. 36, n. 8, p. 3858-3858, 2009.

CARVALHO, Antônio Carlos Pires. História da Tomografia Computadorizada. *Rev Imagem*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 29, p. 61-66, set. 2007.

Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, 2014.

GARIB, Daniela Gamba et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. *Rev Dental Press Ortod Ortod Facial*, v. 12, n. 2, p. 139-56, 2007.

HAMADA, Nobuyuki; FUJIMICHI, Yuki. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects. *Journal Of Radiation Research*, [s.l.], v. 55, n. 4, p. 629-640, 3 maio 2014. Oxford University Press (OUP).

International Commission on Radiological Protection. Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Chilton, UK: Elsevier, 2007.

JESUS, Fillipe Machado de. Projeto Piloto para o Estabelecimento de Níveis de Re-

ferência de Diagnóstico em Tomografia Computadorizada Pediátrica no Município do Rio de Janeiro, 2014.

LOUREIRO, Eduardo Cesar de Miranda. Voxel-based model construction from colored tomographic images; Construção de simuladores baseados em elementos de volume a partir de imagens tomográficas coloridas. 2002.

SANTOS, Karina Cecília Panelli; COSTA, Claudio; OLIVEIRA, Jefferson Xavier de. Tomografia computadorizada. In: FREITAS, Claudio Froes de. Imaginologia. São Paulo: Artes Médicas, 2014. Cap. 1. p. 11-25. (Abeno).

SEERAM, Euclid. Computed tomography: physical principles, clinical applications, and quality control. Elsevier Health Sciences, 2015.

SOARES, Flávio Augusto Penna; PEREIRA, Aline Garcia; FLÔR, Rita de Cássia. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. Radiologia Brasileira, [s.l.], v. 44, n. 2, p. 97-103, abr. 2011.

TAUHATA, L., et al. - Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos – IRD/CNEN, 10a Edição, 2014.

XAVIER, A.M. et al. Princípios de Segurança e Proteção Radiológica, 3a Edição, Revisada e Ampliada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2014.

4. RADIOTERAPIA

*Patrícia Fernanda Dorow
Gerusa Ribeiro
Carolina Neis Machado
Ana Sabrina Alves
Anderson Giacomo Ferraro Coutinho
Caio Vinicius de Oliveira
Caroline Salvador
Charlene da Silva
Franciele Cardoso de Vargas
Jéssica Pasqueta
José Gilmar Pereira
Leticia Harumi Watanabe Nagashima
Luiz Carlos Nascimento da Silva
Tatiane Mayla Domingos Prandi*

Segundo estimativa mundial, o número estimado de mortes por câncer em 2015 é maior do que 8 milhões, sendo previsto para 2020 mais de 17 milhões de casos de câncer.

A estimativa para o Brasil, biênio 2018-2019, é da ocorrência de 600 mil novos casos de câncer para cada ano. O tratamento para o câncer pode associar procedimentos como a cirurgia, a quimioterapia e a radioterapia ou ser exclusivo com a indicação de apenas um dos métodos.

A radioterapia é uma das principais formas de tratamento de câncer no mundo. Nessa modalidade terapêutica, os tecidos doentes são expostos a doses de radiação extremamente altas. Embora seja considerada uma das modalidades terapêuticas mais seguras para o tratamento de câncer, existem riscos potenciais envolvidos em suas atividades e erros podem resultar em incidentes graves, necessitando assim de cuidados para garantir a proteção radiológica.

Essa especialidade requer conhecimentos específicos sobre patologia, anatomia, posicionamento do paciente, física das radiações, efeitos colaterais, proteção radiológica, entre outros. Esses conteúdos serão apresentados neste capítulo de forma objetiva e de fácil interpretação. Esperamos que seja de grande valia para todos os envolvidos na área.

As principais legislações de um Serviço de Radioterapia estão apresentadas no Quadro 01.

Legislação	Publicação	Finalidade
NN 3.01 CNEN	11/03/2014	Estabelecer os requisitos básicos da proteção radiológica dos indivíduos em relação à exposição à radiação ionizante.
NN 6.10 CNEN	30/06/2017	Estabelecer os requisitos necessários à segurança e proteção radiológica, relativos ao uso de fontes de radiação constituídas por materiais ou equipamentos capazes de emitir radiação ionizante para fins terapêuticos.
NN 7.01 CNEN	21/06/2016	Estabelecer os requisitos necessários à certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica.
RDC 20 ANVISA	02/02/2016	Estabelecer o regulamento técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando à defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral.
RDC 50 ANVISA	21/02/2002	Dispor sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.
ICRU 60	30/12/1998	Quantidades fundamentais e unidades para radiação ionizante. O relatório fornece definições para quantidades fundamentais empregadas em radiometria, especificação de coeficientes de interação, dosimetria e radioatividade, além de quantidades escalares.
TECDOC 1151	2000	Aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia. Trata-se de um protocolo para controle da qualidade dos equipamentos usados em radioterapia, visando a uma padronização dos parâmetros básicos dos tratamentos radioterápicos, tanto para teleterapia quanto para braquiterapia.

Quadro 01 – Principais legislações utilizadas em serviços de radioterapia.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Percebe-se que um serviço de radioterapia é submetido a uma dupla regulação sanitária, do controle da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e da Vigilância Sanitária pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em nível federal e equipes de secretarias de saúde estaduais e municipais, em níveis regional e local. Isso se deve ao fato dessa forma de tratamento apresentar perigos potenciais, trata-se de uma área complexa em relação a normas técnicas e legislação e também é subordinada por princípios internacionais para promover o crescimento de indicadores de monitoramento dos serviços.

4.1. Câncer

Apesar da evolução relacionada à terapêutica oncológica, o termo câncer ainda é sinônimo de morte. A palavra, como é conhecida atualmente, foi utilizada pela primeira vez por Hipócrates, derivada do grego karkínos que significa caranguejo. Sabe-se que o câncer é caracterizado por um conjunto de mais de 100 doenças que podem se proliferar em todos os tecidos do corpo humano. Um fator em comum entre essas doenças é o crescimento desordenado e anormal das células, resultante de uma transformação celular e alterações no DNA. Tais mudanças na informação genética causam disfunção no processo de desenvolvimento celular, como consequência há rápida proliferação dessas células (Figura 01).

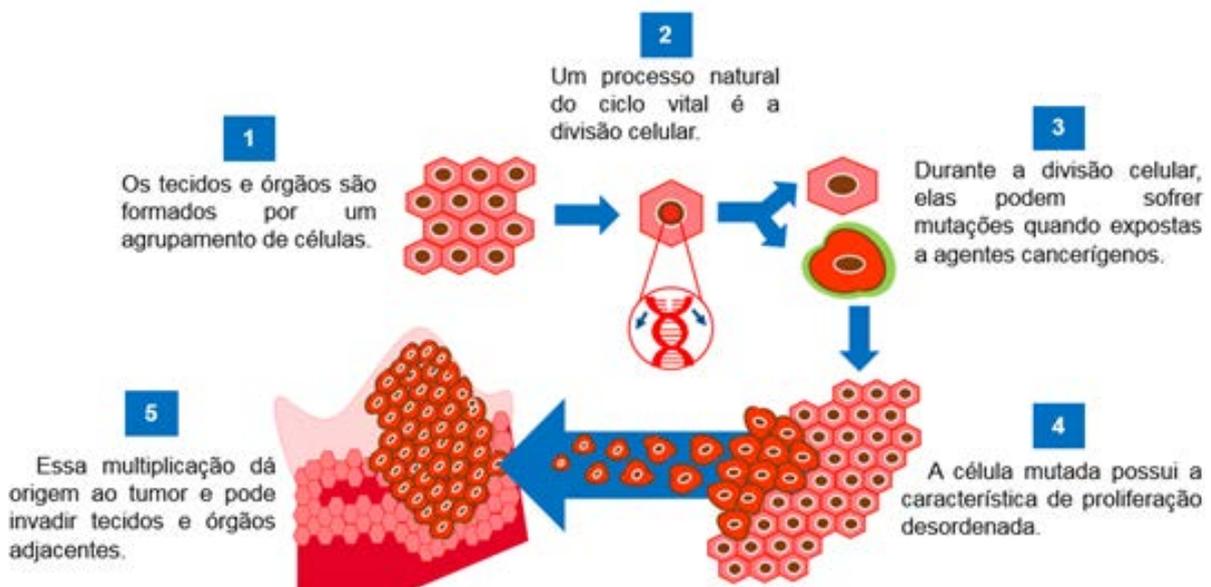


Figura 01 – Esquema didático do desenvolvimento tumoral.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

O médico oncologista é responsável por definir a terapêutica nos casos de diagnóstico de câncer. Para tanto, foi estabelecido um sistema internacional de estadiamento preconizado pela União Internacional Contra o Câncer (UICC), denominado Sistema TNM de Classificação dos Tumores Malignos. Esta classificação foi desenvolvida com o intuito de permitir ao oncologista a indicação do tratamento mais adequado para cada paciente e seu determinado tipo de câncer. O sistema baseia-se na extensão anatômica da doença, levando em conta as características do tumor primário (T), além da presença ou ausência de linfonodos (N) acometidos pela doença, e por última presença ou ausência de metástase a distância (M).

O estadiamento do câncer é um passo subsequente ao diagnóstico. Permite aos portadores da doença caracterizar o tipo de tumor, diferentes prognósticos e comportamento tumoral. O estadiamento dos tumores pode ser realizado de forma clínica ou patológica para os seguintes fins:

- auxiliar na seleção de tipos de tratamentos;
- estimar o prognóstico da doença;
- reavaliar os resultados de tratamentos;
- facilitar informações entre diversos profissionais na equipe oncológica.

4.2. Terapêutica Oncológica

A escolha do tratamento depende do estágio da doença, histologia e condições clínicas dos pacientes. A terapêutica oncológica pode ser classificada da seguinte forma:

- Exclusiva: usada quando da orientação de uma terapêutica. Ex. cirurgia ou só radioterapia.
- Concomitante: associa dois ou mais tipos de tratamentos concomitantes. Ex. radioterapia e quimioterapia.
- Neoadjuvante: terapia realizada antes do tratamento principal com objetivo de redução do tumor.
- Adjuvante: terapia realizada após o tratamento principal com propósito de destruir as células cancerígenas remanescentes.
- Paliativa: terapia que visa à melhoria na qualidade de vida do paciente, principalmente agindo na redução da algia.

Em vista disso, há distintas modalidades terapêuticas que são determinadas pela equipe médica, entre elas pode-se citar: cirurgia, radioterapia, quimioterapia, hormonioterapia, imunoterapia e terapia alvo.

Em tratamentos cirúrgicos é realizada a extração do tumor sólido e áreas adjacentes a ele, com intuito de impedir a propagação e recidiva local da doença. Essa comumente é dita como terapia principal, atuando em conjunto com a neoadjuvante e adjuvante, além de ter finalidades curativas ou paliativas.

A quimioterapia é um tratamento sistêmico veiculado pela corrente sanguínea para destruir as células, podendo ser administrado por via oral ou intravenosa. Pode ser classificada como exclusiva, concomitante, neoadjuvante, adjuvante ou ainda para controle de doenças metastáticas, esta última contribui em uma melhor qualidade de vida ao paciente. O principal objetivo quando adjuvante é reduzir o risco de recidiva sistêmica e local. Já a neoadjuvante é empregada em tumores avançados para diminuir as dimensões do tumor, facilitando a remoção cirúrgica.

A hormonioterapia e imunoterapia são classificadas como adjuvantes. A primeira age bloqueando o crescimento tumoral quando há células hormônios positivas e o segundo atua em tumores que possuem antígenos que podem desencadear respostas imunes por parte dos seus portadores.

A mais recente descoberta na oncologia é terapia-alvo caracterizada como um tratamento que combate moléculas específicas. Em razão dessa especificidade, ela não age em tecidos saudáveis eliminando os efeitos colaterais do tratamento convencional. Temos como exemplo a proteína HER-2 presente em alguns cânceres de mama. Nesse caso, é utilizado o medicamento Trastuzumabe, que é direcionado exclusivamente às células tumorais, ou seja, não há atividade em células saudáveis.

VOCE SABIA?

O grande marco do século 20 para cirurgia de neoplasias de mama foi a biópsia dos linfonodos sentinela. O procedimento consiste em uma injeção de corante vital chamado de azul patente ou marcador radioativo. Essas substâncias se comportam como um traçador, sendo absorvida pelos ductos linfáticos. Dessa forma, o linfonodo sentinela é identificado, examinado e removido para obtenção da informação do estadiamento da doença (Figura 02).

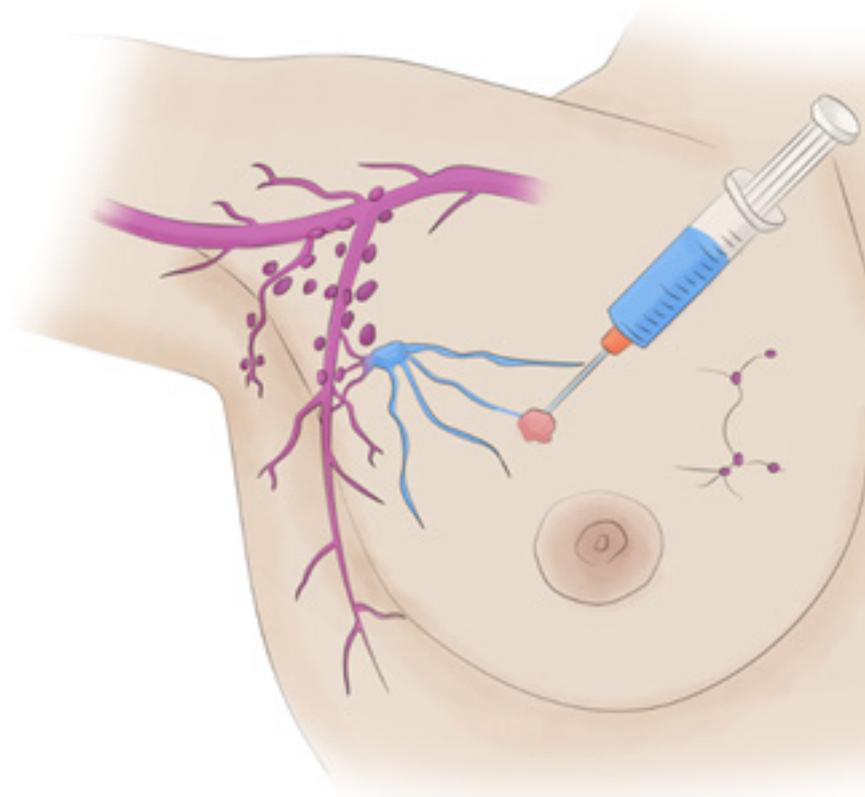


Figura 02 – Biópsia por linfonodos sentinela.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

4.3. Indicação para radioterapia

O tratamento é indicado para tumores malignos e benignos, sendo classificada em: exclusiva, neoadjuvante, adjuvante e paliativa. A radioterapia tem como objetivo principal entregar uma dose precisa de radiação em um determinado volume a fim de promover o controle da doença, garantindo a preservação dos tecidos adjacentes.

Alguns tipos de câncer são considerados radiosensíveis. Nesse caso, a radioterapia pode ser utilizada para destruir todas as lesões cancerígenas ou ainda para diminuir o tamanho da lesão para posteriormente realizar uma cirurgia.

Outra finalidade da terapia é o impedimento da recidiva da doença, visto que após a cirurgia existe a possibilidade de algumas células permanecerem no local de origem e, portanto, é realizada a radioterapia mesmo que estas células não sejam detectáveis em exames de radiodiagnóstico. Além disso, pode-se tratar profilaticamente a área onde existe a maior frequência de propagação da doença. Em casos de carcinoma pulmonar de pequenas células, por exemplo, é realizada irradiação profilática do sistema nervoso central, já que é um sítio com alto índice de metástase.

Em alguns casos clínicos, o câncer se encontra metastizado para outros sítios diferentes do primário. Nessas circunstâncias, pode haver sintomas como dor intensa, sangramento e compressão de órgãos. A radiação pode ser utilizada para torná-los menores e aliviar os sintomas causados pelo estágio avançado da doença.



A radioterapia de baixa energia pode ser utilizada no pós-operatório para impedir o desenvolvimento de queiloide.

4.4. O que é radioterapia?

É uma modalidade dentro do espectro terapêutico da oncologia que utiliza radiações ionizantes advindas de partículas ou ondas de alta energia. Essa radiação ionizante pode ter diferentes energias e, portanto, estas são denominadas de formas distintas.

Logo, o objetivo principal da radioterapia é destruir células tumorais e promover o controle local. A radiação atua diretamente promovendo quebras no DNA dentro das células e indiretamente pela ação de produtos da radiólise da água na molécula de DNA, os chamados radicais livres. Essas quebras provocam a morte da célula que ocorre por catástrofe mitótica, apoptose (suicídio) e necrose ou senescência.

A radioterapia é classificada em duas formas de tratamento:

Teleterapia é quando a fonte está a certa distância do paciente (Figura 03).

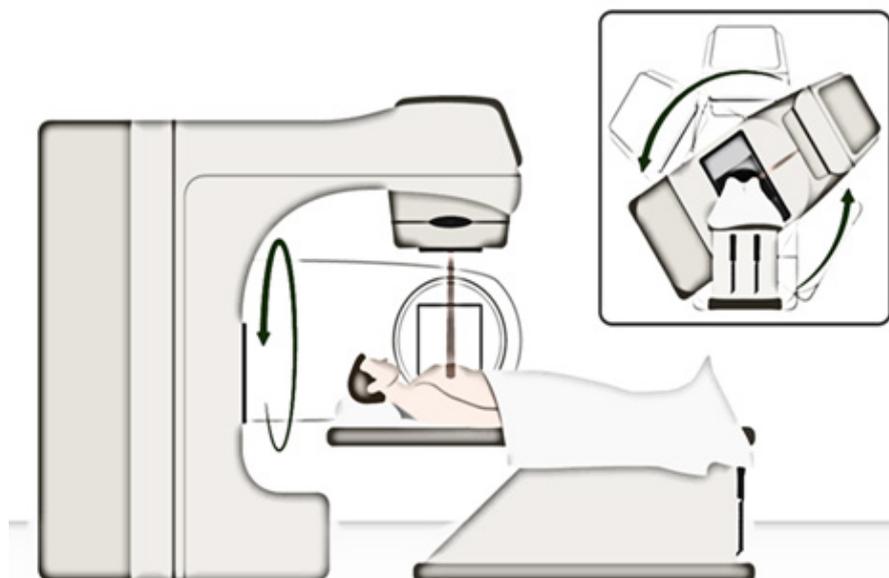


Figura 03 – Teleterapia.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Braquiterapia é quando a fonte radioativa está em contato com o tumor (Figura 04).

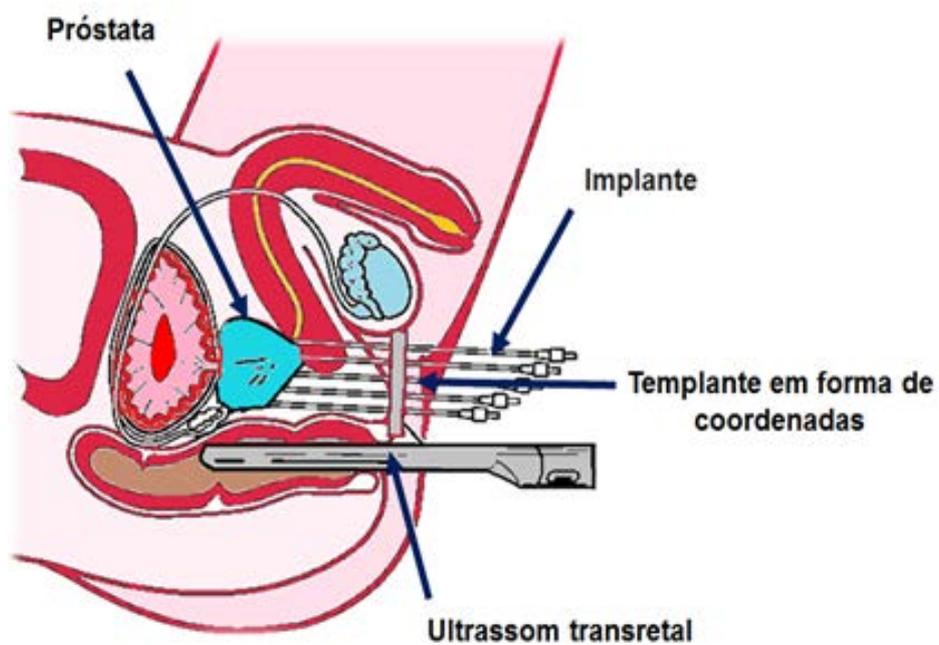


Figura 04 – Braquiterapia.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A escolha das modalidades de tratamento citadas é realizada de acordo com as indicações clínicas de cada paciente, considerando o estadiamento da doença. Nas sessões de teleterapia, de um modo em geral, a dose prescrita pelo rádio-oncologista é aplicada ao paciente diariamente, com pausa nos fins de semana.



Existem razões para a radioterapia ser administrada somente em cinco dias consecutivos e não haver tratamento nos fins de semana. Um motivo para isso é que em cada ciclo celular dos tecidos tumorais existe uma sensibilidade diferente à radiação, ou seja, a fase de crescimento celular e preparação para a mitose (G2) e a fase de replicação celular propriamente dita (M) são mais radiosensíveis à radiação. Dessa forma, o fracionamento da dose permite que as células sincronizem o ciclo celular nessas fases radiosensíveis, causando uma maior apoptose nas células tumorais. Quanto ao intervalo dos fins de semana, este é necessário para que haja a recuperação dos danos causados aos tecidos saudáveis adjacentes ao tumor, uma vez que esses possuem uma resposta mais rápida de reparo celular quando comparados a células tumorais. Porém, existem outros mecanismos que não foram descritos e são considerados na escolha da dose e do fracionamento para o tratamento radioterápico.

4.5. Diferenças entre os Tratamentos de Radioterapia e Quimioterapia

Ambas as terapêuticas são modalidades de tratamento oncológico, sendo capazes de destruir células tumorais. A quimioterapia utiliza medicações sistêmicas distribuídas a todo o corpo e a radioterapia é de ação loco regional (Quadro 02).

Diferenças	Quimioterapia	Radioterapia
Como é realizado?	Administração de alguns quimioterápicos: Altretamina, Busulfan, Carboplatina e Carmustine.	Algumas técnicas de tratamento 3D, IMRT e VMAT.

Via de administração	Oral e endovenosa.	Tratamento localizado em uma região do corpo.
Efeitos adversos	Efeito sistêmico.	A intensidade dos efeitos varia de acordo com o tumor e de paciente para paciente.

Quadro 02 – Principais diferenças entre quimioterapia e radioterapia.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

É importante lembrar que essas duas formas de tratamento também podem ser utilizadas em conjunto. No caso da radioterapia, as técnicas de tratamento são diversas, bem como no caso da quimioterapia existem inúmeros medicamentos que podem ser aplicados por via venosa ou oral (Figura 05).

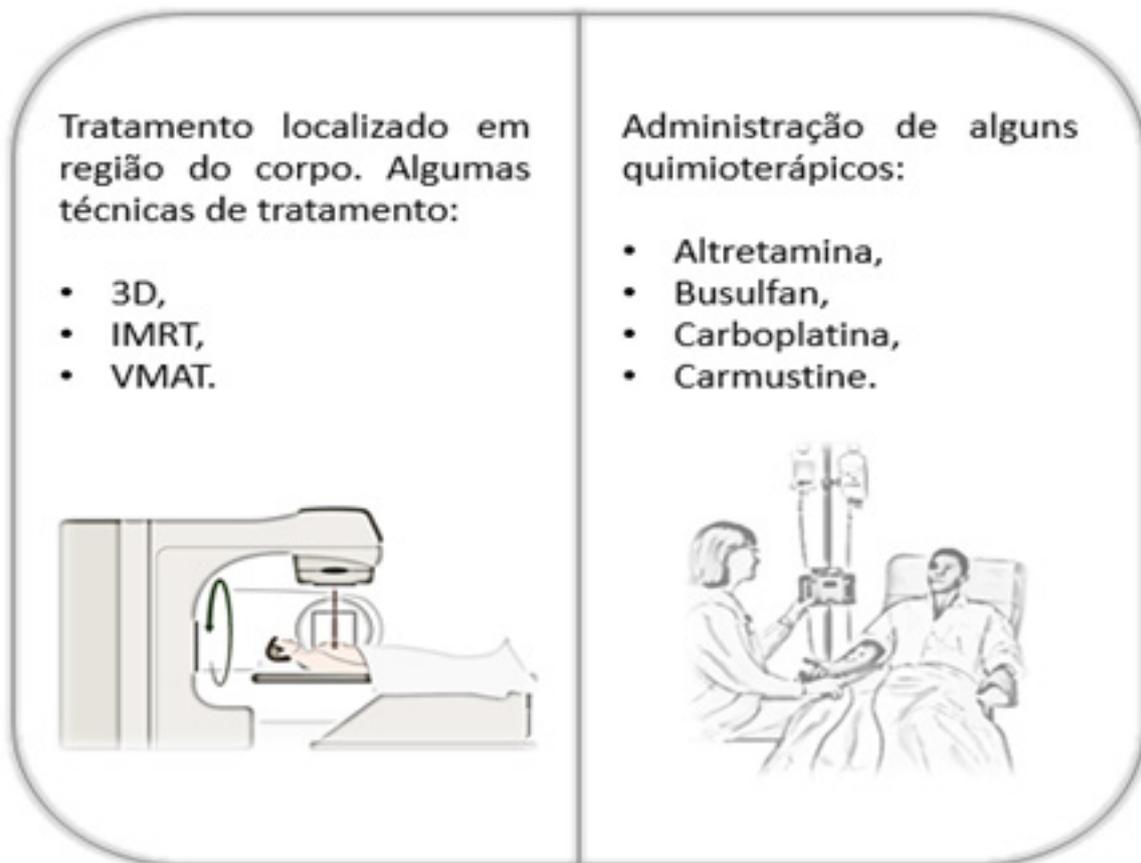


Figura 05 – Tratamentos x quimioterápicos.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

4.6 Processo radioterapêutico

A radioterapia consiste em um conjunto de etapas e procedimentos que estão sujeitos a certo grau de incertezas. De maneira geral, a preparação e a execução da radioterapia são complexas e envolvem riscos e perigos inerentes ao processo. Em todas as etapas existe a possibilidade de ocorrerem erros e incidentes, há uma grande necessidade de que todos os profissionais envolvidos estejam devidamente treinados e que realizem suas tarefas com exatidão, precisão e de maneira cautelosa. Partindo desse princípio, a preparação e execução do tratamento radioterápico são tarefas multidisciplinares, nas quais cada profissional tem papel indispensável (Figura 06).

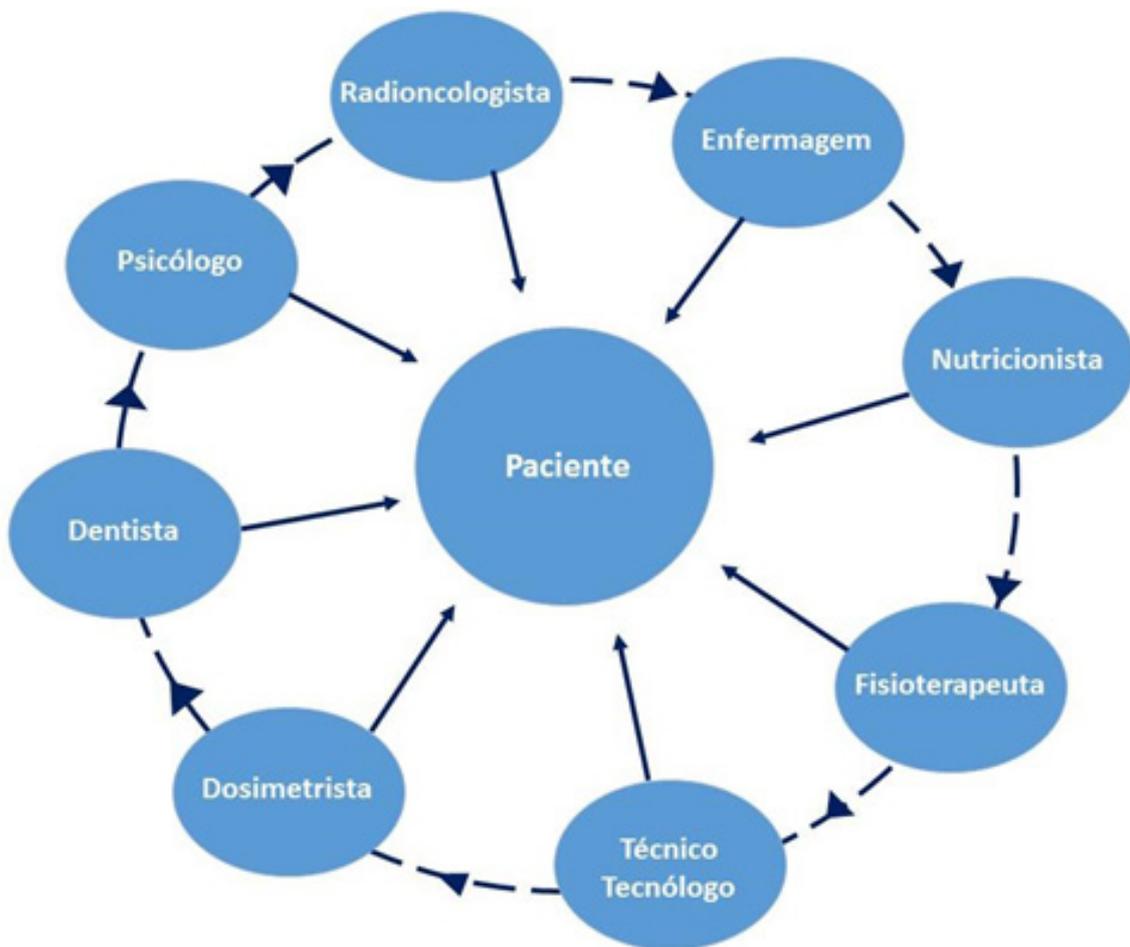


Figura 06 – Equipe multidisciplinar envolvida no tratamento radioterápico.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Na fase inicial, é papel da recepção acolher este paciente para posteriormente realizar a primeira consulta com o radio-oncologista, na qual serão definidos a modalidade de tratamento, a prescrição e o fracionamento da dose. Ressalta-se que a dose a ser administrada depende da finalidade do tratamento, da radiosensibilidade do tumor, da dimensão da lesão, da proximidade com os tecidos normais e

da tolerância destes ao receber a radiação.

Após esta etapa, o paciente será encaminhado à equipe de enfermagem para receber as primeiras orientações referentes à tomografia computadorizada de simulação. Na sequência, a dosimetrista realizará a tomografia de simulação que será instrumento para a localização do tumor, neste exame será realizada a escolha dos acessórios imobilizadores. O posicionamento e a imobilização, em qualquer patologia, têm como principal objetivo proporcionar, ao longo de todo o tratamento, o maior conforto, a estabilidade e reprodutibilidade.

Estabelecido o posicionamento, é realizada a marcação na pele do paciente com o auxílio de lasers externos ao tomógrafo posicionados na sala de exame, geralmente com tinta fucsina ou canetas. Estas marcações serão protegidas com uma fita chamada de Tegaderm® e serão o ponto de origem para o planejamento e posicionamento durante todo o tratamento. Os pacientes ou cuidadores não devem, em hipótese alguma, fazer a substituição das mesmas, sendo que tanto os pacientes quanto os profissionais devem tomar cuidado para que essas marcações sejam mantidas até o fim do tratamento.

É importante esclarecer que planejamentos em três dimensões somente são possíveis com imagens tomográficas, já que estes são realizados por Sistemas de Planejamento de Radioterapia que operam apenas com esta categoria de exame radiodiagnóstico. Contudo, exames complementares podem fazer parte do processo, tal como imagens de ressonância magnética, PET/CT e angiografias.

A etapa seguinte é a construção do plano de tratamento que envolve a participação de três profissionais: radio-oncologista, dosimetrista e físico médico. Primeiramente, é necessário o delineamento dos volumes alvos e órgãos de risco. Segundo a ICRU 50, complementada pela ICRU 62, para qualquer planejamento de tratamento devem ser definidos os seguintes volumes (Figura 07).

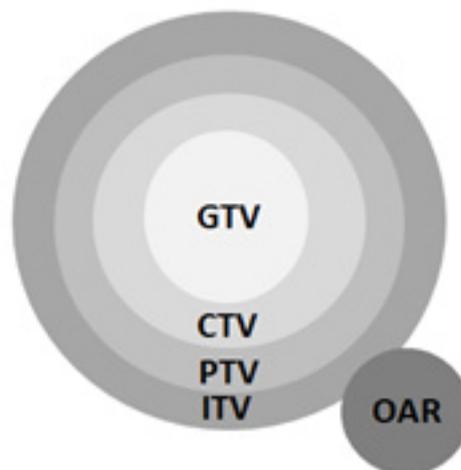


Figura 07 – Definições de volumes alvos e órgãos de risco.

Fonte: Adaptado de (CHAVAUDRA; BRIDIER, 2001).

- GTV (volume de tumor macroscópico) indica parte do crescimento maligno (extensão e localização) onde a densidade tumoral é maior.
- CTV (volume microscópico ou clínico) aponta o tumor manifesto e também o volume que se tem suspeita da existência do tumor subclínico.
- PTV (volume de planejamento) CTV + margem deve-se levar em conta devido às variações geométricas durante o tratamento, assegurando que a dose pres-

crita é realmente absorvida pelo CTV.

- ITV (volume total irradiado) é o volume de tecido irradiado que recebe uma dose significativa em relação à tolerância do tecido normal.
- OAR (órgãos de risco) são tecidos normais que, pela sua radiosensibilidade, podem influenciar o planejamento e/ou a prescrição de dose.

Na etapa de planejamento, a imagem tomográfica tridimensional permite uma melhor visualização da distribuição de dose do planejamento, de forma que alcance a homogeneidade e conformidade das doses prescritas. Para isso, são definidos alguns parâmetros pelo físico médico, sendo alguns destes: angulação do feixe, energia de feixe, tamanho do campo, peso e filtro. Também é atribuição do físico médico, no processo terapêutico, garantir a calibração dos conjuntos dosimétricos e a funcionalidade dos aceleradores lineares.

Ainda na fase de planejamento, há inclusão do profissional dosimetrista que auxilia diretamente o físico médico. Entre suas funções, podemos citar: auxiliar no plano de tratamento e controle de qualidade do acelerador linear, acompanhar a realização da tomografia computadorizada e simulação do tratamento, além da confecção dos imobilizadores e escolha dos acessórios que o paciente utilizará durante todo o tratamento.

Posteriormente, ao término do planejamento, o plano de tratamento é avaliado pelo radio-oncologista e, quando necessário, os parâmetros podem ser modificados até que se obtenha um resultado adequado. A aprovação do plano permitirá o início do tratamento com os profissionais das técnicas radiológicas, sendo estes técnicos ou tecnólogos. Por vezes, há uma etapa anterior a esta, na qual é realizada a fabricação de um ou mais blocos de colimação para cada paciente.

Quanto às funções dos profissionais das técnicas radiológicas, podemos destacar que estes são responsáveis pela aplicação do tratamento radioterápico seguindo a prescrição do radio-oncologista, do físico médico e do dosimetrista. Além disso, esse profissional realiza o posicionamento e a imobilização do paciente, preparação da sala de tratamento e administração da dose, além de imagens de checagem ao longo do tratamento. Por fim, são estes profissionais que efetuam os registros regularmente na ficha-técnica do paciente e verificam se os parâmetros de segurança do acelerador linear estão dentro dos limites estabelecidos.

Durante o seguimento terapêutico, o paciente será acompanhado e monitorado de forma próxima pela equipe de enfermagem e o radio-oncologista. A enfermagem realiza às orientações ao paciente e familiares, monitora o paciente ao longo do tratamento radioterápico, verificando suas necessidades e dispensando-lhe todos os cuidados que possam ser necessários. A enfermagem é primordial nos cuidados dos efeitos colaterais do tratamento, que serão apresentados à frente. Outros profissionais podem estar intrínsecos ao processo, tais como:

- o nutricionista que realizará intervenção nutricional específica para o estado clínico de cada paciente;
- o psicólogo que será o apoio psicossocial e psicoterapêutico diante das consequências terapêuticas, a fim de contribuir em uma melhor qualidade de vida;
- o estomatologista também atua na qualidade de vida com o objetivo de minimizar ou até mesmo evitar a possibilidade de infecções orais e outros efeitos advindos do tratamento;
- o fisioterapeuta atua na preservação, manutenção, no desenvolvimento e

na restauração da integridade cinético-funcional de órgãos e sistemas do paciente, assim como na prevenção dos distúrbios causados pelo tratamento oncológico.

A equipe multidisciplinar é composta por diversos profissionais, cada qual com sua qualificação que, em conjunto, contribuem com um único objetivo de atender à demanda de cada paciente e proporcionar um tratamento efetivo. Vale lembrar que outros profissionais podem estar inclusos no processo do tratamento oncológico.

Fluxograma do processo e equipe multidisciplinar em teleterapia e braquiterapia

No fluxograma da Figura 08, apresenta-se o curso de atendimento do paciente no serviço de radioterapia, desde a primeira avaliação pelo médico radio-oncologista até a alta do tratamento.

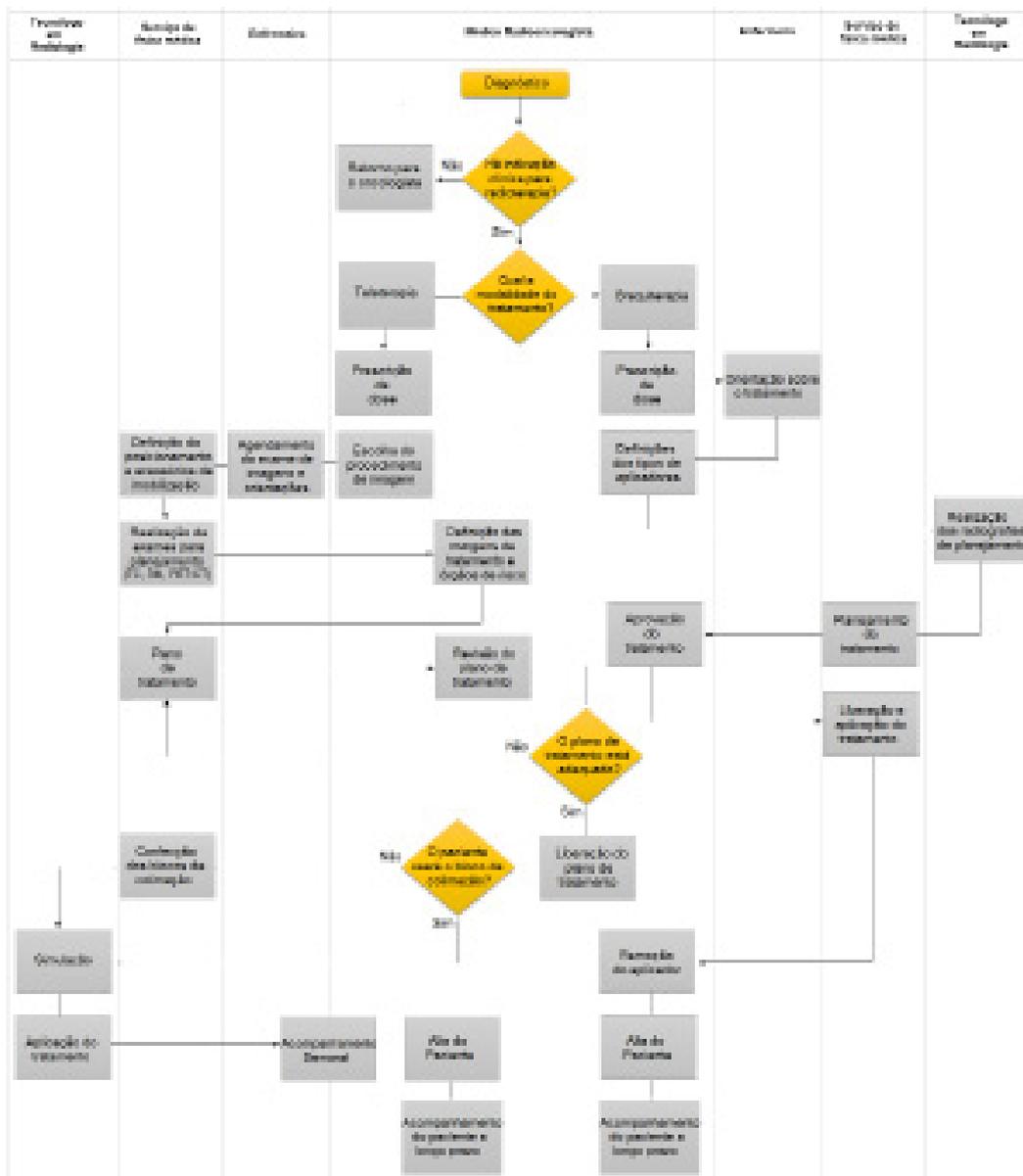


Figura 08 – Fluxo do paciente na radioterapia.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Percebe-se que são inúmeras atividades que precisam ser realizadas por diferentes profissionais para garantir a proteção radiológica em radioterapia. Parte-se da justificção pela escolha do tratamento que deve considerar a possibilidade de efeitos determinísticos e estocásticos na região fora do volume alvo. Além disso, a operação dos equipamentos ocorre somente por profissionais treinados que sejam conscientes da obrigação de minimizar a possibilidade de acidentes. Porém, a equipe multidisciplinar deve saber agir em situações de acidentes ou incidentes, bem como aplicar as normas de radioproteção (Figura 09).

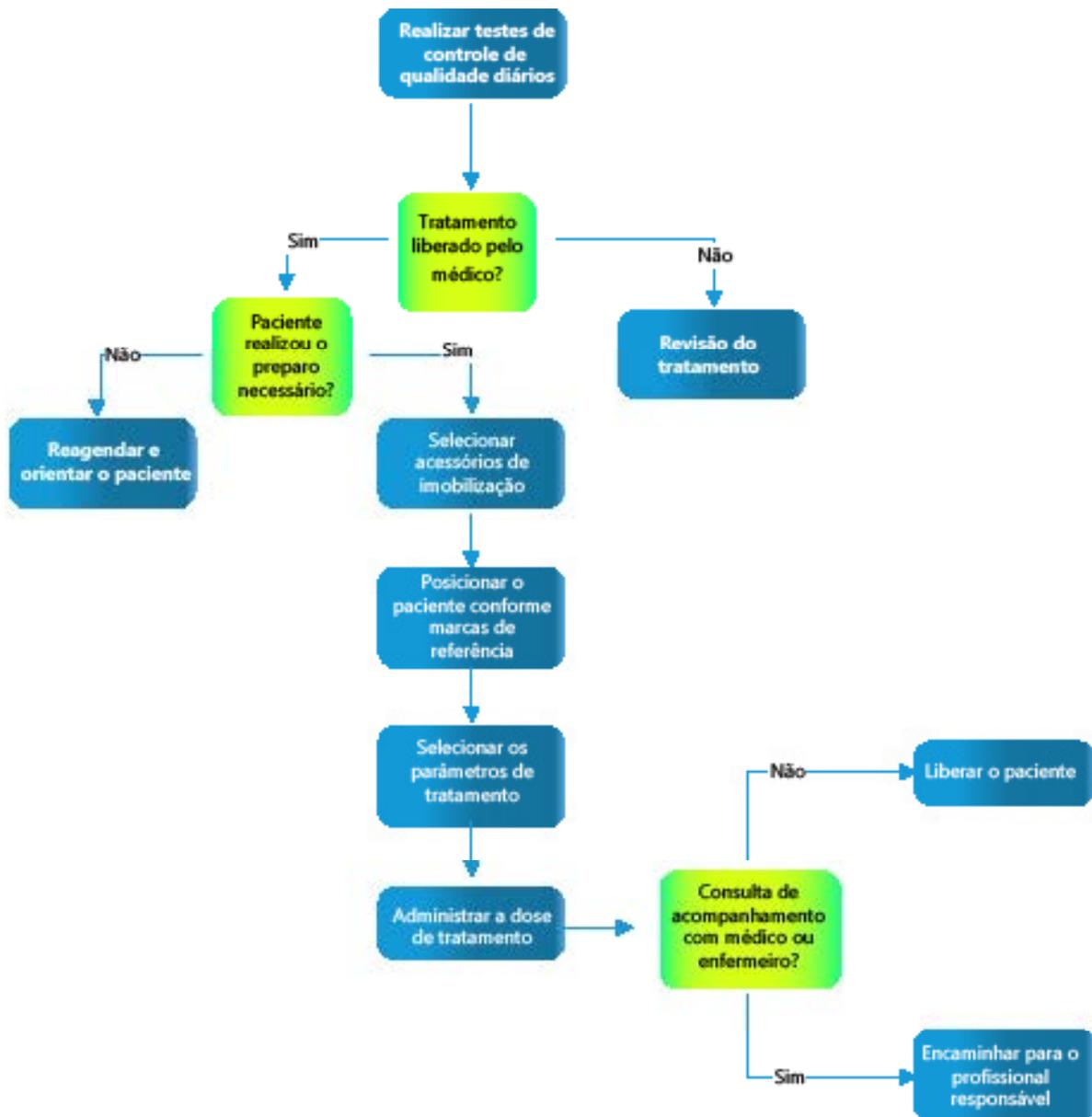


Figura 09 – Fluxo da rotina diária do acelerador linear.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A realização de testes diários de controle de qualidade e a existência de uma rotina diária com diversos parâmetros devem ser observados pelo profissional das técnicas radiológicas (técnico/tecnólogo em radiologia) antes da primeira administração da dose de radiação. Além disso, o controle de qualidade dos instrumentos de medida por meio da calibração periódica é fundamental. Esse controle e monitoração das medidas de segurança, bem como a realização de correções e reparos é função do supervisor de radioproteção do serviço.

4.7. Equipamentos utilizados em radioterapia

Teleterapia

Conhecida como radioterapia externa, é realizada com o uso de aceleradores lineares, aparelhos de cobalto, gamma Knife, entre outros. A teleterapia é uma técnica de tratamento em que a fonte de irradiação é mantida a uma distância fixa em relação ao paciente. As distâncias normalmente usadas são de 80 cm para os aparelhos de cobalto (Figura 10) e de 100 cm para os aceleradores lineares.

Irradiadores com radioisótopos: cobalto



Figura 10 – Irradiador de cobalto-60.
Fonte: Alex Guenther Ilustrações

Este tipo de irradiador utiliza a radiação gama (γ). Trata-se de uma fonte radioativa de cobalto-60 (Co-60), encapsulada ou “selada” (hermeticamente fechada) e blindada, para impedir a passagem de radiação. No momento da utilização, a fonte é deslocada de sua posição “segura”, dentro do cabeçote de proteção (feito de chumbo e aço inoxidável) para a frente de um orifício que permite a passagem de um feixe de radiação, concentrado sobre a região a ser “tratada” ou irradiada. Após o uso, a fonte é recolhida para a posição de origem (“segura”). A fonte mais utilizada em radioterapia é a de cobalto-60. A fonte é cilíndrica, encapsulada por aço com diâmetro de aproximadamente 1 e 2 cm e 2,5 de comprimento. A atividade é de até 296 TBq (8000 Ci) e o tempo de meia-vida do ^{60}Co é de 5,26 anos. Em relação aos aparelhos de cobalto, devido restrições contidas na RDC 20/2006 no que diz respeito ao rendimento para fins terapêuticos, os equipamentos estão sendo aos poucos substituídos pelos Linacs. A RDC 20/2006 da ANVISA determina que é vedada a utilização em teleterapia de fontes de cobalto-60 cujo rendimento seja inferior a 50 cGy/min na profundidade de 5 cm, medido a partir de um campo de 10 x 10 cm.

Gamma Knife

É um aparelho dedicado à realização de radiocirurgia estereotáxica, não invasiva, sem uso de bisturi nem incisão (sem corte). O design exclusivo de Gamma Knife permite o tratamento de tumores cerebrais inacessíveis, entre os quais destacam-se: neuralgia do trigêmeo, vestibular schwannoma, neurinomas do acústico, malformações arteriovenosas, mal de Parkinson e epilepsias. As fontes de cobalto-60 usadas no tratamento com Gamma Knife® têm seus movimentos controlados por um avançado sistema computadorizado de acordo com planejamento prévio realizado em software específico.

O Gamma Knife normalmente contém 201 fontes de cobalto-60 com atividade aproximada de 30 Ci cada uma. Tumores da coluna espinhal não podem ser tratados por esta técnica, somente pacientes com lesões situadas até o nível da terceira vértebra cervical podem ser beneficiados por este tratamento.

Acelerador Linear – Linac

Os linacs médicos usam feixes de elétrons monoenergéticos entre 4 e 25 MeV, produzindo uma saída de raios X de alta energia. Os raios X produzidos podem ser usados para tratar doenças benignas e malignas. O equipamento ao ser desligado deixa de emitir radiação, diferentemente da fonte de cobalto, que é um emissor permanente de radiação gama. Nos aceleradores lineares, a distância entre a fonte e o isocentro de tratamento é de 100 cm (Figura 11).

O uso prolongado de máquinas de alta potência (> 18 MeV) pode induzir uma quantidade significativa de radiação nas partes metálicas da cabeça da máquina após a remoção da energia da máquina (isto é, elas se tornam uma fonte ativa e as precauções necessárias devem ser observadas).

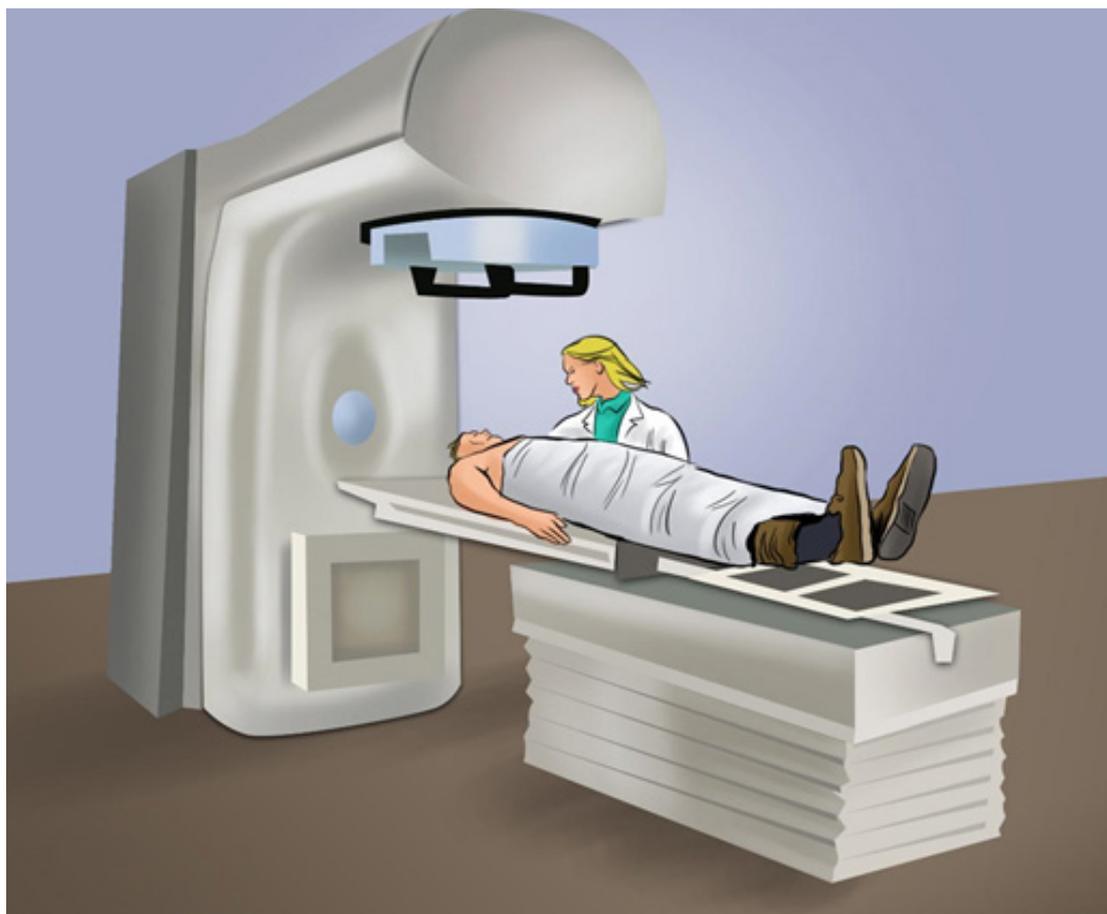


Figura 11 – Acelerador linear.
Fonte: Alex Guenther Ilustrações

Braquiterapia

Diferentemente dos métodos de teleterapia, a braquiterapia utiliza fontes radioativas para tratamento de câncer ou outras lesões de forma que esta fonte é posicionada no interior ou próxima da região de interesse, como nos casos de câncer de próstata (Figura 12). As fontes são encapsuladas e podem ser permanentes ou usadas por curtos períodos de aplicação. A forma de aplicação depende da região a ser tratada e do acesso a esta região, podendo ser superficial, intracavitária, intraluminal e intersticial.

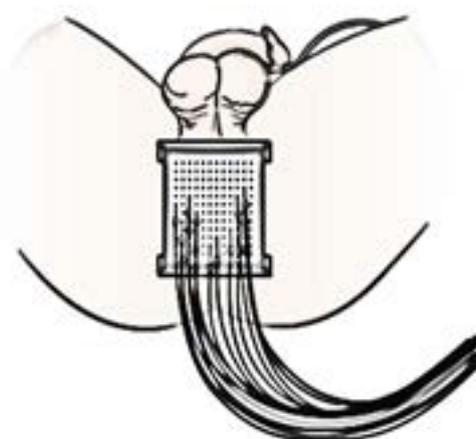


Figura 12 – Aplicação da braquiterapia.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A braquiterapia pode ser classificada quanto à taxa de dose: baixa, média e alta taxa (Quadro 03).

Classificação	Taxa de dose
Baixa taxa de dose (Low Dose Rate – LDR)	0,4 - 2 Gy/h
Média taxa de dose (Medium Dose Rate – MDR)	2 - 12 Gy/h
Alta taxa de dose (High Dose Rate – HDR)	> 12 Gy/h

Quadro 03 – Classificações da braquiterapia.
Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA et al., 2009).

Irradiador de braquiterapia HDR

Na modalidade HDR, devido à alta taxa de dose, é utilizado um irradiador que desloca a fonte no interior de cateteres, denominados aplicadores, e recolhe ao término da exposição (Figura 13).

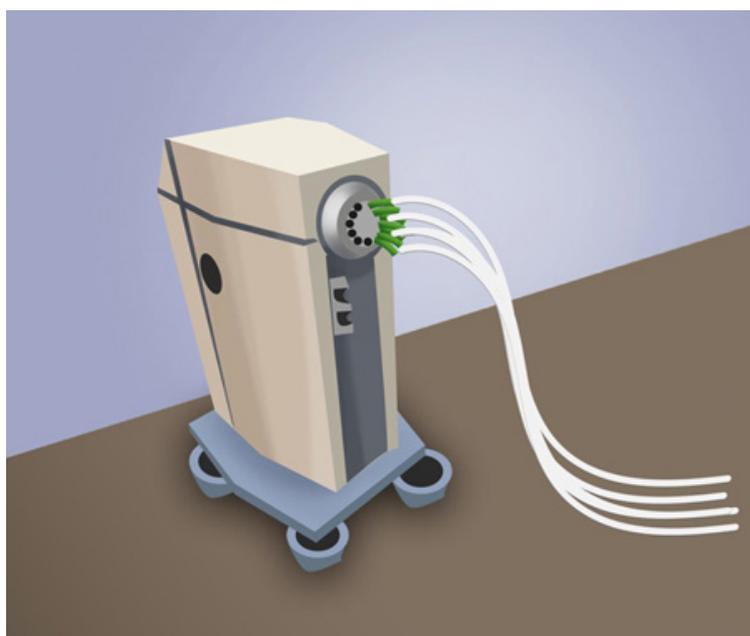


Figura 13 – Irradiador de braquiterapia.
Fonte: Alex Guenther Ilustrações

O irradiador é composto por: alojamento blindado, tubos de transferência, aplicadores e a fonte radioativa. A fonte fica acondicionada no interior da blindagem até ser movimentada para a posição de tratamento por intermédio de tubos de transferência. A fonte mais utilizada atualmente é o irídio-192, com atividade em torno de 10 Ci e tempo de meia-vida igual a 74,2 dias. Por razões de segurança, não é permitido instalar fontes de irídio-192 com atividade superior a 12 Ci.

4.8. Garantia da qualidade

O Programa de Garantia da Qualidade tem como finalidade aferir os parâmetros mecânicos, radioativos e dosimétricos dos equipamentos, com o objetivo de verificar que não existem discrepâncias entre os dados medidos e os dados do comissionamento, a fim de garantir a eficácia do tratamento (Figura 14).



Figura 14 – Testes realizados na radioterapia.

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2000).

Testes diários

São testes com a finalidade de verificar a funcionalidade dos equipamentos, entre os quais pode-se destacar: verificação de luz de campo, verificação de tamanho de campo, movimento da mesa, luz de irradiação, funcionamento dos lasers, escala óptica, sistema de visualização e interrupção de radiação ao abrir a porta.

Para garantir que os valores comissionados sejam verificados, são realizados testes mecânicos, radioativos e dosimétricos.

Testes mecânicos: com periodicidade mensal, tem o objetivo de verificar os parâmetros dos equipamentos de teleterapia. Os principais testes mecânicos são: verificação da escala óptica (telêmetro), lasers, isocentro mecânico, tamanho de campo e coincidência entre campo de luz e campo de radiação.

Testes radioativos: os principais testes realizados nos serviços de teleterapia são – isocentro radioativo do colimador, do gantry e da mesa. São de periodicidade mensal com o objetivo de verificar o isocentro da máquina.

Testes dosimétricos: tem como finalidade verificar o fator de calibração da máquina em relação ao valor definido durante o comissionamento, admite-se um desvio máximo de 2% em relação ao valor comissionado, com periodicidade mensal.

Os valores de tolerância aplicados aos testes acima podem ser 2 mm quando se tratar de distância e 1º quando envolver angulações.

Todos os testes referentes à garantia da qualidade podem ser encontrados no TecDoc 1151 – Aspectos físicos da garantia de qualidade em radioterapia.

4.9 Efeitos colaterais da radioterapia

Os efeitos adversos ocasionados pela radioterapia variam de acordo com a área a ser irradiada, o volume e a sensibilidade do tecido irradiado, tipo de fracionamento das aplicações, tipo de radiação utilizada, dose acumulada na região exposta, concomitância de outros tipos de tratamentos, bem como com as individualidades de cada paciente.

O Quadro 04 apresenta as principais toxicidades relacionadas ao tratamento radioterápico, divididas por região anatômica, incluindo os cuidados que devem ser tomados pelo paciente.

Região anatômica	Efeitos adversos	Cuidados
Crânio	Edema cerebral, cefaleia, convulsão, náusea e vômito, parestesia, alopecia, perda auditiva e visual, otalgia.	Evitar operar máquinas ou dirigir veículos, evitar o excesso de luminosidade, utilizar chapéu ou lenço na cabeça.
Cabeça e pescoço	Disfagia, odinofagia, mucosite oral, afonia, estomatite, infecções orais, diminuição na produção de saliva, xerostomia, alterações gustativas e olfativas, ulcerações orofaríngeas, trismo, osteonecrose, anorexia, perda auditiva e visual, rouquidão e radiodermite.	Os cuidados para radiodermite são hidratação da pele com produtos à base de ácidos graxos conforme prescrição médica, utilização de creme barreira, fazer compressas com chá de camomila e utilizar protetor solar sempre que ficar exposto ao sol; fazer bochechos diários com nistatina, bicarbonato de sódio ou chá de camomila, aumentar a ingestão de água, realizar adequada higiene oral, utilizar protetores labiais e dar preferência a alimentos pastosos, pacientes traqueostomizados devem atentar para os cuidados de higiene com a mesma.

Pulmão	Pneumonite, tosse, dispneia ou desconforto respiratório e fibrose pulmonar.	Avaliar a necessidade de oxigenioterapia e parar de fumar.
Esôfago	Radiodermite, esofagite, disfagia, náusea e vômito, inapetência, anorexia e fibrose esofágica.	Avaliar a necessidade do uso de sonda nasoenteral ou gastrostomia e orientar sobre os cuidados com as mesmas, atentar para os sinais de radiodermite (eritema, calor, rubor, dor) e realizar os cuidados adequados para o grau de evolução..
Mama	Eritema e radiodermite.	Atentar para ocorrência de edema em membros superiores, para possíveis cuidados fisioterápicos, evitar carregar peso excessivo e, em casos de radiodermite, realizar os cuidados necessários e utilizar roupas mais leves e soltas para evitar o atrito com a pele.
Abdome	Náusea e vômito, inapetência, saciedade precoce, mucosite peritoneal, anorexia e desidratação.	Alimentar-se a cada 3 horas, dar preferência a alimentos leves, aumentar a ingesta de água e manter uma dieta rica em fibras.
Pelve	Alteração do padrão intestinal (diarreia ou constipação), cistite actínica, disúria hematuria, retite actínica, alterações na mucosa vaginal, metrorragia, leucorreia, disfunção sexual e infertilidade.	Avaliar a frequência e o aspecto das eliminações fisiológicas, pacientes em uso de urostomia, cistostomia, cateter vesical, colostomia e ileostomia devem receber orientações sobre os cuidados com as mesmas; orientar sobre a necessidade de utilização de preservativos durante as relações sexuais.
Coluna/medula espinal e membros superiores e inferiores	Alterações neurológicas, parestesias, atrofia muscular e mielossupressão.	Avaliar o nível de dor do paciente e oferecer suporte adequado (posições confortáveis, coxins, andadores, muletas, medicamentos, etc.) para amenizar as algias.

Quadro 04 – Principais toxicidades do tratamento radioterápico.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Dentro do grande número de efeitos colaterais que pode resultar do tratamento radioterápico, achamos relevante apresentar as definições daqueles que são considerados mais comuns, tais como:

- Radiodermite: inflamação da derme ocasionada pela exposição à radiação ionizante. A radiodermite pode ser classificada em graus que vão de 0 a 4, a depender da gravidade de cada caso.
- Mucosite: reação inflamatória da mucosa oral e caracteriza-se por eritema e edema na mucosa.

- Xerostomia: cavidade oral seca.
- Trismo: espasmo prolongado dos músculos da mastigação.
- Disfagia: dificuldade em deglutir os alimentos.
- Constipação intestinal: dificuldade em evacuar.
- Inapetência: perda do apetite.
- Anorexia: perda de peso.
- Náuseas e êmese: desconforto gástrico acompanhado de vômito.
- Disúria: dor ou ardência ao urinar.
- Hematúria: presença de sangue na urina.
- Metrorragia: sangramento vaginal.

De uma maneira geral, os pacientes devem estar atentos para alguns cuidados que devem ser tomados nas fases pré e pós-tratamento.

Cuidados pré-tratamento:

- Manter os dados pessoais atualizados.
- Trazer para as consultas os exames anteriores e a receita médica, se fizer uso de medicação contínua.
- Hidratação do corpo e da pele são fundamentais para a realização do tratamento, fazer a ingestão de líquidos é vital para prevenir desidratação e lesões de pele causadas pelo tratamento.
- Realizar tricotomia da área a ser irradiada.
- Passar por avaliação odontológica para tratamento de possíveis lesões dentárias antes do início do tratamento.
- Para alguns tratamentos, principalmente os do aparelho digestivo, é necessária a colocação de uma sonda para alimentação.
- Para os tratamentos de lesões de cabeça e pescoço, pode ser necessário a utilização de traqueostomia em função de possíveis desconfortos respiratórios durante o tratamento.

Cuidados durante o tratamento:

- Todo paciente pode ter vida social normal, sair, ir a festas, passeios, dançar e manter atividade sexual.
- Evitar extremos de calor e frio (bolsa de água quente ou gelo) sobre a pele irradiada.
- Proteger a área de tratamento da exposição solar com uso de filtro solar com fator de proteção superior a 30.
- Somente utilizar produtos para pele indicados pelo médico ou enfermeiro.
- Não esfregar, coçar, arranhar ou escovar a pele irradiada.
- Estimular a ingestão hídrica de 2 a 3 litros de líquido (água, suco, água de coco) por dia.
- Evitar fumar e ingerir bebida alcoólica durante o tratamento.
- Quando for ao banheiro, realizar a higiene com água e sabonete neutro, evitando o uso de papel higiênico, e secar com pano limpo.

- O uso de medicamentos deve ser somente conforme prescrição médica.

Cuidados pós-tratamento:

- Proteger a área irradiada do sol.
- Informar ao serviço de radioterapia se começar a apresentar sintomas indesejados logo após o término do tratamento.
- Evitar a automedicação.
- Evitar alimentos de difícil digestão (carne, frituras, alimentos com alto teor de gordura, condimentos e doces).
- Comparecer aos retornos médicos previamente agendados.

Mapa da radioterapia no Brasil

Atualmente, existem instalados e autorizados para funcionar no Brasil 233 serviços de radioterapia, distribuídos em 24 estados e no Distrito Federal, e 156 desses serviços prestam atendimento ao Sistema Único de Saúde no país (Figura 15).

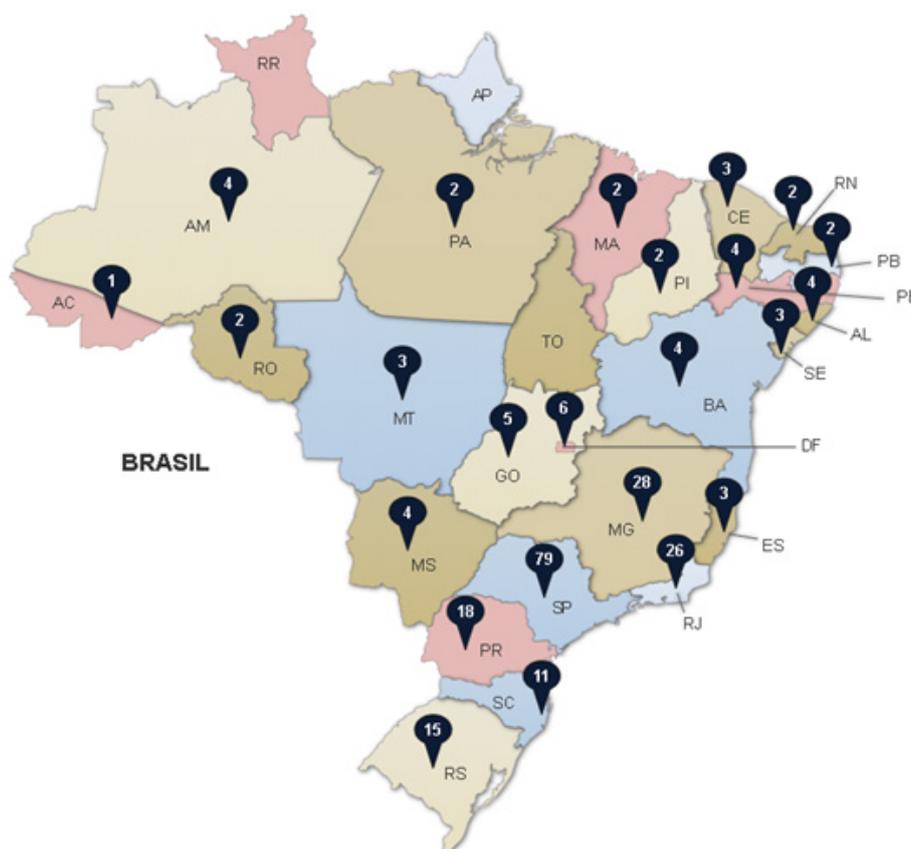


Figura 15 – Serviço de radioterapia no Brasil.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

O Ministério da Saúde, por meio da Portaria nº 140, de 27 de fevereiro de 2014, coloca como ideal a razão de 1 serviço SUS para cada 500 mil habitantes. Considerando que a população brasileira está próxima dos 209 milhões (IBGE, outubro de 2018), o país apresenta um déficit de serviços/equipamentos de radioterapia. Para ampliar o acesso da população ao tratamento radioterápico, o Ministério da Saúde está implantando o Plano de Expansão da Radioterapia, em que 140 aceleradores lineares serão distribuídos pelo país.

4.10. A descoberta das novas tecnologias

No final do século XIX, duas descobertas foram de extrema importância para o mundo (Figura 16). Primeiro o grande marco da história foi a descoberta dos raios X em 1895 pelo físico Alemão Wilhelm Conrad Rontgen que se dedicava aos estudos dos tubos de raios catódicos. Logo em seguida, em 1896, a descoberta da radioatividade por Henri Becquerel, em que analisou que a radiação solar, provoca um fenômeno que levou à admissão de que o urânio tinha origem própria, sendo esta a grande descoberta da radioatividade natural.

Em 1898, em estudos sistemáticos com os raios de Becquerel, o casal Pierre e Marie Curie procuravam elementos naturais com as mesmas propriedades e verificaram a Pechblenda, um mineral de urânio que apresentava uma radioatividade elevada. Nessas separações dos sais de urânio, eles encontraram dois elementos radioativos, o rádio e polônio. Marie Curie foi a primeira a utilizá-los para fins medicinais. Após a utilização desses elementos, iniciou-se o processo de desenvolvimento da radioterapia.

Em 1902, iniciaram as preocupações com a dose. Não havia padronização e nem fundamentação teórica clara da ação da radiação e dos seus efeitos sobre os tecidos. Os resultados da terapia estavam sem sucesso, as aplicações destes elementos estavam causando queimaduras, dermatites e outras sequelas graves nos pacientes. Porém, percebeu-se que a administração em várias aplicações estava trazendo respostas benéficas aos tecidos. No entanto, apenas na década de 80 os estudos evidenciaram curvas de sobrevivência e houve uma melhor compreensão sobre os efeitos radiobiológicos sobre as células e no próprio DNA.

Em 1903, a braquiterapia teve sua primeira aplicação, em que foi utilizada uma pequena quantidade do elemento radioativo rádio para os tratamentos de lesões de pele. Após este experimento, a braquiterapia tornou-se amplamente utilizada na terapia de tumores malignos.

Os estudos de aplicações de radiação na área médica foram evoluindo. Em 1915, os primeiros equipamentos de ortovoltagem, que produzem raios X de baixa e média energia, foram criados. O seu uso era indicado para tumores benignos e malignos, principalmente para tumores com profundidade de 1 cm e tratamentos superficiais.

VOCE SABIA?



Em 1938, foi fundado o Instituto Nacional do Câncer: o INCA. Em 1951, Harold Elford Johns desenvolveu as primeiras unidades de Cobalto, conhecidas como “Bombas de Cobalto”, as quais possuíam uma fonte cilíndrica de 1 a 2 cm de diâmetro, com emissão de energia média de 1,25 Mev. Em 1954, foi inaugurada a primeira unidade de cobaltoterapia no Brasil e na América Latina, localizada no Hospital São Sebastião, no Rio de Janeiro. Os primeiros Aceleradores Lineares foram produzidos em 1953 e produziam energias de 4 a 6 Mev.

Os primeiros aceleradores lineares instalados no Brasil foram na década de 70, nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

O grande progresso da radioterapia foi em 1971 com Godfrey Hounsfield, inventor da tomografia computadorizada, que possibilitou os planejamentos tridimensionais, antes realizados apenas com imagens planares de raios X. O surgimento da tomografia computadorizada e o desenvolvimento de softwares possibilitou a criação de sistemas de planejamentos que permitiram a distribuição e conformação de dose e avaliação dos tecidos adjacentes. Antes de 1984, as proteções eram feitas com blocos de chumbo ou liga de cerrobend, que são moldados conforme o tamanho do tumor, protegendo os tecidos saudáveis. Com o surgimento de aceleradores com colimadores acoplados no cabeçote, conhecidos como colimadores multi leaf, a confecção de blocos não é mais necessária e a proteção é feita por sistemas remotos e automáticos de movimentação das lâminas. A partir de então, houve grande avanço, sendo um deles a evolução da técnica tridimensional para a técnica IMRT.

A técnica IMRT, desenvolvida em 1990, possibilita a modulação da intensidade do feixe de radiação no volume alvo, promovendo uma maior quantidade de dose no tumor e menores doses nos tecidos adjacentes, oferecendo aos pacientes menos toxicidade e efeitos colaterais.

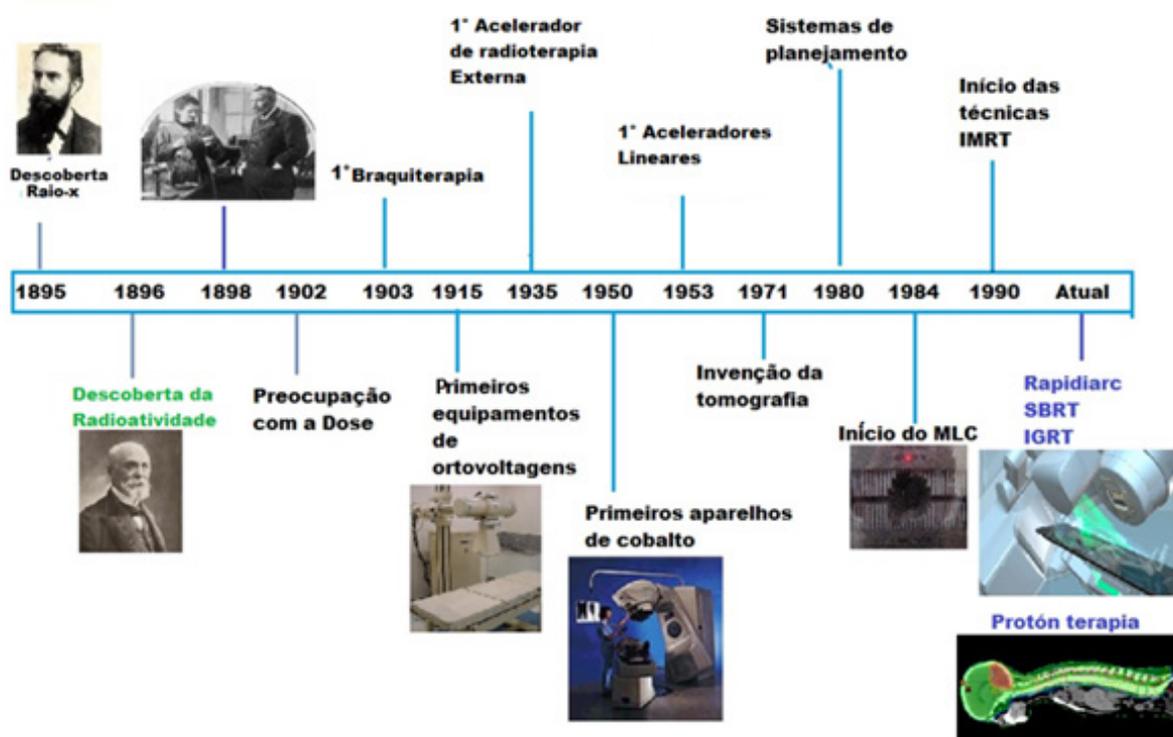


Figura 16 – Histórico da radioterapia.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

4.11. Novas tecnologias

Na medicina, houve um grande avanço tecnológico nas últimas décadas, e com a radioterapia não foi diferente. No início, a radioterapia se baseava em imagens planares e pouco se conhecia sobre os limites de doses e a tolerância de cada órgão. O advento da tomografia e o desenvolvimento de softwares e sistemas de planejamentos foram de grande relevância para a evolução das técnicas de tratamento.

Com esse grande avanço, obteve-se vantagens significativas e uma alta precisão para os tratamentos. A partir disso, alcançou-se maior exatidão, permitindo a diminuição das margens do tumor, evitando assim toxicidade em tecidos saudáveis. Além disso, é possível realizar altas doses em poucas aplicações.

A Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT) consiste em um algoritmo de cálculo que permite uma distribuição de dose desejável, conhecido como otimização do plano. Existem dois tipos de técnicas de IMRT: o primeiro é denominado Step-and-Shoot, que utiliza uma série de subcampos sobrepostos a fim de produzir a fluência desejada. Já nas técnicas sliding-window, há a movimentação das lâminas com velocidades variáveis, tornando-a mais ágil do que a técnica Step-and-shoot.

A radioterapia em arco volumétrico (VMAT) é utilizada para fornecer a distribuição de dose com alta conformidade e preservar os tecidos normais. Uma das

vantagens é o tempo reduzido de tratamento se comparado com a técnica IMRT (Quadro 05).

Recursos	Qual é o benefício para o paciente	Características
IGRT	Permite a exatidão na localização do tumor e diminui a dose nos órgãos de risco.	É realizada uma imagem na mesa de tratamento permitindo a correção de possíveis erros geométricos durante a terapia.
Beam Hold	Reduz significativamente a dose nos órgãos de risco, além da reprodutibilidade do tratamento.	Suspende automaticamente a dose quando as imagens mostram o tumor fora da área planejada.
Sistema Calypso	Permite a aplicação de altas doses em menor tempo, além de permitir um delineamento de margem tumoral diminuída.	Integra o acelerador linear e um transponder, aparelho emissor-receptor junto ao tumor, que permite o acompanhamento da movimentação do tumor em tempo real.
Exactrac	Posicionamento do paciente com alta precisão e alerta imediato de movimentação do paciente em tempo real.	Um sistema de movimentação baseados em raios X que detecta a movimentação do tumor durante as aplicações. É controlado por uma mesa robótica e por fiduciais inseridos nos pacientes.
Tomoterapia	Permite a adaptação do plano de tratamento depois de cada seção, além de verificar em tempo real o posicionamento e modular a intensidade da dose de radiação.	Une o acelerador linear à tomografia computadorizada, ou seja, entrega a dose de forma helicoidal (por secções da imagem), enquanto o aparelho gira em torno do doente, a mesa de tratamento se desloca longitudinalmente.
Hybridarc	Indicado para pacientes com tumores no crânio e na coluna.	Mescla automaticamente as técnicas avançadas de radiocirurgia com técnicas individuais para os pacientes, pondera arcos e feixes de forma flexível, otimizando a dose volumétrica coplanar e não coplanar.

Quadro 05 – Tratamentos utilizados na radioterapia atualmente.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Protonterapia

O uso desta terapia por prótons apresenta um grande avanço nos tratamentos de cânceres. As imensas vantagens da terapia por prótons seriam que os feixes atingem os tumores de forma mais concentrada do que a radioterapia convencional. Na protonterapia são utilizadas partículas pesadas que perdem energia rapidamente após atingir o tumor, não havendo risco para os tecidos adjacentes posteriormente ao tumor (Figura 17).

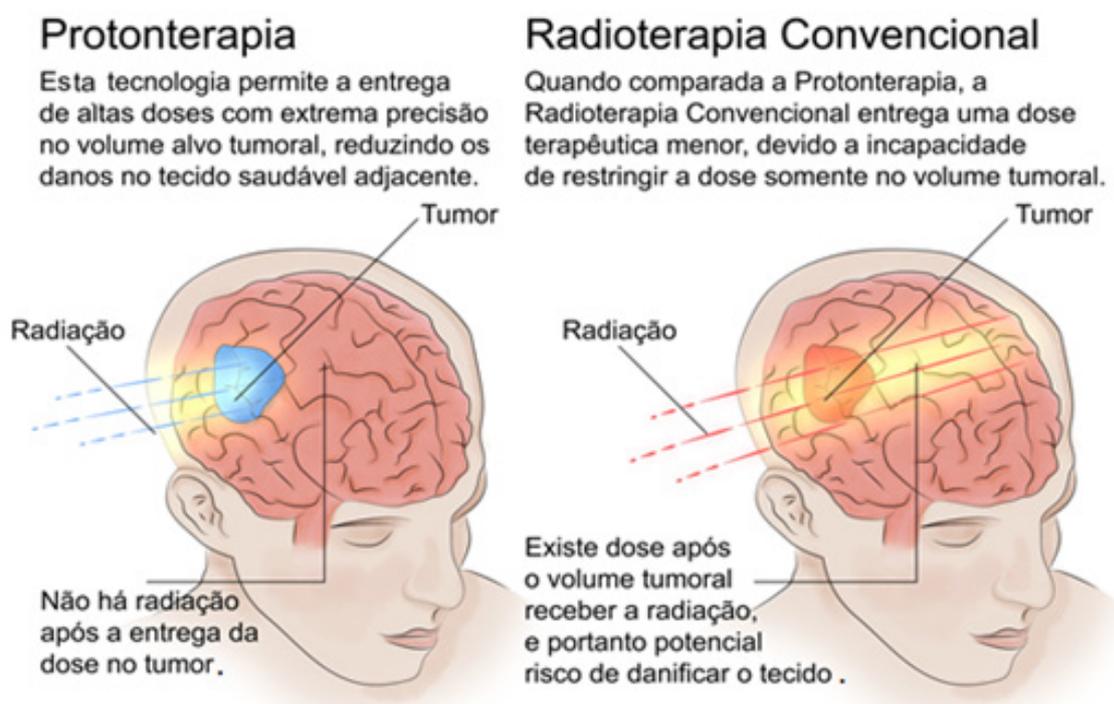


Figura 17 – Diferenças entre protonterapia e radioterapia convencional.

Fonte: Adaptado de (SUIT et al., 2010).

A tecnologia da protonterapia permite a entrega de altas doses com extrema precisão no volume alvo tumoral, reduzindo os danos no tecido saudável adjacente. Porém, atualmente o Brasil não possui nenhum aparelho de protonterapia.

Quando comparada à protonterapia, a radioterapia convencional entrega uma dose terapêutica menor, devido à incapacidade de restringir a dose somente no volume tumoral.

Referências



ANDRADE, Marceila de; SILVA, Sueli Ruil da. Administração de quimioterápicos: uma proposta de protocolo de enfermagem. *Revista Brasileira de Enfermagem*, [s.l.], v. 60, n. 3, p. 331-335, jun. 2007.

ARAUJO, Cláudia Regina Gomes de; ROSAS, Ann Mary Machado Tinoco Feitosa. O papel da equipe de enfermagem no setor de radioterapia: uma contribuição para a equipe multidisciplinar. *Revista Brasileira de Cancerologia*, v. 54, n. 3, p. 231-237, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional do Câncer. TECDOC - 1151: Aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia. Rio de Janeiro: INCA, 2000.
CARVALHO, Heloisa de Andrade. Radioterapia no câncer de pulmão. *J Pneumol*, São Paulo, v. 6, n. 28, p. 345-350, out. 2000.

CHAVAUDRA, J.; BRIDIER, A. Definition of volumes in external radiotherapy: ICRU reports 50 and 62. *Cancer radiotherapie: journal de la Societe francaise de radiotherapie oncologique*, v. 5, n. 5, p. 472-478, 2001.

CNEN. disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/instalacoes-autorizadas>>. acesso em: 17 set. 2018.

DENARDI, U.A, et al. *Enfermagem em Radioterapia. Atlas e Texto*. Lemar. São Paulo, 2008.

Diagnósticos de enfermagem relacionados aos efeitos adversos da radioterapia. E.B. PODGORSK, *Treatment machines for external beam radiotherapy – Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teacher and Students – International Atomic Energy Agency*, 2005.

Franciéle Marabotti Costa Leite¹; Flaviane Marques Ferreira²; Mayara Santana Alves da Cruz²; Eliane de Fátima Almeida Lima³; Cândida Caniçali Primo. Disponível em: <<http://www.reme.org.br/artigo/detalhes/897>>.

HOFFMAN, Barbara L. et al. *Ginecologia de Williams*. Porto Alegre: Amgh, 2014. Disponível em: <<https://www.varian.com/pt-br/oncology/treatment-techniques>>. Acesso em: 01 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA (INCA). *Estimativa 2018 Incidência de Câncer no Brasil*. Rio de Janeiro: INCA, 2018. 128 páginas. ISBN 978-85-7318-361-0. Disponível em: <<http://www.inca.gov.br/estimativa/2018/esti>>.

mativa-2018.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC/OMS). Online Analysis. 2012. Disponível em: <http://globocan.iarc.fr/Pages/burden_sel.aspx>. Acesso em: 08 nov. 2018.

TAUHATA, L. Radioproteção e dosimetria: Fundamentos – Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2014.

MAIA, Edward Torres. Mapeamento de competências de profissionais de radioterapia em hospitais do SUS. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional de Políticas e Gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação em Saúde). Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015. p. 130.

ONCOLOGIA, Sociedade Portuguesa de. Dicionário de Palavras Frequentes em Oncologia. Disponível em: <<https://www.sponcologia.pt/fotos/editor2/publicacoes/dicionariooncologia.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2018.

RDC 20/2006 – Anvisa. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br>>. Acesso em: Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 20, de 02 de fevereiro de 2006. Disponível em: <<https://cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/01172122-20120418113323r-dc-20-2006-diretrizes-servicos-de-radioterapia.pdf>>. Acesso em: http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/2002/50_02rdc.pdf

OLIVEIRA, Jetro Pereira de et al. Rectal dose assessment in patients submitted to high-dose-rate brachytherapy for uterine cervix cancer. *Radiologia Brasileira*, v. 42, n. 2, p. 83-88, 2009.

SALVAJOLI, João Victor; SOUHAMI, Luis; FARIA, Sérgio Luiz. *Radioterapia em oncologia*. 2 ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2013.

TecDoc 1151 – Aspectos físicos da garantia de qualidade em radioterapia.

TRS 398 – Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water.

SUIT, H. et al. Proton vs carbon ion beams in the definitive radiation treatment of cancer patients. *Radiotherapy and oncology: journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, Elsevier Ireland Ltd, v. 95, n. 1, p. 3–22, abr. 2010.

WHO, World Health Organization. *CANCER TODAY*. Disponível em: <<http://gco.iarc.fr/today/home>>. Acesso em: 15 set. 2018.

5. MEDICINA NUCLEAR

Tatiane Sabriela Cagol Camozzato
Ana Sabrina Alves
Anderson Giacomo Ferraro Coutinho
Caio Vinicius de Oliveira
Charlene da Silva
Franciele Cardoso de Vargas
Jéssica Pasqueta
José Gilmar Pereira
Leticia Harumi Watanabe Nagashima
Luiz Carlos Nascimento da Silva
Tatiane Mayla Domingos Prandi

A medicina nuclear utiliza radiofármacos para fins diagnósticos e terapêuticos. Essas substâncias, uma vez administradas ao paciente, apresentam distribuição específica, o que confere a característica funcional ou metabólica que outras modalidades de radiodiagnóstico não possuem. Quando se trata de terapia, esta é utilizada principalmente na oncologia para o tratamento de tumores na tireoide e neuroendócrinos. Neste cenário, o material radioativo destina-se a um alvo específico dentro do organismo.

- O radiofármaco: é um composto, sem ação farmacológica. De modo geral, é constituído por dois componentes.

- O radionuclídeo: fração que emite a radiação a qual será detectada por aparelhos específicos.

- O fármaco (droga): fração química, orgânica ou inorgânica, que determina a biodistribuição do radiofármaco para o órgão alvo.

Os radionuclídeos utilizados devem apresentar características, tais como: expor o paciente a dose, sem prejuízo da qualidade do diagnóstico; devem permanecer tempo suficiente para permitir a aquisição da imagem; possuir uma meia-vida curta; emitir fótons de baixa energia e, se possível, não emitir outro tipo de radiação.

Os elementos radioativos administrados são ligados a substâncias específicas, os fármacos, tornando-se traçadores radioativos que, uma vez introduzidos no paciente, são distribuídos no corpo e fixados em órgãos específicos para então emitir a radiação. Para o diagnóstico, esta radiação é captada no ambiente externo ao corpo do paciente por aparelhos, chamados de Gama Câmara ou de PET (Tomografia por Emissão de Pósitrons). O mecanismo de funcionamento destes equipamentos é baseado no uso de cristais de cintilação sólidos, a quantidade de radiação detectada e sua distribuição corporal é expressa em imagens.

A partir da utilização dos radiofármacos é possível diagnosticar precocemente muitas doenças, visto que os procedimentos de medicina nuclear fornecem imagens da fisiologia do corpo humano, enquanto que as alterações anatômicas, muitas vezes, não se manifestam, salvo em estágios avançados como, por exemplo, no de câncer.

5.1. Conceitos

A fim de compreender os princípios envolvidos nesta categoria da radiologia é imprescindível o conhecimento acerca dos conceitos a seguir:

- Radioatividade é o decaimento ou a desintegração do material radioativo. Este é um processo pelo qual o núcleo emite uma partícula de radiação eletromagnética, transformando-se em um núcleo estável.
- Radioisótopos ou radionuclídeo são quaisquer átomos que possuem a capacidade de se transformarem em diferentes tipos atômicos por desintegração do núcleo, emitindo radiação ionizante.
- Meia-vida é a característica dos radioisótopos ou radionuclídeos que significa o tempo necessário para que a atividade radioativa seja reduzida à metade da atividade inicial.

Diferença entre tomografia computadorizada, raios X e medicina nuclear

A Radiologia envolve modalidades, tais como tomografia computadorizada, radiografia e a medicina nuclear. Entre as especialidades citadas há uma característica em comum, o uso de radiação ionizante para fins de diagnóstico.

Com a finalidade de melhor entendimento, podemos classificar as categorias citadas em dois tipos: a primeira que engloba tomografia computadorizada e radiografia, em que o equipamento é gerador e emissor da radiação. E a segunda, a medicina nuclear, a qual se utiliza de radioisótopos marcados com fármacos, e esses elementos unidos são administrados ao paciente. Dessa forma, o paciente é o emissor de radiação, e o aparelho capta e faz a leitura. Além disso, a medicina também possui cunho terapêutico, a qual o radionuclídeo é administrado e se concentra no tecido que será irradiado. A Figura 01 é representada pela comparação entre radiodiagnóstico e medicina nuclear.

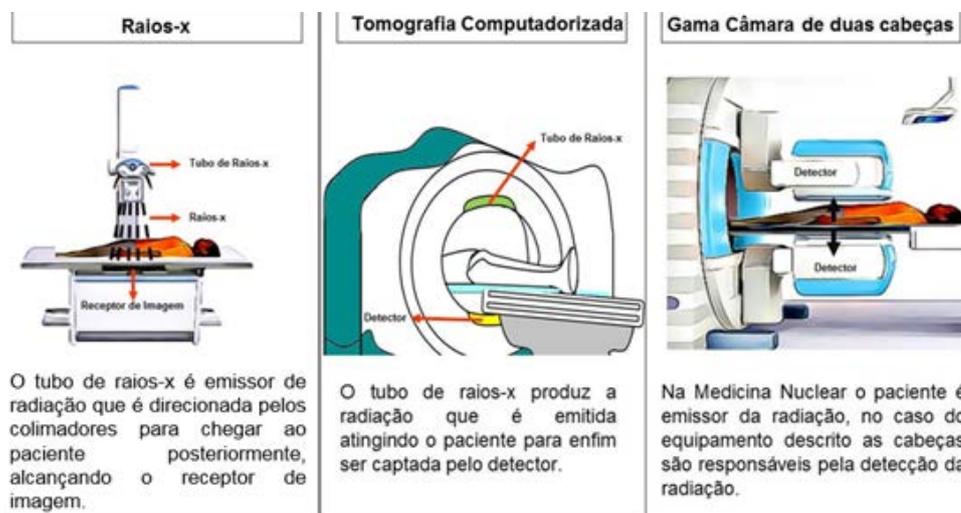


Figura 01 – Representada pela comparação entre radiodiagnóstico e medicina nuclear.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.2. Contaminação e irradiação

A medicina nuclear manipula diariamente compostos radioativos não selados e, portanto, há o risco de contaminação e exposição de trabalhadores e do público geral.

A contaminação pode ser definida pela presença indesejada de qualquer material radioativo em um local, seja meio de superfície externo ou ainda interno. De maneira clara, a contaminação ocorre quando há contato direto da substância radioativa. Toma-se como exemplos, tocar com as mãos nesse composto ou, ainda, deglutir ou inalar havendo nestes últimos uma contaminação interna.

Nesse caso, a contaminação pode ocorrer nas seguintes situações: respingos ou derrame de material em locais físicos, tais como piso, bancadas de trabalho, em equipamentos, entre outros. Outras formas de contaminação são por intermédio da excreta de suor, saliva, fezes e urina do paciente.

Nessas circunstâncias, é necessário adotar algumas medidas protetoras:

- usar roupas protetoras;
- usar luvas de látex;
- usar protetor de sapatos;
- cobrir cortes e feridas na pele;
- não comer, beber, fumar ou aplicar cosméticos;
- limpar qualquer derramamento, mesmo gotas, assim que possível;
- não tocar em objetos desnecessariamente;
- lavar as mãos imediatamente após o procedimento.

Já a irradiação é dada quando há emissão de uma fonte de radiação a certa distância, transferindo energia que se quantifica em dose aos tecidos. Pode-se concluir, então, que irradiar não significa que o local ou a região está contaminado. Contudo, contaminar implica em irradiar o local onde esse material estiver depositado. Portanto, uma pessoa ou um objeto contaminado poderá irradiar indivíduos próximos a eles. A Figura 02 apresenta o esquema didático para os conceitos definidos anteriormente.

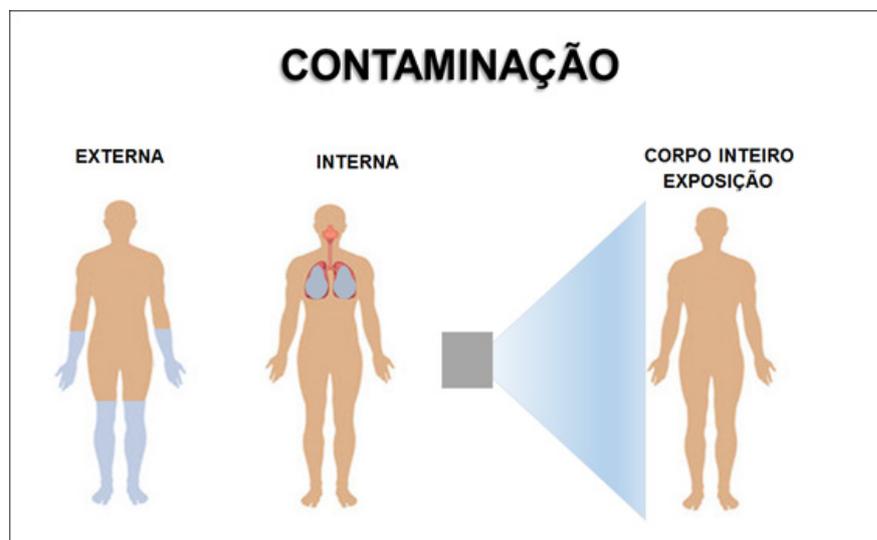


Figura 02 – Representação de contaminações externas e internas.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.



Caso haja uma contaminação externa na pele de um indivíduo, a primeira medida a ser realizada é a limpeza da região contaminada, indica-se a higienização com água e sabão. Nesse caso, a pessoa contaminada não deverá tocar em nenhum local, objeto ou pessoa, para impedir que o material radioativo se alastre.

Outras providências no caso de contaminação de local físico: não entrar em contato com o objeto contaminado e manter a distância. Além disso, é necessário que o Supervisor de Proteção Radiológica seja notificado para tomar as devidas precauções.

5.3. Radionuclídeos, fármacos e radiofármacos

Os procedimentos diagnósticos e terapêuticos realizados em medicina nuclear exigem a administração de uma substância emissora de radiação ionizante que será, posteriormente, detectada pelos equipamentos geradores de imagens, os chamados radionuclídeos. No entanto, para facilitar a visualização de sistemas ou órgãos separadamente, utilizam-se fármacos que se ligam a estas estruturas. Quando os fármacos são combinados com um radionuclídeo, recebem a denominação de radiofármacos. A manipulação destas substâncias ocorre dentro de um setor chamado radiofarmácia e é um processo bastante criterioso que deve passar por um rígido controle de qualidade.

Os radiofármacos retratam a presença ou ausência de patologias no sistema analisado sem causar qualquer alteração fisiológica no mesmo. Todavia, existem algumas características necessárias aos radiofármacos para que eles possam ser utilizados nos serviços de medicina nuclear, visto que, do ponto de vista físico, os radionuclídeos devem apresentar sua forma de decaimento, energia da radiação emitida e meia-vida física adequadas ao procedimento. De uma maneira geral, os radiofármacos utilizados para diagnóstico devem:

- emitir radiação gama de energia entre 100 a 200 keV para aquisição de imagens por gama câmaras e de 511 keV para imagens de tomografia por emissão de pósitrons (PET);
- não emitir radiação particulada, que sobrecarrega a dose ao paciente;
- possuir meia-vida física longa o suficiente para a aplicação a que se destina o radiofármaco, normalmente de algumas horas;
- ser livres de carreadores, ou seja, não podem estar contaminados por nuclídeos estáveis ou outros radionuclídeos do mesmo elemento;

- possuir alta atividade específica (radioatividade por unidade de massa - mCi/mg);
- o componente farmacológico da molécula não deve apresentar efeitos tóxicos ou alterar processos fisiológicos do organismo,
- por outro lado, para serem utilizados em procedimentos terapêuticos, os radionuclídeos devem emitir partículas alfa, com energia na faixa de 5 a 8 MeV, e beta, com emissão na faixa de 0,25 a 2,3 MeV.



Os radionuclídeos que mais se assemelham às características desejadas e, por isso, são mais comumente utilizados na prática clínica do radiodiagnóstico são o ^{99m}Tc para as gama câmaras e o ^{18}F para a PET. O Quadro 08 apresenta os principais radionuclídeos utilizados nos procedimentos de medicina nuclear e suas características.

Radionuclídeo	Meia-vida	Energia	Método de produção
^{99m}Tc	6,02 horas	140 keV	Gerador ^{99}Mo - ^{99m}Tc
^{131}I	8,02 dias	364 keV	Reator
^{123}I	13,2 horas	159 keV	Cíclotron
^{201}Tl	73,1 horas	135 a 167 keV	Cíclotron
^{68}Ga	68 minutos	1,9 MeV	Gerador ^{68}Ge - ^{68}Ga
^{18}F	110 minutos	0,635 MeV	Cíclotron

Quadro 01 – Principais radionuclídeos utilizados em medicina nuclear.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.4. Produção de radionuclídeos

Os radionuclídeos usados em Medicina Nuclear são produzidos artificialmente em reatores ou aceleradores de partículas. Podem, ainda, ser acessíveis por meio de geradores de radioisótopos, que permitem a utilização de radionuclídeos de meia-vida ($t_{1/2}$) curto a partir do decaimento de um radionuclídeo com $t_{1/2}$ longo. Estes radionuclídeos de $t_{1/2}$ longo são produzidos em reator ou cíclotron.

Os radionuclídeos que decaem por emissão de partículas β^- são geralmente

produzidos em reator, por fissão do ^{235}U ou por reações de captura de nêutrons (n,γ ou n,p) numa amostra alvo apropriada. Os radionuclídeos que decaem por captura eletrônica ou emissão de partículas β^+ são produzidos em ciclotrons.

5.5. Gerador de molibdênio e tecnécio

Os geradores de Tecnécio (^{99m}Tc) consistem em recipientes com pequenas esferas de alumina, sobre as quais o Molibdênio (^{99}Mo), produzido em um reator nuclear, liga-se firmemente. O tecnécio ^{99m}Tc é um radioisótopo emissor de radiação gama com meia-vida de 6 horas, é um produto do decaimento do molibdênio ^{99}Mo que possui uma meia-vida de 66 horas. A Figura 03 representa o processo de produção de radionuclídeo.

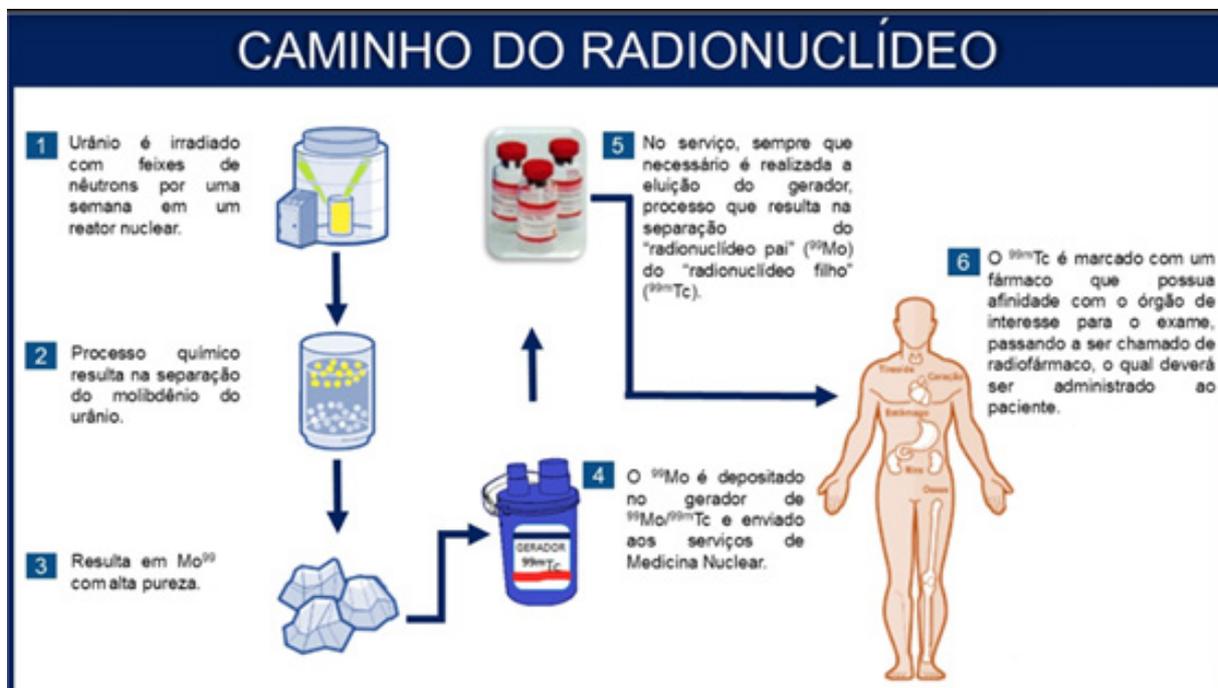


Figura 03 – Representação do processo de produção do radionuclídeo
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

No gerador, o ^{99}Mo (que possui uma meia-vida de 65,94 h), decai para o ^{99m}Tc (com meia-vida de 6,02 h). Como a meia-vida do ^{99m}Tc é muito mais curta, os dois radioisótopos atingem o equilíbrio secular e assim a taxa de produção do ^{99m}Tc é aproximadamente constante.

O gerador é composto por uma coluna cromatográfica empacotada com alumina (Al_2O_3) (Figura 04) onde encontra-se adsorvido, por afinidade eletrônica, o ^{99}Mo , na forma de molibdato ($^{99}\text{MoO}_4$). Quando o ^{99}Mo decai para ^{99m}Tc , forma-se o composto pertecnetato ($^{99m}\text{TcO}_4$). O pertecnetato tem baixa afinidade pela alumina e é posteriormente extraído na forma química de pertecnetato de sódio (NaTcO_4), a partir da injeção de uma solução salina (NaCl 0,9%) no gerador.

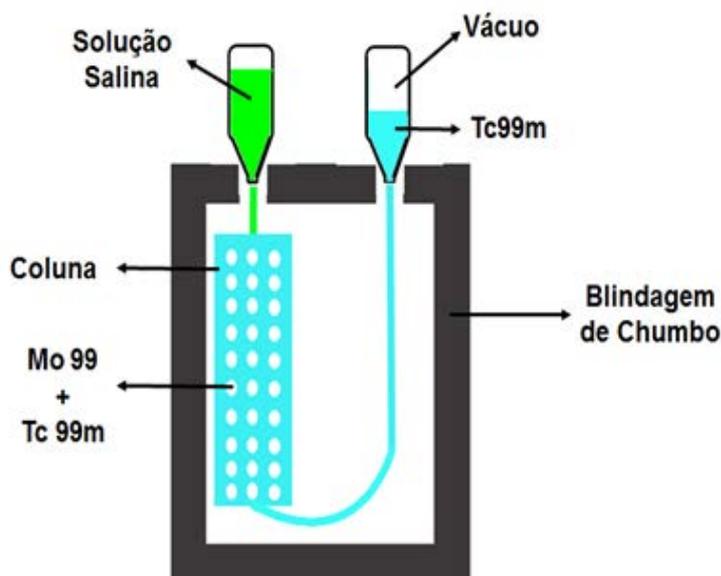


Figura 04 – Processo de eluição do gerador de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.



As substâncias radioativas possuem doses baixas e geralmente são eliminadas rapidamente do corpo, tal fato está intimamente relacionado com a ingestão de líquidos, principalmente água. Por causa disso, a dose de radiação e o período efetivo de irradiação é baixo.

5.6. Cíclotron

É um acelerador de partículas eletricamente carregadas utilizado na produção de radiofármacos (Figura 05). É o bombardeio de núcleos atômicos com prótons acelerados pelo cíclotron que permite a produção dos isótopos radioativos utilizados em estudos de PET/CT, o principal entre eles é o ^{18}F .

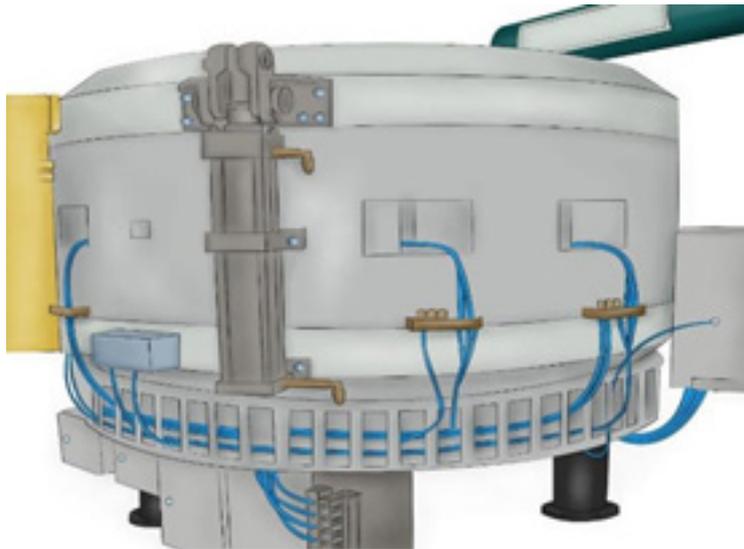


Figura 05 – Cíclotron fabricado pela IBA.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.7. Componentes do Cíclotron

O cíclotron é formado por três componentes principais: o magneto, um par de eletrodos ocos semicirculares, os chamados Dees, responsável pela aceleração das partículas carregadas e uma fonte de íons capaz de gerar partículas eletricamente carregadas. Os Dees e a fonte de íons são mantidos em um tanque sob vácuo (pressão menor a 10^{-6} mbar). A alternância do potencial elétrico entre os Dees, gerada por uma onda de radiofrequência, é responsável pela aceleração dos íons no interior do tanque. O magneto gera um campo que mantém as partículas confinadas e se movimentando em órbitas circulares.

5.8. Princípio de Funcionamento do Cíclotron

À medida que as partículas ganham energia em função da aceleração, o raio destas órbitas aumenta até elas alcançarem energia cinética suficiente para serem lançadas contra o alvo. É a passagem dos íons carregados negativamente através de uma folha de carbono ultrafina (stripper), que extrai seus elétrons, muda sua carga e a trajetória. Essa mudança retira os íons do tanque e permite que os mesmos atinjam o interior dos núcleos dos átomos de ^{18}O para produzir o isótopo radioativo ^{18}F .

5.9. Equipamentos

Para a formação da imagem diagnóstica, equipamentos com a capacidade de detecção de radiação são utilizados. Os principais equipamentos para diagnóstico são a gama câmara e a tomografia por emissão de pósitron (PET).

5.10. Gama câmara

A gama câmara, também conhecida como câmara cintilográfica ou câmara de cintilação de Anger, é um dos equipamentos de imagem utilizado em medicina nuclear para o diagnóstico por meio da detecção da radiação emitida pelo paciente.

Os principais componentes são os detectores, também chamados de cabeças, sendo que o equipamento pode possuir um ou dois, também existem poucos no mundo com três. O detector é formado por um cristal de cintilação, fotomultiplicadoras e sistema conversor analógico-digital.

Os fótons emitidos interagem com o material cintilador, normalmente feitos com cristais de iodeto de sódio dopado com tálio (NaI|Tl), que são amplificados pelas fotomultiplicadoras e convertido em sinal digital. Esse sinal é processado computacionalmente para formação da imagem.

Além do detector, a gama câmara possui a mesa de exame, sistema mecânico para rotação e movimentação dos detectores e colimadores. Os colimadores são utilizados para limitar que sejam detectados apenas o feixe perpendicular de radiação, sendo assim que o cristal seja sensibilizado apenas nas regiões onde haja concentração do radiofármaco. O colimador a ser escolhido depende do pico energético do radioisótopo utilizado. Quando utilizado ^{99m}Tc (140 keV), é acoplado o colimador de baixa energia, já para ^{131}I (364 keV) é utilizado o colimador de alta energia, por exemplo.

Os equipamentos possibilitam realizar imagens estáticas, varredura de corpo todo e também imagens tomográficas chamadas de SPECT. O SPECT é a sigla em inglês para Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único. A Figura 06 é a representação de um equipamento de gama câmara com 2 cabeças.



Figura 06 – Representação de um equipamento de gama câmara.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.11. Equipamento de tomografia por emissão de pósitrons

O equipamento de tomografia por emissão de pósitrons (PET) consiste em detectores dispostos no formato de anéis no gantry. Esses detectores absorvem os fótons provenientes dos radioisótopos emissores de radiação beta positron, chamados de pósitron. O pósitron, ao encontrar um elétron, ocorre uma aniquilação de ambos, formando dois fótons de 511 keV emitidos em direções opostas. Esses dois fótons são detectados por coincidência em um período de tempo limitado, formando uma linha de resposta (LOR), que identifica a localização exata do pósitron aniquilado, evento denominado de verdadeiro (Figura 07- item a). Com a aquisição de um grande número de eventos verdadeiros é possível reconstruir a distribuição do material utilizado, normalmente o ^{18}F -FDG, possibilitando a reconstrução da imagem de PET.

Quando dois fótons são detectados, porém um deles interage com o meio antes da detecção, o local de aniquilação não estará sobre a mesma LOR e o evento é denominado de espalhado (Figura 07 - item b). Ainda, um problema do registro de coincidência é a presença de eventos aleatórios (Figura 7 - item c), também chamados de eventos acidentais ou coincidência casual. Eventos aleatórios ocorrem quando existe a detecção de dois fótons dentro da janela temporal, mas que são provenientes de aniquilações diferentes, resultando em LOR incorreta e, portanto, não auxiliam na localização do radiofármaco.

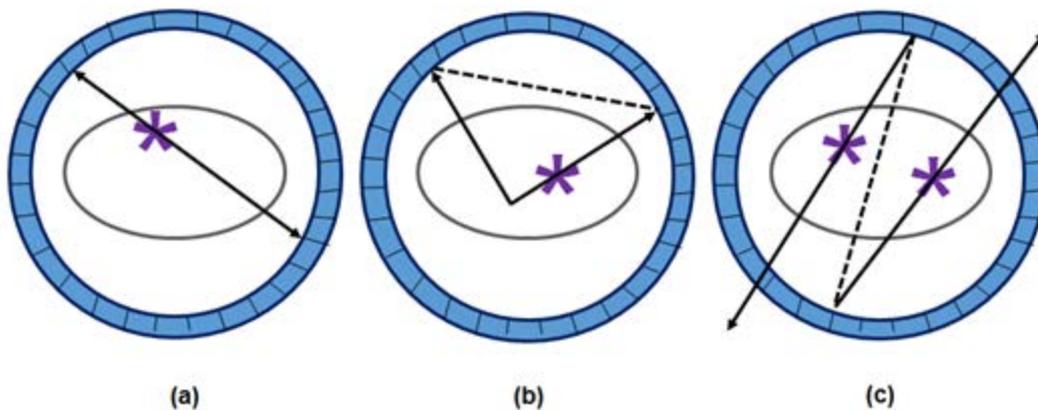


Figura 07 – Representação de (a) evento de coincidência verdadeira, (b) evento de coincidência espalhada, (c) evento de coincidência aleatória (acidental).

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

O equipamento de PET pode ser associado a um equipamento de tomografia computadorizada, formando o PET/CT, que permite fusionar a imagem fisiológica do PET com a imagem anatômica do CT em um único procedimento, melhorando assim o diagnóstico. A Figura 08 apresenta um equipamento de PET/CT.



Figura 08 – Equipamento de Tomografia por Emissão de Póstron (PET/CT).

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.12. Equipamentos não formadores de imagem

Na prática de um serviço de medicina nuclear, equipamentos que detectam radiação, mas que não formam imagens também são utilizados. Os principais são: medidor de atividade e contador Geiger-Müller.

5.13. Geiger-Müller

O contador Geiger-Müller (Figura 9 - item a) é um detector que utiliza gás em seu volume sensível, muito usado para realização de monitoração ambiente e de superfície.

Possui capacidade para detectar radiação alfa, beta, gama e raios X, medindo exposição e contaminação. A detecção da exposição é feita por uma sonda interna, que não discrimina o tipo ou a energia da radiação. Para detectar contaminação é utilizada uma sonda do tipo pancake (Figura 09 - item b), que possui uma fina janela de mica, desenhada para investigação de contaminações em IOEs, mesas e superfícies em geral.



Figura 09 – Equipamentos do tipo Geiger-Müller.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.14. Medidor de atividade

O medidor de atividade (Figura 10), também conhecido como curiômetro, atívimetro ou calibrador de dose é um dos principais instrumentos utilizados na medicina nuclear



Figura 10 – Medidor de atividade.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

É uma câmara de ionização a gás, tipo poço, acoplada a um eletrômetro com mostrador digital (Figura 11), utilizada para determinar a atividade dos radiofármacos antes que sejam administrados aos pacientes.

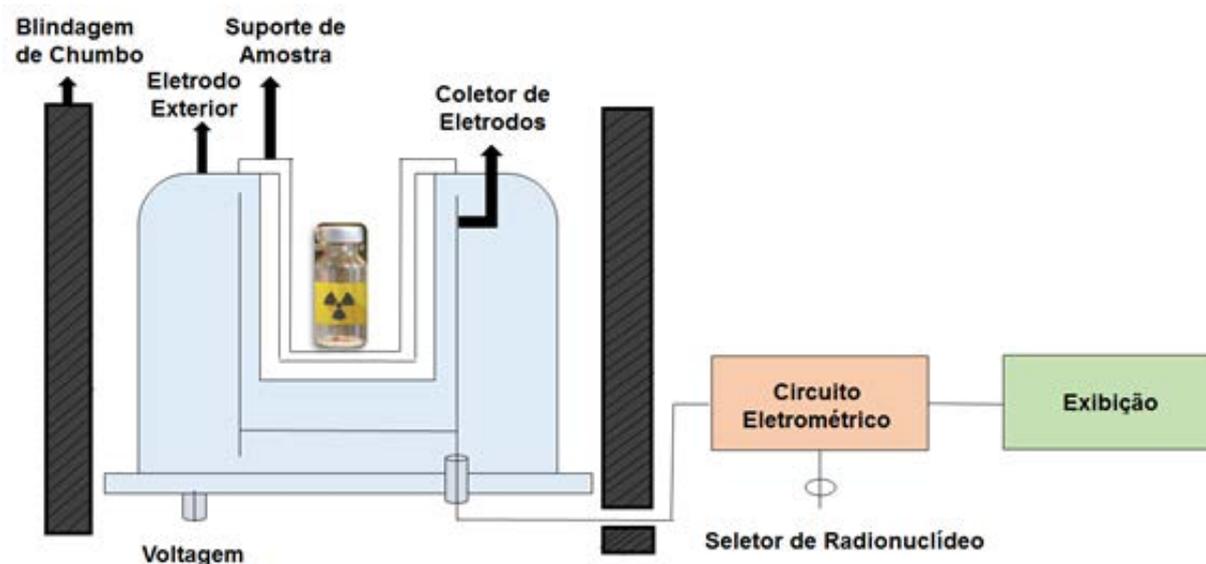


Figura 11 – Componentes de um medidor de atividade.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.15. Indicações clínicas

No campo do diagnóstico, os exames de medicina nuclear são indicados para avaliar a fisiologia, o metabolismo, a função bioquímica até mesmo a função molecular de uma patologia. O exame pode fornecer um diagnóstico mais preciso levando a um tratamento adequado.

O Quadro 02 apresenta a relação das principais indicações e seus radiofármacos utilizados.

Indicações	Exames
Cardiologia	Cintilografia de perfusão do miocárdio
Endocrinologia	Cintilografia e captação da tireoide Cintilografia de paratireoides Cintilografia com MIBG Pesquisa de corpo inteiro Cintilografia com análogo da somatostatina
Gastrenterologia	Cintilografia hepatoesplênica Cintilografia hemorragia digestiva Cintilografia de hemangiomas Cintilografia de glândulas salivares
Nefrourologia	Cistocintilografia direta e indireta Fluxo renal Cintilografia renal Cintilografia testicular ou escrotal

Pneumologia	Cintilografia de perfusão pulmonar Cintilografia pulmonar ventilatória
Neurologia	Cisternocintilografia Cintilografia de perfusão cerebral Fluxo cerebral
Osteologia	Cintilografia óssea Cintilografia óssea trifásica
Sistema linfático	Linfocintilografia Detecção de linfonodo sentinela
Doenças infecciosas e inflamatórias	Cintilografia com citrato ^{67}Ga

Quadro 02 – Indicações de exames de medicina nuclear.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Os radiofármacos utilizados em procedimentos de medicina nuclear são definidos de acordo com sua biodistribuição, isto é, os fármacos ligados ao radionuclídeo não possuem ação farmacológica, apenas têm afinidade com determinado órgão a ser examinado.

Portanto, o radiofármaco deve ser fixado seletivamente pelo órgão ou sistema que se deseja analisar, sendo também desejável localização rápida no órgão alvo, metabolização e excreção eficientes, de modo a aumentar o contraste da imagem e reduzir a dose de radiação absorvida pelo paciente. A Figura 12 apresenta a biodistribuição dos principais órgãos e radiofármacos utilizados para os exames de medicina nuclear.

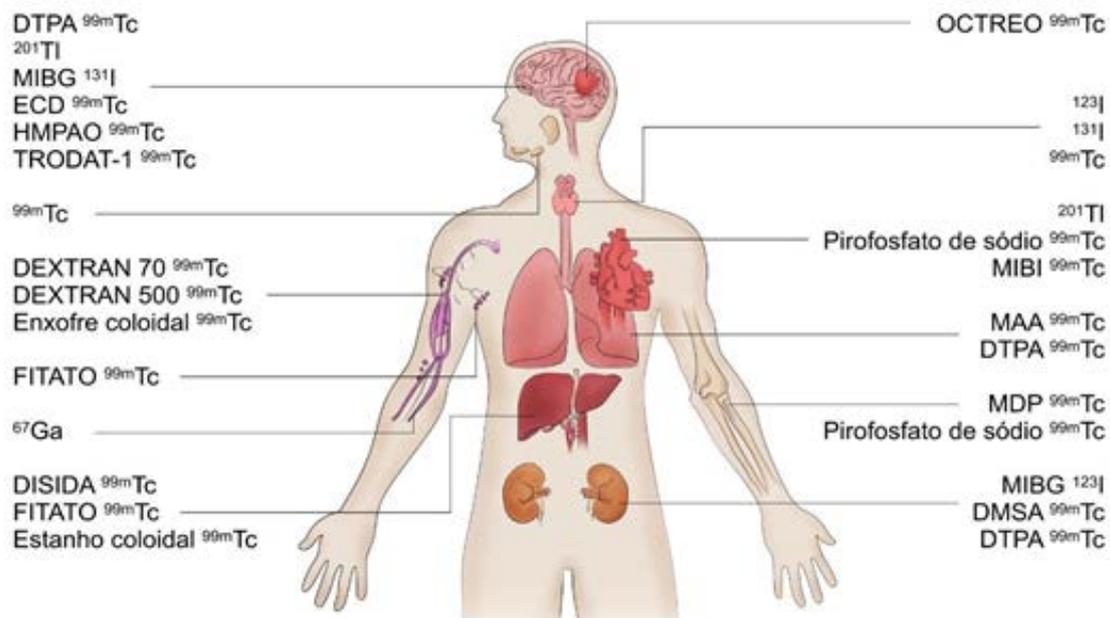


Figura 12 – Biodistribuição dos principais radiofármacos utilizados em medicina nuclear.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.16. Protocolo de cintilografia de perfusão miocárdica

O protocolo de cintilografia de perfusão miocárdica é um dos procedimentos mais realizados nos serviços de medicina nuclear. O estudo consiste em avaliar a irrigação sanguínea e a capacidade funcional do coração, conforme o Quadro 03.

Protocolo para Aquisição de Imagens de Cintilografia de Perfusão Miocárdica	
Radioisótopo	^{99m}Tc ou ^{201}Tl (para avaliar a viabilidade miocárdica)
Fármaco	MIBI ou sestamibi para complexação com o ^{99m}Tc
Atividade recomendada	Em média, 10 mCi de ^{99m}Tc para a fase de repouso e, para a fase de estresse, 3 vezes mais em relação à primeira fase, portanto, em média, 30 mCi de ^{99m}Tc ; ou, atividade única de 2,5 a 3,5 mCi de ^{201}Tl apenas na fase de estresse.
Administração do radiofármaco	Endovenosa
Posicionamento	Paciente em decúbito dorsal com os braços elevados.
Colimador	Colimador de baixa energia e alta resolução.
Janela de energia	Janela de 15% em 140 keV para ^{99m}Tc ; ou janela de 15% a 17% em 72 keV para ^{201}Tl .
Projeções	Devem iniciar em 45° (OAD), girando 180° até OPE, a 45°.
Contorno	Circular
Tipo de aquisição	<i>Step-and-shoot</i>

Quadro 03 – Protocolo para aquisição de imagens de cintilografia de perfusão miocárdica.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A Figura 13 representa o posicionamento do paciente utilizado para a aquisição da cintilografia de perfusão miocárdica. O equipamento em questão é uma gama câmara de dois detectores com uma fonte de gadolínio utilizado para realizar a correção da atenuação e é dedicado a este tipo de procedimento. Vale ressaltar que nem todos os serviços de medicina nuclear dispõem deste tipo de equipamento.



Figura 13: Posicionamento do paciente
Fonte: Rocha, 2018

Informações gerais

Para a descrição do protocolo, adotou-se a utilização de gama câmara que faz aquisição de imagens do tipo SPECT.

Os parâmetros técnicos podem variar de acordo com a rotina do serviço e o equipamento utilizado.

5.17. Indicações clínicas

A doença arterial coronária é conhecida pela insuficiência de irrigação sanguínea no coração por meio das artérias coronarianas e está diretamente ligada ao grau de obstrução do fluxo sanguíneo. Nesta patologia, o músculo cardíaco é bloqueado com placas que resultam no estreitamento das artérias coronarianas, o que pode causar ao paciente dor torácica (angina) ou infarto agudo do miocárdio (IAM).

Um dos principais exames realizados é a cintilografia de perfusão miocárdica. Esse procedimento permite uma avaliação completa da circulação sanguínea coronariana, auxiliando no diagnóstico e na prevenção de eventos cardíacos graves, como o infarto do miocárdio. A cintilografia de perfusão miocárdica é indicada para avaliar a distribuição sanguínea no miocárdio em situações de repouso e estresse.

Na Figura 14, observam-se possíveis indicações clínicas para a realização da cintilografia de perfusão miocárdica.

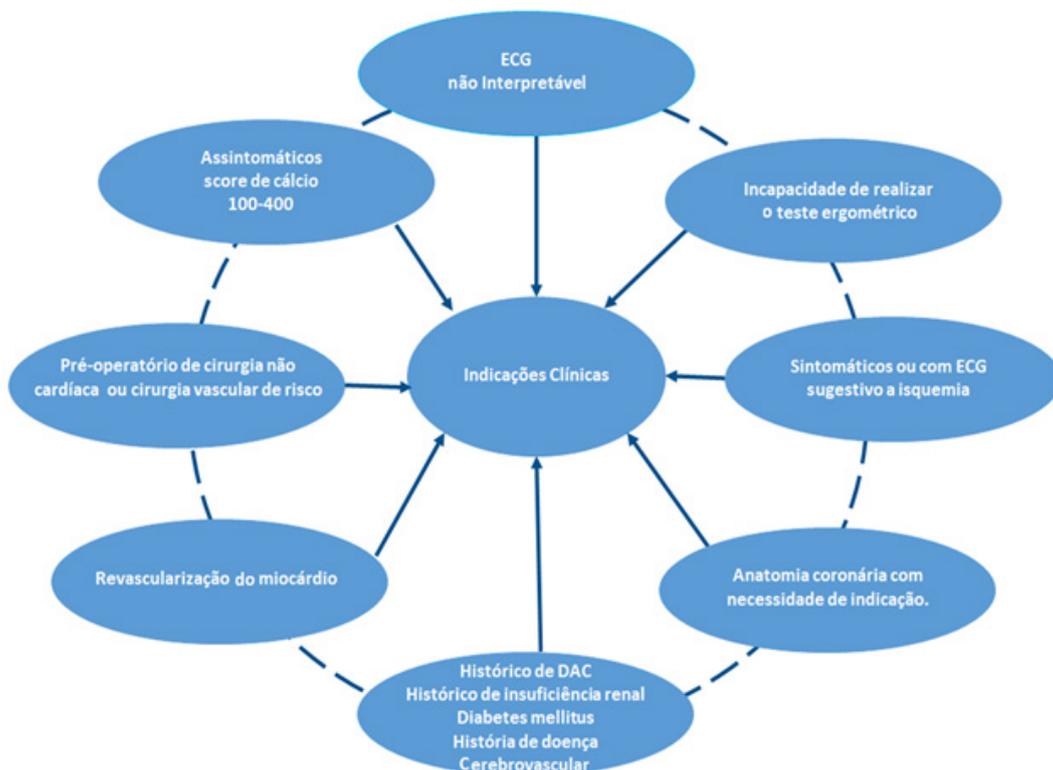


Figura 14 – Indicações clínicas para cintilografia de perfusão miocárdica.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.18. Contraindicações

A utilização dos radiofármacos é contraindicada em pacientes que apresentam hipersensibilidade a algum dos componentes das fórmulas.

Além disso, a análise de perfusão miocárdica sob estresse com exercício é contraindicada em casos de angina instável, insuficiência cardíaca congestiva, infarto agudo do miocárdio 2 a 4 dias antes do exame, hipertensão arterial não controlada (sistólica > 220 mmHG e diastólica > 12 mmHg), hipertensão pulmonar, arritmia não tratada, bloqueio atrioventricular avançado, miocardite aguda, estenose mitral ou aórtica severa, cardiomiopatia obstrutiva severa e doenças sistêmicas agudas. Ademais, as contraindicações relativas ao estresse por exercício são doenças neurológicas, ortopédicas, artrite, doença pulmonar severa, doença vascular periférica, falta severa de condicionamento físico e incapacidade de compreensão do protocolo do exercício. Contudo, estresse farmacológico é uma alternativa.

Ressalta-se que exposição à radiação ionizante durante o período gestacional ou de amamentação deve ser realizada somente em casos de extrema necessidade.

5.19. Reações adversas e interações medicamentosas

A ocorrência de reações adversas e interações medicamentosas com os radiofármacos utilizados na cintilografia de perfusão miocárdica é rara ou raríssima, no entanto, alguns episódios já foram relatados, tais como demonstrados no Quadro 03.

Radiofármaco	Reações adversas	Interações medicamentosas
Cloreto de ²⁰¹ Tl	Febre, eritema, rubor, erupção cutânea difusa, prurido e hipotensão.	Doxorrubicina, dipiridamol, bicarbonato de sódio, bloqueadores, nitratos, propranolol, vasopressina, furosemida, glicosídeos digitálicos e isoproterenol.
MIBI- ^{99m} Tc	Gosto metálico ou amargo na boca, dispneia aguda, comichão, hipotensão, bradicardia, erupção cutânea no corpo e nas extremidades e hipersensibilidade.	Cafeína, metilxantinas, nitratos, B bloqueadores e bloqueadores seletivos dos canais de cálcio.

Quadro 04 – Reações adversas e interações medicamentosas aos radiofármacos.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

5.20. Preparo do paciente

O preparo do paciente deve ser realizado de acordo com o objetivo do procedimento, por exemplo:

- Para diagnóstico de coronariopatia, suspender o uso de medicações cardíacas, como betabloqueadores e bloqueadores do canal de cálcio 3 dias antes do exame e vasodilatadores 24 horas antes.
- Para visualização do efeito de medicações terapêuticas, não é necessário suspender as medicações.

Além do mais, pede-se para que o paciente evite refeições pesadas antes do exame, remova objetos metálicos da região do tórax, os quais podem causar atenuação da radiação, tais como moedas e próteses.

Existem algumas especificidades no preparo do paciente com relação ao tipo de estresse que será realizado, tais como:

- Teste ergométrico – necessário jejum de 4 horas antes do exame, suspensão de betabloqueadores 48 horas antes do exame e, se clinicamente possível, o paciente deve estar hemodinamicamente estável por 48 horas antes da realização do teste ergométrico.
- Teste farmacológico com vasodilatadores (dipiridamol, adenosina) – suspensão de bebidas que contenham cafeína (como café e chá) e medicações que possuam metilxantinas 12 horas antes do exame.

5.21. Biodistribuição

Quando injetado por via endovenosa, o ^{99m}Tc -MIBI distribui-se no miocárdio proporcionalmente ao fluxo sanguíneo presente no órgão e tem um tempo de retenção suficiente para que sejam adquiridas as imagens diagnósticas de repouso e estresse, tornando possível detectar isquemia miocárdica indutível, determinar se a função do ventrículo esquerdo é normal e avaliar a viabilidade do miocárdio isquêmico.

A Figura 15 apresenta uma imagem de cintilografia de perfusão miocárdica considerada dentro dos padrões de normalidade. A primeira fileira (A) trata-se das imagens adquiridas na etapa de estresse e a segunda fileira (B) apresenta as imagens da etapa de repouso.

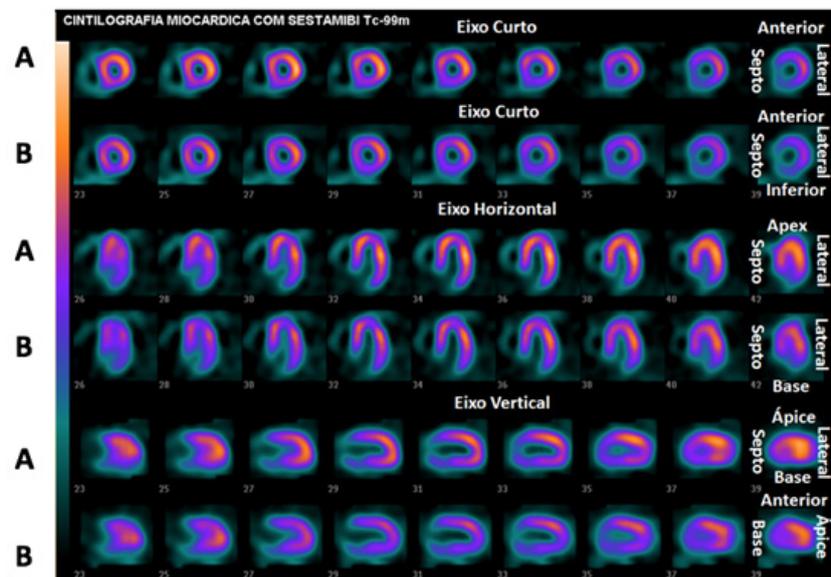


Figura 15 – Cintilografia de perfusão miocárdica.
Fonte: Rocha, 2018.

Por outro lado, a Figura 16 demonstra uma imagem de cintilografia de perfusão miocárdica de paciente apresentando IAM, sendo possível a visualização de áreas de hipocaptção, as quais demonstram tecidos onde já não há fluxo sanguíneo.

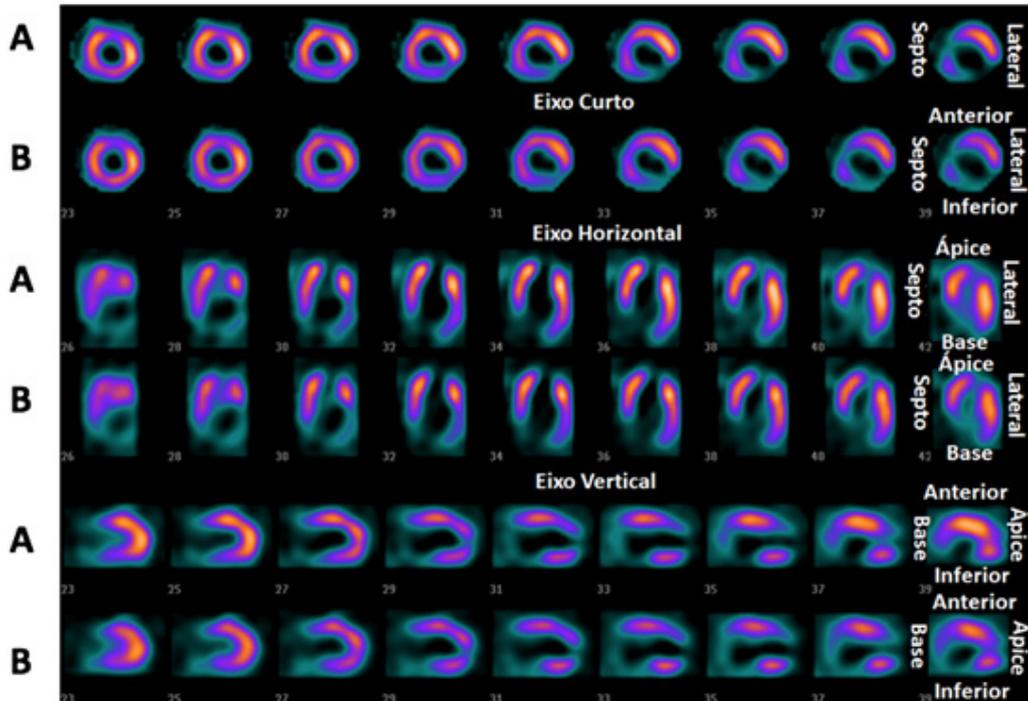


Figura 16 – Cintilografia de perfusão miocárdica com IAM

Fonte: Rocha, 2018.

• Instrumentação

Nos exames de perfusão miocárdica é necessário a utilização de equipamentos de diagnóstico que realizam imagens tomográficas, denominados SPECT. O equipamento rotaciona o detector em torno do tórax do paciente, registrando imagens planares que serão reconstruídas em imagens computacionais em 3 dimensões.

São comumente encontrados equipamentos com dois detectores que realizam a aquisição mais rapidamente se comparados aos equipamentos com apenas um detector. Atualmente, são também encontrados equipamentos CZT, que possuem detectores de telureto de cádmio e zinco (Cadmium Zinc Telluride – CZT), os quais possuem uma tecnologia que permite a aquisição de imagens sem a necessidade de rotacionarem em torno do paciente.

Também são utilizados monitores cardíacos associados ao equipamento de imagem para realização da aquisição sincronizada com os sinais fisiológicos, identificando os períodos de sístole e diástole, resultando em imagens com melhor resolução e informação diagnóstica.

5.22. Artefatos

Em diagnóstico por imagem, objetiva-se representar a estrutura ou região de interesse de forma mais próxima do real. Estruturas que aparecem na imagem, mas não existem, que atrapalham a observação das demais estruturas ou que são representadas de forma diferente do real são denominadas artefatos. Os artefatos têm diferentes origens, podendo ser relacionados ao equipamento, ao paciente e ao protocolo técnico.

Artefatos relacionados ao equipamento

Para a realização do diagnóstico é necessário que todo o sistema esteja atuando com os padrões de desempenho e apresente uma imagem confiável e precisa. Avaliações periódicas são necessárias para garantir a qualidade da imagem em medicina nuclear.

• Uniformidade

Um dos fatores que influenciam na imagem é a uniformidade do sistema de detecção. Regiões do detector não uniformes resultam em uma representação incorreta dos níveis de atividades. Em imagens tomográficas, as imagens são reconstruídas por artefatos semelhantes a anéis com intensidade maior ou menor em relação ao fundo.

• Alinhamento e centro de rotação

O correto alinhamento do sistema, assim como o centro de rotação dos sistemas SPECTs é responsável pela correta representação espacial das estruturas detectadas. Se algum desvio no alinhamento existir, afetará na resolução espacial e no contraste, resultando em borramento na imagem final.

• Fusão das imagens

Em sistemas híbridos como SPECT/CT e PET/CT, que unem imagens anatômicas e fisiológicas, as imagens de um sistema devem estar alinhadas com as outras. Desalinhamentos geram artefatos na fusão das imagens e no mapa de atenuação.

Artefatos relacionados ao paciente

Alguns artefatos são provenientes do paciente devido à movimentação, característica anatômica e fisiológica do paciente. A origem desses artefatos e algumas ações para a redução serão discutidas nesta seção.

• Movimentação

Entre os fatores que geram artefatos relacionados ao paciente, muitos são provenientes da movimentação durante a aquisição do exame. É recomendado que o paciente esteja em uma posição confortável e evite movimentar-se durante todo o exame. Geralmente, movimentos relacionados à respiração não implicam em artefatos, entretanto estado de respiração acelerada ou agitação pode interferir na formação de imagem.

• Atenuação

Estruturas localizadas entre a estrutura onde está concentrado o radiofármaco e o equipamento promovem a atenuação da radiação. Nos exames de perfusão do miocárdio, por exemplo, pacientes obesos, pacientes com mamas volumosas ou o braço posicionado ao lado do corpo apresentam uma maior atenuação dos fótons que seriam detectados. A atenuação excessiva produz imagens com muito ruído. Realização de imagens com o paciente na posição prona ou com o devido posicionamento do braço/mamas auxiliam na correção desse artefato. Equipamentos híbridos (SPECT/CT) realizam a correção da atenuação por meio da identificação do coeficiente de atenuação proveniente das imagens de tomografia computadorizada.

• Captação extra-cardíaca

A concentração de atividade em outros órgãos subdiafragmático, principalmente do fígado devido à excreção hepatobiliar do radiofármaco, interfere nas imagens do miocárdio. Esse artefato é característico pelo aparente aumento da captação da parede inferior, devido ao espalhamento nesta região. Atividades no estômago também podem ser observadas.

Existem algumas técnicas para auxiliar na redução deste artefato. A mais comum é repetir a imagem após o paciente ingerir algum alimento que acelere a eliminação da atividade subdiafragmática e/ou a realização de exercícios leves, geralmente caminhar por algum tempo.

Artefatos relacionados ao protocolo técnico

• Artefatos relacionados ao radiofármaco

Utilização de radiofármacos diferentes da indicação ou radiofármacos com marcação inadequada impossibilita a interpretação do exame, além de expor desnecessariamente o paciente à radiação ionizante. Os radiofármacos devem passar por controle de qualidade após seu preparo. Havendo uma reprovação, o radiofármaco não deve ser administrado ao paciente.

Extravasamento durante a administração do radiofármaco gera uma imagem com grande captação na região do acesso e, dependendo do volume extravasado, a concentração e a atividade do radiofármaco podem ser insuficientes para a realização do exame.

• Erro de aquisição

A aquisição com tempo de aquisição inadequado ocasiona imagens com baixa contagem, podendo gerar imagens que dificultam a interpretação. A seleção do tempo por quadro alinhada à atividade administrada no paciente é essencial para a qualidade de imagem. A janela energética também deve ser devidamente selecionada para cada radioisótopo.

5.23. PET-CT

O PET/CT, equipamento híbrido de tomografia por emissão de pósitron com tomografia computadorizada, é uma das mais novas tecnologias da medicina nuclear, que utiliza radiofármacos emissores de pósitron na imagem PET e raios X na imagem de tomografia. Mais comumente utilizado para varreduras oncológicas, trata-se de um equipamento que produz imagens metabólicas e anatômicas, obtidas quase simultaneamente. Assim, essa ferramenta proporciona a imediata correlação anatômica dos achados, facilitando a identificação de doenças, bem como a diferenciação entre alterações benignas e malignas, definindo com precisão, por exemplo, o melhor local para uma biópsia.

Além de procedimentos para fins de diagnóstico oncológico, o PET/CT também é utilizado em especialidades de neurologia, cardiologia e endocrinologia, entre outras, sendo capaz de detectar problemas neurológicos, como o Alzheimer e epilepsia, e verificar problemas cardíacos e processos infecciosos.

5.24. Terapia com radiofármacos

A Medicina Nuclear tem um papel importante na terapia de algumas doenças. A utilização de radiofármacos no tratamento de câncer teve início nos anos 1940 e vem expandindo com a introdução de novos radioisótopos.

Atualmente, os radionuclídeos mais utilizados para tratamento e as suas indicações são apresentados no Quadro 04.

Radionuclídeo	Energia	Meia-vida	Via de administração	Radiofármaco	Indicação
Iodo 131	364 keV	8,02 dias	Via oral	¹³¹ I - Iodeto de sódio MIBG	Câncer de tireoide/ neuroendócrino
Rádio 223	5 a 7,5 MeV	11,4 dias	Endovenosa	Cloreto de rádio	Câncer de próstata
Lutécio 177	133 a 497 keV	6,7 dias	Endovenosa	¹⁷⁷ Lu-octreotato	Câncer neuroendócrino

Quadro 05 – Radionuclídeos utilizados para terapia em medicina nuclear.

Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

O tratamento com Iodo 131 é realizado de forma ambulatorial quando o paciente recebe uma atividade abaixo de 50 mCi no serviço de medicina nuclear e posteriormente é liberado. No entanto, acima dessa atividade, o tratamento deve ser realizado em quarto de terapia especificado no Plano de Proteção Radiológica. Esses pacientes permanecem sob supervisão do serviço de medicina nuclear até que sua taxa de exposição a dois metros seja inferior a 0,03 mSv/h. Após isso, o paciente recebe alta com as seguintes orientações:

- evitar contato com crianças menores de 5 anos e gestantes;
- não permanecer durante longos períodos próximos a outras pessoas, preferencialmente dormir sozinho;
- evitar contato sexual;
- dar duas descargas após o uso do vaso sanitário;
- não urinar durante o banho;
- ingerir bastante líquido.

Terapias com outros radionuclídeos também podem ser realizadas em quartos de terapia considerando avaliações de proteção radiológica. Para estes pacientes que necessitam de internação, é obrigatório que o serviço possua quarto terapêutico sinalizado com o símbolo internacional de radiação, classificação de área, bem como apresentar informações de nome e atividade do radionuclídeo administrado, data e hora de administração, registro diário de taxa de dose a dois metros do paciente injetado, nome e telefone do médico nuclear responsável e do supervisor de proteção radiológica. Além disso, a sala deve possuir biombo blindado ou barreira protetora para a proteção do indivíduo ocupacionalmente exposto.

Referências



AIEA, Agência Internacional de Energia Atômica. Radioproteção dos trabalhadores: MEDICINA NUCLEAR. Disponível em: <<https://www-ns.iaea.org/tech-areas/communication-networks/orpnet/documents/poster-nuclear-medicine-pr.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2018.

ALLIE, Rayjanah et al. Pitfalls and artifacts using the D-SPECT dedicated cardiac camera. *Journal Of Nuclear Cardiology*, [s.l.], v. 23, n. 2, p. 301-310, 24 set. 2015.

AMORIM, Bárbara Juarez et al. Diretriz para Cintilografia de Perfusão Miocárdica de Repouso e Estresse. *International Journal Of Cardiovascular Sciences*, Campinas, v. 3, n. 29, p. 243-247, mai. 2016.

AMORIM, Bárbara Juarez et al. Guideline para cintilografia de perfusão miocárdica de repouso e estresse. São Paulo: Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear, 2016.

AMORIM, Bárbara Juarez et al. Guideline para cintilografia óssea e cintilografia óssea trifásica. São Paulo: Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear, 2016.

BURRELL, Steven; MACDONALD, Anita. Artifacts and Pitfalls in Myocardial Perfusion Imaging. *Myocardial Perfusion Imaging Artifacts*, Canada, p. 193-211, set. 2006.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. NN 3.05 de 17 de dezembro de 2013. Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear. *Diário Oficial da União*. 2013. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm305.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

DVORAK, Ryan A.; BROWN, Richard K. J.; CORBETT, James R. Interpretation of SPECT/CT Myocardial Perfusion Images: Common Artifacts and Quality Control Techniques. *Radiographics*, [s.l.], v. 31, n. 7, p. 2041-2057, nov. 2011.

GOMES, Gustavo do Vale. Diretriz para terapia com octreotato-dota177lu. São Paulo: Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear, 2016.

HIRONAKA, Fausto Haruki; SAPIENZA, Marcelo Tatit; ONO, Carla Rachel; LIMA, Marcos Santos; BUCHPIGUEL, Carlos Alberto. *Medicina nuclear: princípios e aplicações*. São Paulo: Atheneu, 2012.

MACHADO, Marcos A. D. et al. REVISÃO: RADIOPROTEÇÃO APLICADA À MEDICINA NUCLEAR. *Associação Brasileira de Física Médica*, Salvador, p. 47-52, 2011.

MORAES, Anderson Fernandes. Manual de medicina nuclear. Editora Atheneu. São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, Rita. Preparações radiofarmacêuticas e suas aplicações. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, Coimbra, v. 2, n. 42, p. 152-165, jun. 2006.

PODGORSK, Ervin B., 2010. Cap. 12 – Production of radionuclides. Radiation Physics for Medical Physicists. 2 ed. New York: Springer. p. 569-571.

RAMOS, Susie Medeiros Oliveira et al. Estudo de otimização de protocolo em cintilografia de perfusão miocárdica com a utilização de um simulador antropomórfico. Radiologia Brasileira, [s.l.], v. 47, n. 4, p. 217-222, ago. 2014.

ROBILOTTA, Cecil Chow. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. Rev. Panam Salud Publica, São Paulo, v. 2, n. 20, p. 134-142, 2006.

ROCHA, Gabriela de Souza. Protocolos de cintilografias de perfusão miocárdica. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Radiologia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2018.

SAHA, G. B. Fundamentals of nuclear pharmacy. Springer, 1998. p. 34-170.

SANZ, Raquel Barquero et al. Fundamentos de física médica: medicina nuclear: bases físicas, equipos y control de calidad. Espanha: Sociedad Española de Física Médica, 2014.

ZIESSMAN, Harvey A.; O'MALLEY, Janis P.; THRALL, James H.; FAHEY, Frederic H. Medicina nuclear. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

6. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA (EPC)

Andrea de Aguiar Kasper

Os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) são dispositivos ou soluções ambientais que buscam assegurar as condições de segurança dos indivíduos de forma a minimizar ou eliminar as probabilidades de eventos prejudiciais a estes, durante atividades laborais ou não, melhorando a sua performance. Considerando que, o desempenho é verificado como “o comportamento do sujeito no uso de uma edificação e/ou dos sistemas que a compõem” (ABNT/CB 02, 2005, Parte 01)

a performance do indivíduo pode ser tratada como seu comportamento na realização de atividades, envolvendo ações como o acesso, o uso, a livre movimentação, a percepção e o entendimento das informações ambientais para realizar tarefas cotidianas, podendo ser classificada como ótimo, bom ou ruim, por exemplo. (KASPER, 2013, p. 29).

O Equipamento de Proteção Coletiva (EPC) possui a função de proteger mais de uma pessoa, ao contrário do Equipamento de Proteção Individual (EPI), que é específico para proteger um sujeito somente. Podem ser aplicados de forma a configurar barreiras de proteção, minimizando ou eliminando a probabilidade de ocorrência de situações danosas para os indivíduos, favorecendo a performance durante a realização de suas atividades. O planejamento dos EPCs deve ser considerado, primeiramente, à dos EPIs, embora seja extremamente relevante que sejam tratados como elementos que se complementam em um único sistema. Este sistema possui a finalidade essencial de assegurar que, as melhores condições de segurança sejam proporcionadas e estejam alinhadas à natureza das atividades que serão realizadas, às características dos usuários e do local abordado, aliado à previsão dos EPIs.

Tavares (2009) exemplifica o uso dos EPCs, os quais diferenciam-se dos EPIs, pois favorecem a um grupo de usuários. Ao contrário do EPI, utilizado de forma individual, indistintamente, atua nas situações indesejáveis na própria fonte geradora, como é o caso dos silenciadores dos automóveis, instalados para diminuir o ruído emanado pelo motor (Figura 01).



Figura 01 – Silenciador de carros.
Fonte: TAVARES (2009, p. 02).

Análogos ao exemplo do silenciador dos automóveis (Figura 01), podem ser previstas as soluções para o enclausuramento de emissores de ruídos, de altas temperaturas ou radiação, também, na sua fonte (proteção radiológica). Para compreensão geral da função dos EPCs, citam-se alguns exemplos acerca de sua aplicabilidade (Quadro 01), quando do planejamento (reformas, projetos novos e ampliações) de espaços físicos.

<p>1. Uso do EPC na fase de elaboração de projeto</p>	<p>a) na concepção de aproveitamento da luz natural; b) no aproveitamento da ventilação, levando-se em consideração o regime dos ventos no local da edificação; c) na preocupação no dimensionamento dos espaços internos, objetivando o escoamento rápido e seguro nas situações de sinistros; d) no arranjo físico adequado da linha de produção de forma a evitar acidentes; e) no dimensionamento das instalações sanitárias de forma a atender em número suficiente os trabalhadores e localizado em ambiente salubre; f) nos locais apropriados para armazenamento de produtos e matérias-primas, facilitando o processo de carga e descarga; g) no projeto do sistema de injeção e exaustão de ar, para a renovação do ar no ambiente de trabalho, contribuindo para a retirada de contaminantes e dissipação do calor; h) no posicionamento de máquinas e ferramentas, depósitos.</p>
<p>2. Uso do EPC em relação ao trabalhador</p>	<p>a) uso de cabine de proteção; b) uso de indivíduos surdos nas áreas com alto nível de ruído; c) redução da jornada de trabalho nos ambientes insalubres, com deslocamento do pessoal para outros ambientes de menor risco, diminuindo assim o tempo de exposição aos agentes ambientais de cada trabalhador.</p>
<p>3. Uso do EPC em relação à fonte de risco</p>	<p>a) Enclausurar a fonte: fechar os equipamentos que produzem ruído ou liberam produtos agressivos, isolando-os do ambiente de trabalho. Ex.: isolamento de trituradores, moinhos e tanques de substância voláteis para que não atinjam os demais trabalhadores. Redução de ruídos, poeira e névoas; b) Utilizar ventilação local e exaustora – responsável por retirar do local de trabalho, nos pontos de geração, poeiras nocivas e/ou gases tóxicos, dando adequado destino aos mesmos; c) Aterrar as instalações elétricas: além de adequado isolamento, a rede elétrica necessita de sistema de descarga na terra, visando a eliminar correntes que possam causar danos e/ou choques elétricos.</p>
<p>4. Uso do EPC em relação à trajetória do risco</p>	<p>a) utilizar para-raios nas edificações, na prevenção de acidentes por descargas atmosféricas; b) usar ventilação geral diluidora: ventilação responsável pela manutenção do conforto térmico e ar puro no ambiente de trabalho; c) realizar o controle através do ar (com obstáculos a sua propagação): enclausuramento, barreiras acústicas, absorção e/ou isolamento acústico; d) realizar o controle através das estruturas: silenciadores, isolamento de vibração e choque; e) isolar e sinalizar a área no transporte de carga suspensa.</p>
<p>5. Uso do EPC em relação aos métodos e processos de trabalho</p>	<p>a) substituir o agente nocivo por outro inócuo ou menos nocivo. Ex.: trocar o jato de areia por jateamento abrasivo com granalha de aço na atividade de limpeza de peças metálicas; b) modificar os processos manuais por mecânicos. Ex.: utilização de máquinas na fabricação de tecidos e linhas; c) umectar: injeção de água sobre pontos de produção de partículas nocivas, fazendo com que estas se precipitem em depósitos adequados.</p>
<p>6. Uso do EPC nas medidas de ordem geral</p>	<p>a) ordem e limpeza: medida essencial de manutenção de um programa de acidentes dentro de uma empresa; b) isolamento no tempo e no espaço. Ex.: atividades com maior nível de ruído realizadas em turno inverso ao da empresa e localização de máquinas barulhentas ou perigosas, instaladas fora do ambiente de trabalho; c) utilização da sinalização de segurança na prevenção de acidentes, identificação dos equipamentos de segurança, delimitação de áreas, identificação de tubulações de líquidos e gases advertindo contra riscos e identificação e advertência acerca dos riscos existentes.</p>

Quadro 01 - Uso do EPC em situações e finalidades diversas.

Fonte: Adaptado de (TAVARES, 2009, P. 12-21).

O Quadro 01 faz referência ao uso do EPC em situações e finalidades diversas, tais como: na fase de elaboração de projeto e, em relação ao trabalhador, à fonte de risco, à trajetória do risco, em função dos métodos e processos de trabalho e das medidas de ordem geral. Em relação a estes usos, verifica-se que o EPC é empregado no planejamento de soluções para o controle de sinistros e de segurança dos usuários, ressaltando: o uso de sprinkles e de extintores contra incêndio. Outras soluções aliadas às ações contra os sinistros contemplam as rotas de fuga, as saídas de emergências, as rampas e as escadas, devidamente configuradas, dimensionadas e sinalizadas, de forma a atender à demanda do local.

Recursos, como a música ambiente, são utilizados para minimizar o nível de estresse no trabalhador, assim como, a diminuição da velocidade de operação de uma máquina serve para reduzir o número de acidentes, configurando-se em EPCs, visto que aumentam a segurança de mais de um trabalhador. (TAVARES, 2009; LEYTON, 2014; NOUAILHETAS, 2015). Citam-se, também, a ventilação de postos de trabalho, bem como a sua iluminação, que podem ser empregados para favorecer as condições de segurança, assim como o planejamento dos fluxos de trabalho, de materiais, de resíduos/rejeitos, de forma a atender às necessidades de cada situação. Para este planejamento, o conhecimento acerca das atividades que estão envolvidas nos postos de trabalho deve ser buscado, bem como das características do mobiliário, dos equipamentos e dos utensílios e da organização de todos esses elementos, pois irão apoiar a realização das atividades e definir fluxos.

Entre esses, destacam-se, ainda, os equipamentos de proteção de trabalhadores para apoiar certas atividades complexas, tais como as cabines de segurança biológica (CSB) e para a manipulação de radioisótopos nas atividades que requerem este tipo de proteção. (TAVARES, 2009; LEYTON, 2014; NOUAILHETAS, 2015). Em relação aos equipamentos e às máquinas, de modo geral, a previsão da proteção de contato em suas partes móveis e energizadas, quando da sua concepção, pode ser tratada como EPC. Outro exemplo consiste no acionamento de máquinas com as duas mãos, minimizando ou eliminando a incidência de acidentes com trabalhadores. Além dos trabalhadores, outros sujeitos envolvidos devem ser considerados para o planejamento dos EPCs. Os recursos de proteção coletiva também são empregados durante a execução de obras dos locais que abrigarão atividades distintas, a exemplo, da tela de proteção contra quedas de materiais e a bandeja de proteção contra queda de pessoas, instaladas na edificação em execução, entre outros.

No caso de EPCs voltados aos trabalhadores e pacientes, no que se referem à proteção dos efeitos das radiações ionizantes, as soluções dos meios de proteção coletiva compreendem as instalações, a escolha de revestimentos, dos recursos de proteção radiológica/blindagem, da organização de fluxos específicos de Unidades e de ambientes, aliados ao planejamento dos EPIs.

Um dos objetivos da proteção radiológica é evitar o uso desnecessário da radiação ionizante, justificando adequadamente cada procedimento (princípio da justificação). Esse princípio estabelece que a exposição à radiação deve produzir um benefício suficiente para compensar o dano que a radiação possa causar. Os procedimentos devem ser feitos com a mínima dose de radiação. (LEYTON et al., p. 94, 2014).

É importante salientar que o efeito das radiações ionizantes em um indivíduo

depende, necessariamente, da dose absorvida (alta ou baixa), da taxa de exposição do sujeito e da forma da exposição, considerando a incidência no corpo inteiro ou em partes deste (TAVARES, 2009), conforme já tratado, anteriormente, no Item sobre Exposição e Contaminação abordado neste capítulo. A previsão do EPC's, assim como do EPI pondera sobre as necessidades do sistema de proteção, considerando as diferentes formas de absorção da dose de radiação emanada, sendo esta natural ou não, visto os prejuízos que podem causar às pessoas, na falta de controle destas. Citam-se alguns danos, tais como a probabilidade de induzir ao câncer, provocar a morte de diferentes células do corpo humano, das mortes ou mutações de células, sendo proporcionais às dosagens e à quantidade absorvida.

Existem documentos normativos e legais que orientam/determinam as condições gerais para selecionar e arranjar o EPC voltados à proteção radiológica, citando-se aqui, especialmente, algumas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Neste capítulo serão ressaltadas as determinações de algumas destas, consideradas as soluções gerais para a aplicabilidade dos EPCs. A partir dessas orientações, é possível pesquisar, com maior ênfase, situações específicas envolvendo proteção radiológica coletiva. Para aplicá-las, é importante conhecer a natureza das atividades inerentes à Unidade, de ambientes e de áreas formadoras, bem como dos riscos envolvidos na sua realização, percebendo a classificação de cada ambiente e área.

Ressaltam-se algumas determinações da Resolução 215 (2017 – CNEN NE 6.02), a qual trata do “Licenciamento de Instalações Radiativas” e estabelecem (CAPÍTULO II, Seção III) algumas condições para o Processo de Licenciamento e Autorização para Construção, presentes em alguns itens e artigos importantes. Segundo essa Resolução, no Art. 12, “o requerimento para Autorização para Construção deve ser acompanhado de um Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS)” que compreenda informações passíveis de avaliar as características de segurança envolvidas, abrangendo algumas condições, ressaltando-se as descritas a seguir:

III - análise preliminar e avaliação do projeto e desempenho de estruturas, sistemas e componentes da instalação, identificando os itens importantes à segurança, com o objetivo de avaliar os aspectos de segurança e de proteção radiológica;

IV - programa de garantia da qualidade do requerente e dos contratados principais, a ser aplicado às atividades de gerenciamento, projeto, fabricação, aquisição, construção civil e montagem eletromecânica de itens importantes à segurança da instalação;

V - planos preliminares para procedimentos em situações de emergência, que devem ser suficientes para assegurar a compatibilidade do futuro plano de emergência com as características do projeto da instalação;

...

IX - plano preliminar de proteção radiológica.

...

Ainda na CNEN NN 6.02, o Art. 13 descreve que “independentemente de autorização da CNEN, sendo de exclusiva responsabilidade do requerente e não implicando em qualquer compromisso de concessão de autorização da CNEN as seguintes atividades”:

I - a exploração e escavação preliminar do local e a preparação de infraestrutura para obras de construção, tais como: canteiro de obras, vias de

acesso, linhas de transmissão, edificações temporárias e edificações não destinadas a itens importantes à segurança.

A norma CNEN NN 3.01 (2014) versa sobre as “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”, apresentando no item 5.8, uma classificação que deve ser considerada para previsão do EPC para fins de gerenciamento da proteção radiológica, definição de fluxos, setorização dos ambientes e organização das atividades. Considera os locais que possuem radiação ou material radioativo, estabelecendo uma classificação das áreas, controladas, supervisionadas e as livres, conforme a definição a seguir:

5.8.1 Para fins de gerenciamento da proteção radiológica, os titulares devem classificar as áreas de trabalho com radiação ou material radioativo em áreas controladas, áreas supervisionadas ou áreas livres, conforme apropriado.

5.8.2 Uma área deve ser classificada como área controlada quando for necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança para garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das exposições potenciais.

5.8.3 Uma área deve ser classificada como área supervisionada quando, embora não requeira a adoção de medidas específicas de proteção e segurança, devem ser feitas reavaliações regulares das condições de exposições ocupacionais, com o objetivo de determinar se a classificação continua adequada.

5.8.4 As áreas controladas devem estar sinalizadas com o símbolo internacional de radiação ionizante, acompanhando um texto descrevendo o tipo de material, equipamento ou uso relacionado à radiação ionizante.

5.8.5 As áreas supervisionadas devem ser indicadas como tal, em seus acessos.

As orientações gerais da norma CNEN NN 3.01 (2014), em relação ao EPC também, abordam os requisitos básicos de radioproteção para as pessoas, considerada a exposição à radiação ionizante. Orienta as boas práticas nas atividades que compreendem o uso das fontes descritas, assim como as intervenções necessárias, nas quais esta Norma possui aplicabilidade, envolvendo:

1. O manuseio, a produção, a posse e a utilização de fontes, bem como o transporte, o armazenamento e a deposição de materiais radioativos, abrangendo todas as atividades relacionadas que envolvam ou possam envolver exposição à radiação;
2. Aquelas que envolvam a exposição às fontes naturais cujo controle seja considerado necessário pela CNEN.

Trata, também, de medidas de proteção para as exposições ocupacionais, médicas e do público, em geral, considerando as seguintes intervenções para as situações de exposições normais ou potenciais (CNEM NN 3.01, 2014).

1. Aquelas decorrentes de situações de emergência, que requeiram uma ação protetora para reduzir ou evitar as exposições à radiação.
2. Aquelas decorrentes de situações de exposições crônicas que requeiram uma ação remediadora para reduzi-las ou evitá-las.
3. Aquelas decorrentes de exposições a resíduos oriundos de atividades não submetidas ao sistema regulatório da CNEN.

A CNEN-3.02, que aborda os “Serviços de Radioproteção”, no item 4.3 instalações dos Serviços de Radioproteção, especifica, em relação ao EPC, a necessidade de “descontaminação externa de pessoas” e, “aferição, ajuste, guarda e descontaminação de equipamentos”. No item 4.4 a mesma relata que, em relação aos equipamentos, que é necessária além da monitoração individual de trabalhadores (EPI), a “monitoração de área” e “monitoração ambiental”, compreendendo, a “descontaminação externa de pessoas e superfícies”. No item: 6.2. Descreve que:

o controle de áreas compreende a avaliação, classificação, controle de acesso, balizamento, sinalização, monitoração e descontaminação de áreas.

Especificamente, no item 6.2.1 sobre Avaliação e Classificação de áreas, o documento propõe medidas de controle coletivo, descritas a seguir:

6.2.1.1 O SR¹ deve realizar periodicamente a avaliação e classificação de áreas, com relação aos seguintes aspectos:

- a) segurança e confiabilidade das estruturas e dos equipamentos associados a fontes de radiação;
- b) níveis de radiação externa e de contaminação;
- c) acesso e movimentação de trabalhadores e de fontes de radiação, tanto para condições normais de trabalho como para situações de emergência; e
- d) localização de fontes de radiação e de rejeitos.

Especificamente no item 6.2.2, sobre Controle de Acesso, o documento propõe medidas de domínio coletivo, descritos a seguir (CNEN NE-3.02, 2018):

6.2.2.1 As áreas restritas da instalação devem estar providas de meios adequados para o controle do seu acesso.

6.2.2.2 O acesso às áreas restritas somente deve ser permitido a pessoas devidamente autorizadas pela Direção da instalação e sob controle do SR.

6.2.2.3 Áreas restritas fora de serviço ou em situações de emergência devem ser bloqueadas até que sejam tomadas as devidas medidas de segurança pela Direção da instalação e pelo SR para a verificação das condições de exposição e/ou para o restabelecimento da normalidade.

Ainda, no item 6.2.3, acerca da Sinalização, o documento propõe medidas de controle coletivo, informados a seguir (CNEN NE-3.02, 2018).

As áreas restritas da instalação devem estar claramente sinalizadas, em conformidade com às normas específicas, focalizando os seguintes aspectos:

- a) presença de radiação com o símbolo internacional de radiação na entrada e saída das áreas restritas, e nos locais onde existem fontes de radiação;
- b) identificação e classificação das áreas, perfeitamente visíveis na entrada e saída das mesmas;
- c) identificação das fontes de radiação e dos rejeitos nas suas embalagens, recipientes ou blindagens;

1 Serviço de Radioproteção (SR) – entidade constituída especificamente com vistas à execução e manutenção do Plano de Radioproteção de uma instalação. Essa designação não tem caráter obrigatório, servindo simplesmente com referência (RESOLUÇÃO 231, 2018, CNEN NE-3.02).

- d) presença do valor de taxas de dose e datas de medição em pontos de referência significativos, próximos às fontes de radiação, nos locais de permanência e trânsito de trabalhadores;
- e) identificação de vias de circulação, entrada e saída para condições normais de trabalho e para situações de emergência;
- f) localização de equipamentos de segurança e instrumentos de medição para radioproteção;
- g) aviso sobre a presença e identificação de contaminação e altos níveis de radiação, com as datas de medição;
- h) presença de procedimentos a serem obedecidos em situações de acidentes ou de emergência; e
- i) presença e identificação de sistemas de alarmes sonoros e visuais para situações de acidente ou de emergência, ou para condições de trabalho envolvendo altos níveis de exposição.

Há algumas Resoluções da CNEN que abordam, igualmente, serviços específicos, como é o caso das orientações gerais da CNEN NN-6.10, que tratam dos “Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia”. A Resolução em questão relaciona no CAPÍTULO IV, Seção I, os diferentes tipos de áreas (livres, controladas e supervisionadas) com vistas à proteção coletiva dos trabalhadores e demais usuários. Ressaltam-se os artigos 37 a 47 desta norma que orientam sobre a antevisão de soluções sobre o EPC para trabalhadores e pacientes.

Já a CNEN NN-3.05 dispõe sobre os “Requisitos de segurança e proteção radiológica em Serviços de Medicina Nuclear in vivo”. Relaciona no Capítulo II, Seção I, os “Requisitos Operacionais de Um Serviço de Medicina Nuclear”, no que se refere às “Instalações Físicas”. Nos seus artigos 14 a 19, é possível verificar as necessidades de proteção coletiva para trabalhadores e demais usuários, relacionados aos ambientes exigidos para o funcionamento da Unidade. Consideram-se, para tal, os fluxos de materiais, de resíduos e de pessoas, incluindo pacientes injetados, manipulação e armazenamento de fontes radioativas em uso, ambientes para a administração de radiofármacos, dos revestimentos e bancadas com superfícies impermeáveis, sistema de exaustão de ar, blindagem conforme os limites estabelecidos, entre outros, pelas resoluções da CNEN.

Diante do exposto neste capítulo, no planejamento de Unidades que comportam ambientes, equipamentos e atividades envolvidas com a geração de radiação ionizante devem ser previstas as diferentes e necessárias formas de proteção coletiva. O uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) é relevante, mas, primeiramente, o planejamento dos Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) deve ser realizado, visto que este protege a diversos usuários ao mesmo tempo. Os EPCs são uma forma importante de proteção radiológica e a sua previsão possui extrema relevância. A proteção atinge, desde trabalhadores durante a atividade laboral, estendendo-se aos demais indivíduos expostos às condições suscetíveis de ameaçar a sua segurança e saúde, tais como os pacientes que utilizam equipamentos de radiologia para realizar exames. As soluções devem garantir a segurança de seus usuários ou futuros ocupantes, considerando que estes podem influenciar nos processos de trabalho e nas ações dentro da instituição que utiliza radiação ionizante para desenvolver suas atividades.

Referências



ABNT/CB 02. Comitê Brasileiro da Construção Civil. Projeto 02:136.01-001/1:2005. Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos. Parte 1.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. NR 18: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Brasília, DF, 1978. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 18, de 08 de junho de 1978. Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>>. Acesso em: 03 jun. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 20 mar. 2002.

TAVARES, Cláudia Régia Gomes (Coordenadora). Ministério da Educação (ME). Secretaria de Educação a Distância (SEDIS). Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Segurança do Trabalho I. Equipamento de Proteção Coletiva (EPC) e Equipamento de Proteção Individual (EPI). Curso Técnico de Segurança do Trabalho. 2009. Disponível em: <http://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_amb_saude_seguranca/tec_seguranca/seg_trabalho/291012_seg_trab_a10.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

Ministério da Ciência e Tecnologia (BR), Comissão Nacional de Energia Nuclear, Resolução CNEN NE-3.02 nº 231/2018. Serviços de Radioproteção. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2018.

Ministério da Ciência e Tecnologia (BR), Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 6.02. Resolução nº 215/2017. Licenciamento de Instalações Radiativas. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2017.

Ministério da Ciência e Tecnologia (BR), Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 3.05. Resolução 159/2013. Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2013.

Ministério da Ciência e Tecnologia (BR), Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 6.10. Resolução nº 176/2014. Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia. Alterações da Resolução 214, 2017. Brasília: Ministé-

rio da Ciência e Tecnologia. 2014.

Ministério da Ciência e Tecnologia (BR), Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 3.01, Resolução nº 164/2014. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2014.

KASPER, Andrea de Aguiar. Sistema Norteador para Projetos Interativos (SINPI): Abordagem da Percepção Espacial, da Arquitetura Escolar Inclusiva e da Usabilidade Orientada para a Interação Espacial de Alunos com Restrições Visuais. 2013. p. 398. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LEYTON, Fernando et al., Proteção Radiológica na Cardiologia Intervencionista. Rev. Bras. Cardiol. Invasiva. 2014;22(1):87-98.

NOUAILHETAS, Yannick Ministério da Ciência e Tecnologia (BR), Comissão Nacional de Energia Nuclear. Apostila educativa: Radiações Ionizantes e a Vida. 2015. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

7. SAÚDE DO TRABALHADOR E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Rita de Cássia Flôr

Proteger-se da exposição ocupacional às radiações ionizantes é fundamental para a garantia da saúde e segurança dos trabalhadores que atuam com as tecnologias radiológicas, envolvendo a utilização da radiação X ou radioisótopos, para fins diagnósticos ou terapêuticos, tais como: tomografia computadorizada, radiologia intervencionista, mamografia, entre outros.

É importante que os trabalhadores das técnicas radiológicas, assim como outros profissionais de saúde, além de se protegerem das exposições às radiações ionizantes, também conheçam o que preceitua a legislação sobre saúde e segurança radiológica. Assim, no que diz respeito à aplicação das radiações ionizantes na saúde, temos os seguintes atos legais.

A norma regulamentadora (NR) nº 32 trata da segurança e saúde no trabalho em estabelecimentos de saúde. Aprovada pela Portaria nº 485 de 11 de novembro de 2005 do Ministério do Trabalho. Em seu item 32.4, estabelece o atendimento das exigências desta NR com relação às aplicações das radiações ionizantes, não desobrigando o empregador de observar as disposições estabelecidas pelas normas específicas da CNEN e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2005). Igualmente, cabe mencionar as normas regulamentadoras (NRs) nº 06 e 07 do Ministério do Trabalho.

A NR 06 trata do equipamento de proteção individual (EPI). Este tem como finalidade proteger qualquer profissional de qualquer área no exercício de sua função. A norma estabelece que todo EPI deve possuir certificado de aprovação (CA), pois assim garante que todo EPI esteja dentro dos requisitos exigidos pela legislação vigente. A referida norma foi aprovada pela Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Sua última atualização ocorreu em 2018.

Além da NR 6, considerando as especificidades dos EPI utilizados para a proteção radiológica, temos a norma da ABNT/NBR IEC 61331-3/2004 que trata das Vestimentas de Proteção Radiológicas (VPRs) e dos Dispositivos de Proteção Radiológicas (DPRs). A referida norma estabelece que toda VPR e DPR devem ser fabricadas conforme exigência da legislação vigente, como blindagens mínimas estabelecidas, tamanhos padronizados com medidas específicas para cada modelo ser fabricado de modo que seja fácil de vestir e retirar, e ter a superfície composta de material que facilite a higienização. Entre as VPRs e DPRs, encontram-se os aventais plumbíferos, aventais protetores de gônadas, protetores de escroto, blindagem de ovário e luvas plumbíferos. Outro tipo de proteção importante que não foi mencionado nesta norma é o protetor de tireoide, pois a glândula tireoide é radiosensível à exposição à radiação, por isso a necessidade de protegê-la.

Em relação à NR 07, também do Ministério do trabalho, esta norma estabelece a obrigatoriedade de elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e das instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), com o objetivo de promoção e preservação da saúde do conjunto dos seus trabalhadores. Esse programa menciona os parâmetros para a monitorização da exposição ocupacional a alguns riscos à saúde, entre os quais o risco de exposição à radiação ionizante.

Também aprovada pela Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978, tendo sua última atualização em 2013.

Mas, como proteger-se das exposições às radiações ionizantes?

Essa resposta, embora simples, faz perceber que os trabalhadores não dão a devida importância à sua proteção. Isso se deve, entre outros motivos, ao fato de a radiação ionizante ser invisível, inodora, incolor e indolor. Também porque as doenças ocupacionais (efeitos biológicos) causadas por este tipo de exposição são difíceis de relacionar com a atividade em si. Tais efeitos biológicos são chamados de estocásticos e determinísticos, sendo o mais comum, para os trabalhadores ocupacionalmente expostos, os efeitos estocásticos. São exemplo de doenças ocupacionais relacionadas aos efeitos estocásticos, as doenças do sistema hematopoiético, sendo as mais comuns as leucemias; as radiodermites, catarata radiogênica, entre outras.

Assim, de modo a evitar tal exposição, os trabalhadores devem adotar rigorosamente os princípios básicos de proteção radiológica, como mostra a Figura 01, ou seja, aumentar a distância e diminuir o tempo de exposição à fonte de radiação ionizante, assim como utilizar as barreiras, neste caso o uso dos equipamentos de proteção individual (EPI), aqui tratados de vestimentas de proteção radiológica (VPRs). Também cabe mencionar a existência de equipamento de proteção coletiva (EPC), ou vestimentas de proteção coletivas (VPV).

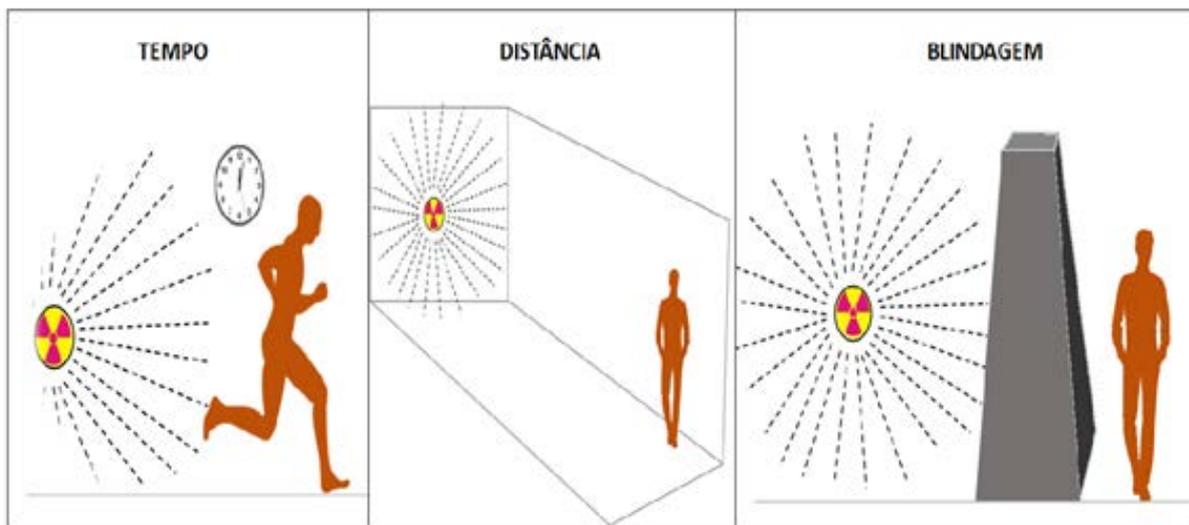


Figura 01 – Princípios básicos da proteção radiológica.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A propósito, após a descoberta dos raios X, foi observado que pessoas com muito tempo de exposição às radiações ionizantes foram desenvolvendo doenças, levantando a necessidade de proteção das pessoas expostas. Antonie Henri Becquerel foi um grande contribuinte para o assunto da proteção radiológica quando

veio a concluir que existem diversos tipos de interações dependendo do tipo de radiação emitida, anunciando também que o chumbo possuía boas propriedades de atenuação. Diante dessa descoberta, para prevenir os danos causados pela interação da radiação ionizante, o uso das vestimentas plumbíferas é fundamental.

Segundo dados extraídos do blog da Sagra Landauer, de uma entrevista com o Físico, Dr. Phillip Patrik Dmitruk, um fator importante na proteção radiológica é a espessura da vestimenta. Para ele, uma cultura bastante forte no país é o uso de avental com 0,50 mm de chumbo. Tal espessura, segundo a legislação, deve ser utilizada para proteger áreas expostas à radiação primária. Entretanto, a maior parte dos procedimentos radiológicos envolve exposição à radiação secundária, ou seja, um avental de 0,25 mm de chumbo seria o suficiente.

As VPRs são de vários tipos e modelos – aventais, saias, coletes, protetores de tireoide, óculos, luvas, protetores de gônadas, entre outros, e sua equivalência em chumbo varia de 0,25 a 0,50 mm. Sabe-se da resistência da utilização destas VPRs pelos trabalhadores, pois estes, a depender da espessura utilizada, são bem desconfortáveis em função do peso, o qual pode ocasionar dores lombares se usado por muito tempo, especialmente os com espessura de 0,50 mm de chumbo. As Figuras, 02, 03 e 04 mostram alguns modelos.



Figura 02 – Protetor saia e colete.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.



Figura 03 – Avental circular
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.



Figura 04 – Avental comum.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Para evitar o surgimento de catarata radiogênica, também é necessário a utilização de óculos plumbíferos, sobretudo para os trabalhadores envolvidos em procedimentos intervencionistas (Figura 05). Além do uso dos óculos, outras medidas também são indispensáveis, como o uso de monitores de lapela e de extremidades, podendo ser dos tipos pulseira, relógio ou anel.



Figura 05 – Óculos plumbíferos.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

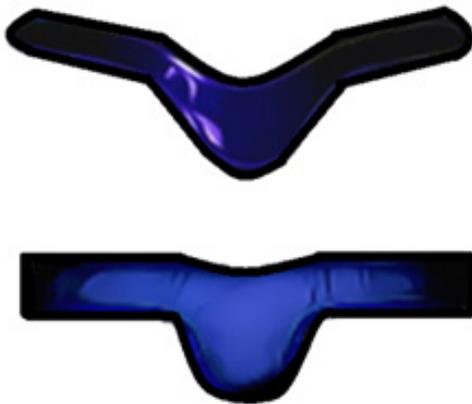


Figura 06 – Protetores de tireoide.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.



Figura 07 – Luva plumbífera.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Outras VPRs importantes são as luvas de proteção (Figura 07) e o protetor de tireoide (Figura 06). As luvas não devem conter fissuras na sua blindagem e possibilitarem a higienização da parte interna da mesma, além de cobrirem toda a mão até a metade do antebraço, devem ser utilizadas quando as extremidades forem expostas à radiação ionizante. A espessura mínima para as luvas de proteção é de 0,25 mm Pb.

Os protetores de tireoide também compõem as VPRs e são de extrema im-

portância, tendo em vista a glândula tireoide ser radiosensível, podendo apresentar alterações funcionais e estruturais.

7.1. Quanto ao uso do monitor individual

O uso do monitor individual é indispensável para o controle ocupacional da exposição do trabalhador. Tal controle visa a resguardar a saúde e a segurança dos trabalhadores e minimizar os riscos provenientes do uso das radiações ionizantes no processo de trabalho envolvendo as tecnologias radiológicas.

Assim, os atos legais que normatizam essa área do conhecimento estabelecem que trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante devem utilizar, em sua jornada de trabalho, um monitor individual de tórax, para estimar a dose efetiva de corpo inteiro e, de acordo com a atividade exercida, o trabalhador também deve utilizar um monitor individual de extremidade, em forma de anel ou pulseira, conforme demonstram as Figuras 08 e 09.



Figura 08 – Monitores de tórax.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

O monitor individual é pessoal e intransferível, e deve ser utilizado durante a jornada de trabalho e enquanto o trabalhador permanecer em áreas controladas. Deve ser instalado sempre na altura do tórax e sobre o avental de chumbo, quando este estiver sendo usado, conforme mostra a Figura 08. Tais monitores devem ser utilizados pelos trabalhadores durante um mês. Após esse período, estes são encaminhados para o laboratório contratado para a leitura da dose mensal recebida pelo trabalhador.



Figura 09 – Uso do monitor de tórax.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Normalmente, os monitores são trocados mensalmente, e, para o controle do uso, estes apresentam-se em cores diferentes e mudam a depender do laboratório contratado para a leitura. Dessa forma, podemos ter, por exemplo, a cor amarela para os meses ímpares, a cor rosa para os meses pares e uma outra cor para ser utilizada em casos de eventos adversos, como mostra a Figura 09.

É importante salientar que tais monitores devem ser mantidos longe de qualquer fonte de radiação, quando não estiverem sendo utilizados e guardados junto ao monitor padrão, que é enviado com o lote dos monitores de cada mês para o laboratório de leitura.



O monito individual é pessoal e intransferível.



Figura 10 – Monitores de extremidades.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A monitoração individual de extremidades deve ser utilizada nos casos em que os trabalhadores possam receber exposições significativas nas extremidades, como no manuseio de material radioativo, em procedimentos na radiologia intervencionista, na medicina nuclear, entre outras atividades. Nesses casos, deve-se fazer uso adicional de monitores de extremidade, podendo ser anel ou pulseira,

conforme mostra a Figura 10. Cabe lembrar que o dosímetro individual é de uso exclusivo do trabalhador no serviço para o qual foi contratado.

Em relação aos valores das doses recebidas, o limite anual de dose efetiva para indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE), segundo a Norma CNEN 3.01/2005 e a Portaria 453/1998, é de 20 mSv ano, valor este refletindo a média ponderada em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em nenhum ano.

Assim, é importante que o trabalhador acompanhe sua dose mensalmente, por meio do relatório de dose mensal. Este deverá ser disponibilizado ao trabalhador, pois, segundo a Portaria 453/1998, compete ao supervisor de radioproteção ou responsável técnico pelo serviço manter os assentamentos de monitoração individual e informar mensalmente ao trabalhador monitorado os valores das doses registradas. Caso sua dose mensal ultrapasse 1,5 mSv, os responsáveis pelo serviço de proteção radiológica devem providenciar uma investigação.

Assim sendo, você, trabalhador, deve ficar atento, ou seja, sua dose mensal não deve ser superior a 1,5 mSv mês.

Em relação aos limites de doses para o cristalino, em abril de 2011, a International Commission on Radiological Protection (ICRP) aprovou um novo limite ocupacional, de 150 mSv para 20 mSv em um ano.



Sua dose mensal não deve ser superior a 1,5 mSv mês.

7.2. Quanto ao controle ocupacional, como devemos fazer?

No que se refere ao controle ocupacional, a Norma NN-3.01, de 2005, da CNEN, assim como a Portaria do Ministério da Saúde (MS) e Secretaria de Vigilância Sanitária (SVS) N^o. 453, de 1^o de julho de 1998 preceituam que os titulares e empregadores devem implementar um programa de saúde ocupacional para avaliação inicial e periódica da aptidão dos trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante.

Em relação ao que preceitua a legislação para esse controle, cabe esclarecer que, desde 1960, está previsto na Convenção n. 115 da Conferência Geral da OIT. O referido programa deve ser baseado nos princípios gerais de saúde ocupacional, tendo como referência a Norma Regulamentadora 7, do Ministério do Trabalho, que dispõe sobre o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO). Esse programa menciona os parâmetros para a monitoração da exposição ocupacional

a alguns riscos à saúde, entre os quais o risco de exposição à radiação ionizante.

Entre os riscos, menciona o risco físico de radiação ionizante, estabelecendo que o controle ocupacional seja realizado no ato da admissão, no periódico (semestral), no retorno ao trabalho, na mudança de função e no demissional.

Desse modo, ressalta-se a importância do exame periódico, semestral.



O controle ocupacional deve ser realizado semestralmente

No desenvolvimento desse controle, solicitam-se exames complementares, como hemograma e contagem de plaquetas, assim como se avalia o relatório mensal das doses de radiação recebida. Para os trabalhadores que atuam em medicina nuclear e em radioterapia, podem ser necessários alguns exames complementares, pois nestes serviços os trabalhadores expõem-se aos radiofármacos, assim como a fontes radioativas diversas, entre outros fatores.

Referências



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. _____. NBR IEC 61331: Dispositivos de proteção contra radiação X para fins de diagnóstico médico. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Portaria nº 485, de 11 de novembro de 2005. Norma Regulamentadora NR nº32, que dispõe sobre a segurança e saúde no trabalho em estabelecimentos de saúde. Diário Oficial da União. Brasília (DF); 16 Nov. 2005. Seção I. acesso em: 06 jun. 2017. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/726447.pdf>>.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 3.05 – Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de medicina nuclear. acesso em: 16 nov. 2018. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm305.pdf>>.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. acesso em: 16 nov. 2018. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>>.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 6.10 – Requisitos para o registro de Energia Nuclear. CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. acesso em: 16 nov. 2018. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>>.

BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Portaria nº 453 de 1º de junho de 1998. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Diário Oficial da União, 1998.

FLÔR RC, Gelbcke FL. Proteção radiológica e a atitude de trabalhadores de enfermagem em serviço de hemodinâmica. Texto contexto – enferm. Jun. 2013. Disponíveis em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-07072013000200018&lng=en> e <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-07072013000200018>>. Acesso em: 23 Jun. 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO (BR). Portaria 3214 de 08 de junho de 1978: aprova as Normas Regulamentadoras – NR do Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. In: Manual de Legislação. 44ª Ed. São Paulo: Atlas; 2004.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 6: NR 6 – EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL –

EPI. 2017. p. 8. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142013000100014>. Acesso em: 10 out. 2017.

PAN, Camila de Araújo; BARROS, Adilson Camilo de. Introdução Histórica à Física e à Química das Radiações a Contribuição de Madame Curie. 2013. Disponível em: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/rcext/article/view/2235/2131>>. Acesso em: 10 out. 2017.

Comissão Nacional de Energia Nuclear. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. pessoas físicas para o preparo, uso e manuseio de fontes radioativas. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm601.pdf>>. acesso em: 16 nov. 2018.

8. GESTÃO DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM SERVIÇOS DE SAÚDE

Andrea Huhn

Patrícia Fernanda Dorow

Laurete Medeiros Borges

Você aprendeu até agora que, desde a descoberta dos raios X por Roentgen (1895), a radiologia foi se desenvolvendo como especialidade médica, que envolve diagnóstico e tratamento.



Os primeiros países a utilizarem radiografias, com fins diagnósticos, foram Alemanha, Estados Unidos, Inglaterra, França e Rússia.

Aliado à expansão da área, houve aumento e diversidade de equipamentos, sejam eles emissores ou não de radiação ionizante, como na radiologia convencional, medicina nuclear, tomografia computadorizada, densitometria óssea, mamografia, radiologia intervencionista, ultrassonografia, ressonância magnética, entre outras.

Além da diversidade de equipamentos, tem-se também a equipe multiprofissional de saúde que compõe as equipes de saúde e que trabalha em conjunto na radiologia, seja na fase da solicitação do exame realizada pelo médico, no agendamento do exame envolvendo a equipe de recepção até aquisição da imagem (profissionais das técnicas radiológicas) responsáveis pelo encaminhamento e acompanhamento do paciente. Gerenciar um serviço de radiologia com essa infinidade de particularidades da área torna-se um desafio para os gestores. Apesar de existirem inúmeras metodologias de gestão, no Brasil, especialmente na saúde, elas ainda são pouco utilizadas.

A base para uma eficiente gestão está no tripé: pessoas, processos e tecnologias. Vimos que na radiologia as pessoas são formadas pelos diferentes profissionais da saúde, porém a formação desses profissionais na maioria das matrizes curriculares não abrange conteúdos relacionados à proteção radiológica. Cabe ao gestor a promoção de capacitações periódicas envolvendo a equipe multiprofissional visando a suprir esta lacuna. Da mesma forma, o gerenciamento e a otimização dos processos envolvendo tudo que é realizado dentro de uma organização, no caso, de radiologia, podendo ser estruturado ou não. De fato, processos padronizados otimizam a eficiência da organização e melhoram a produtividade dos recur-

so humanos (pessoas), conseqüentemente, a qualidade dos serviços prestados. Por fim, as tecnologias são a base tanto para a geração das imagens radiológicas quanto para o compartilhamento do conhecimento e mapeamento de processos da organização.

Na saúde, tecnologia inclui tanto as que interagem diretamente com os pacientes, tais como medicamentos e equipamentos (tecnologias biomédicas) e procedimentos médicos, técnicas cirúrgicas e normas técnicas de uso de equipamentos, quanto os sistemas organizacionais e de suporte dentro dos quais os cuidados com saúde são oferecidos também estão inseridos neste conceito.

Portanto, contar com uma tecnologia de ponta para otimizar os processos sem dúvida é algo extremamente importante. Todavia, muito além da tecnologia, torna-se primordial uma equipe multidisciplinar treinada e consciente que irá de fato garantir que os exames e tratamentos sejam realizados com segurança, garantindo que os procedimentos radiológicos sejam realizados dentro das normas e dos limites de exposições legais, conforme prevê a proteção radiológica.

Para que seja efetivada a gestão da proteção radiológica no ambiente de saúde, a equipe multiprofissional deve conhecer, ter acesso facilitado e, se possível, participar da confecção do Plano ou Programa de Proteção Radiológica, conforme o serviço em que atue.

Inicialmente, vamos diferenciar um Plano de Proteção Radiológica de um Programa de Proteção Radiológica. O Plano de Proteção Radiológica consiste no segundo item do Memorial Descritivo de Proteção Radiológica, citado pela Norma Regulamentadora 32 (NR-32), da Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde, e enfatiza em seu item 32.4.2 a obrigatoriedade de manter este documento no local de trabalho e à disposição da inspeção do trabalhador. Segundo essa norma, o órgão que aprova o Plano de Proteção Radiológica é a CNEN e, para os serviços de radiodiagnóstico, é a Vigilância Sanitária (Tabela 1).

NR 32	Exige um Plano de Proteção Radiológica	Serviços de Medicina Nuclear e Radioterapia, entre outros
Portaria 453/98	Exige um Programa de Proteção Radiológica	Serviços de radiodiagnóstico médico e odontológico
Objetivo comum de ambos	Adequar setores diferentes à proteção radiológica	

Tabela 1 – Objetivos NR 32 e Portaria 453/98.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

8.1. Memorial descritivo

O Memorial Descritivo de Proteção Radiológica (Figura 01) deve apresentar o Programa de Proteção Radiológica e ser anexado ao Plano de Prevenção de Riscos Ambientais, incluindo o risco físico das “Radiações Ionizantes”, que deve ser de conhecimento da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes, uma vez que é fundamental para a prevenção de acidentes durante a jornada de trabalho com aparelhos de raios X ou materiais radioativos.



Figura 01 – Memorial Descritivo de Proteção Radiológica.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

A equipe multiprofissional de saúde que atua com radiação ionizante deve conhecer as peculiaridades da radiação, e os serviços de radiodiagnóstico devem dispor de um Plano ou Programa de Proteção Radiológica atualizado. Em síntese, a Portaria 453/98 exige um Programa de Proteção Radiológica, enquanto a NR32 exige um Plano de Proteção Radiológica, estes têm finalidade comum de adequar setores diferentes à Proteção Radiológica. O Programa de Proteção Radiológica, descrito na Portaria 453/98, aplica-se a serviços de radiodiagnóstico médico e odontológico. O Plano de Proteção Radiológica contido na NR32 aplica-se em serviços de Medicina Nuclear e Radioterapia, ou seja, a NR tem objetivo de elaboração de um Programa de Proteção Radiológica para serviços que possuam fontes radioativas e a Portaria 453/98 tem maior foco nos serviços que utilizam raios X para gerar imagens diagnósticas.

Vale ainda ressaltar, quanto à diferença entre Plano e Programa de Proteção Radiológica, que setores mais complexos devem desenvolver um Plano, por terem predisposição a acidentes com maiores proporções, enquanto o Programa de Proteção Radiológica aplica-se aos setores menos complexos, mas não menos importantes, relacionados ao uso de raios X (Figura 02).



Figura 02 – Fatores comuns Plano e Programa de PR.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

O serviço de radiodiagnóstico compreende o setor da saúde e demanda uma gestão adequada, especialmente porque nesse ambiente está presente a radiação ionizante e, como você já aprendeu, é imprescindível que os profissionais atuantes nesse local tenham conhecimento e consciência da necessidade de realizar uma proteção radiológica adequada para si e para os usuários do serviço. Sendo assim, a gestão da proteção radiológica deve ser clara e fazer parte da rotina dos trabalhadores.

Algumas organizações de radiologia podem ter problemas comuns referentes à qualidade, como cultura do desperdício, falta de planejamento e mapeamento dos processos e estrutura fragmentada e complexa da organização. São diversos profissionais de diferentes áreas interagindo com diferentes rotinas, o que torna o ambiente complexo. No serviço de radiodiagnóstico, por exemplo, é comum o usuário questionar o porquê de realizar determinado exame e não outro, e não é incomum o paciente querer realizar uma imensa variedade de exames para detectar possíveis patologias. Infelizmente, nem todo profissional que faz pedidos de exames que utilizam radiação ionizante conhece as consequências que o mau uso destes pode causar.

Sendo assim, a disponibilização da informação de forma unificada, correta e completa pode auxiliar as instituições a dimensionarem os esforços da otimização, de modo que pedidos de exames sejam justificados e eficazes, evitando subdimensionamento ou superdimensionamento dos esforços empreendidos.

8.2. Princípios da proteção radiológica

Um dos princípios da proteção radiológica é que ela seja econômica e eficaz, porém, nem sempre isso ocorre na prática. Quando os esforços são subdimensionados, a escassez de medidas preventivas adequadas pode levar a ações remediadoras com graves consequências, as quais podem variar de perdas financeiras a danos na saúde dos envolvidos. Por outro lado, o superdimensionamento dos esforços, ainda que por excesso de zelo, pode ser desnecessariamente oneroso e não justificado.

Para uma gestão da proteção radiológica efetiva são aspectos importantes: informatização dos processos de proteção radiológica, atendimento dos aspectos preconizados na legislação, realização de planejamento de ações, capacitações e atualizações permanentes para equipe multiprofissional, criação de metas e apresentação contínua de resultados.

Esses aspectos citados acima permitem que os serviços de radiologia desenvolvam uma cultura da qualidade. Uma visão holística centrada nos profissionais da saúde faz-se essencial já que grande parte das dificuldades de gestão é baseada na relação dos profissionais com o meio e com as tecnologias.

VOCÊ SABIA?



O dosímetro não protege, ele é um medidor de dose, que se utilizado corretamente irá mostrar a dose recebida pelo indivíduo ocupacionalmente exposto mensalmente. Somente os laboratórios credenciados pela CNEN podem fazer a leitura de dose.

Na radiologia, os testes com os equipamentos e a sua boa condição de uso são itens básicos para prevenção de problemas decorrentes, por exemplo, do funcionamento inadequado do colimador, o que pode gerar problemas, como artefatos na imagem e superexposição do paciente e dos profissionais da saúde à radiação ionizante.

A imagem pode definir o diagnóstico e o rumo do tratamento do paciente, por isso, o sistema de aquisição de imagens deve estar em dia. Existem diversos testes para os equipamentos de radiologia previstos na Portaria 453/98 do Ministério da Saúde, e a realização dos mesmos é a base para a sua utilização segura.

Os profissionais da saúde devem receber treinamento para que tenham conhecimento sobre as doses permitidas, as formas de se protegerem da radiação ionizante, conforme você já aprendeu no capítulo que trata da utilização correta das vestimentas de proteção radiológica e a monitoração individual mensal.

VOCÊ SABIA?



Usar as vestimentas de proteção radiológica pode reduzir até 90% da dose em indivíduo ocupacionalmente exposto em procedimento intervencionista.

Entretanto, as vestimentas de proteção radiológica devem estar em boas condições de uso para efetivamente proteger os profissionais da saúde da carga física de radiação.

8.3. Tecnologias para auxiliar na gestão da proteção radiológica

Em relação às tecnologias, como os sistemas de informação e aquisição de imagem, Comunicação de Imagens Digitais em Medicina (DICOM), Sistema de Comunicação e Arquivamento de Imagens (PACS), Sistemas de Informação em Radiologia (RIS), Sistema de Informação Hospitalar (HIS), entre outros, para que possam auxiliar na otimização da rotina diária de trabalho, são necessárias ações de capacitação, treinamento e um período de adaptação dos profissionais que irão aplicar esses recursos tecnológicos

Para ajudar a melhorar o fluxo dos processos, podem ser usados: checklists, avisos e aumentar a segurança e diminuir os erros humanos no setor.

O checklist é uma ferramenta estruturada na forma de formulário simples, contendo uma lista abrangente de itens que precisam ser verificados. Ele divide os processos complexos em etapas mais simples, melhora o desempenho do trabalho e fornece um atendimento de maior qualidade e segurança aos processos. (KALAPURAKAL et al., 2013).



Os checklists ajudam a reduzir vários erros, como paciente errado, local errado e dose errada, reforçando a importância da segurança do paciente em todos os níveis e promovendo trabalho em equipe cumprindo a obrigação de oferecer tratamentos seguros e precisos aos pacientes.

Outra forma de melhorar a gestão da proteção radiológica de um serviço é o uso da ferramenta de benchmarking, por meio da qual é possível conhecer a forma como outros serviços resolvem os problemas e criam boas soluções, comparar e analisar o que pode ser útil para o serviço em questão.

Sistemas que para gerenciar as atividades administrativas e assistenciais também são úteis, como é o caso o sistema Tasycom, que consiste em um software que auxilia a desempenhar as atividades estratégicas organizacionais por intermédio da informatização das informações administrativas em um banco de dados.

A gestão em saúde envolve diferentes fatores (Figura 03), que devem estar

alinhados em sincronia por processos preestabelecidos para que as informações possam chegar da forma correta no tempo adequado e permitirem uma tomada de decisão eficiente.



Figura 03 – Ciclo da gestão em saúde.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Você aprendeu que, na radiologia, a gestão da proteção radiológica é muito valiosa e faz-se necessário um plano de acompanhamento para o cumprimento das normas. Um sistema de gestão da proteção radiológica garante uma eficiência no serviço, em que os profissionais da saúde devem seguir rigorosamente as normas de segurança para manterem seus níveis de dosimetria abaixo do limite estabelecido a um menor custo possível (Figura 04).

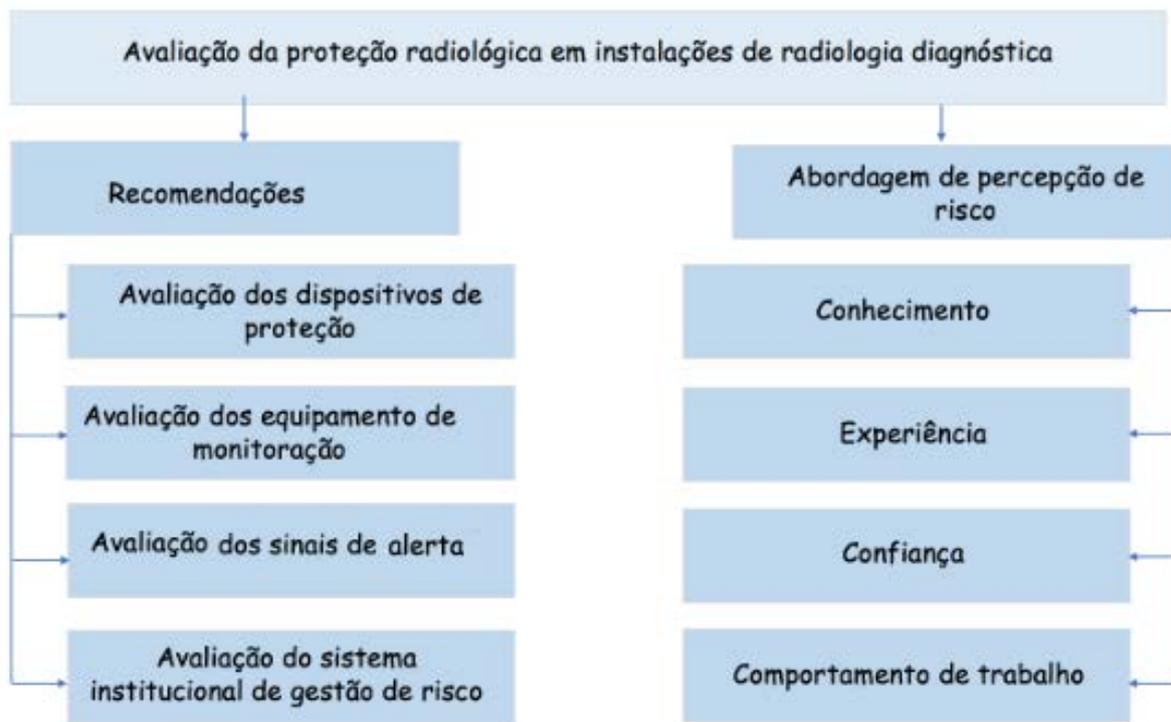


Figura 04 – Avaliação da PR.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

As razões pelas quais as organizações de saúde tendem a se desviar dos requisitos de segurança nacionais e internacionais são complicadas, complexas e estão interligadas aos vários atores envolvidos.

A falta de conhecimento e percepção de baixo risco entre os profissionais da saúde, falta de sistema institucional de gerenciamento de risco, o efeito da hierarquia e a falta de confiança no sistema regulador podem contribuir para tais desvios, o que pode gerar práticas de trabalho arriscadas, colocando em risco a proteção radiológica de profissionais e usuários.

A instrução da habilidade técnica, a adoção de programas de educação continuada, reuniões sobre segurança radiológica, correção de comportamentos de trabalho, comunicação efetiva entre os atores, treinamento de gerenciamento e outros programas relevantes, como workshops, conferências, sensibilização dos profissionais envolvidos podem auxiliar a melhorar esses fatores e criar uma cultura de gestão da proteção radiológica.

Sendo assim, ressaltamos que a gestão da proteção radiológica é um processo que deve iniciar na construção de um serviço de radiologia, envolvendo a equipe multiprofissional que atuará no mesmo, conforme a Figura 05. Seguindo o processo, todo profissional atuante em ambiente que possua radiação ionizante deve utilizar as vestimentas adequadas para proteção radiológica do início ao fim de qualquer procedimento, promovendo o cuidado de si, do usuário e dos acompanhantes.



Figura 05 – Dinâmica da gestão da proteção radiológica.
Fonte: Arquivo de imagens dos autores.

Isso significa que a consciência profissional é essencial para promover e alcançar o objetivo da gestão da proteção radiológica, que vai desde o planejando do exame, o uso de insumos, o uso da menor dose de radiação possível para um exame razoavelmente aceitável para diagnóstico, o conhecimento do equipamento utilizado para gerar as imagens e a troca de ideias constante com a equipe profissional, em reuniões promovidas pelo comitê de proteção radiológica com um profissional de cada setor, conforme previsto na legislação.

Referências



DE MEDEIROS, Caroline; DOROW, Patrícia Fernanda; BRANDÃO, Cristiane Pereira; RIBEIRO, Mariana Rosa. Análise do conhecimento sobre radiações ionizantes e qualidade do equipamento de proteção individual em um hospital público. *Revista de Ciências Médicas e Biológicas*, v. 14, n. 2, p. 136-142, 2016.

DOROW, Patrícia Fernanda et al. Compreensão do compartilhamento do conhecimento em atividades intensivas em conhecimento em organizações de diagnóstico por imagem. [Tese de doutorado]. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

DOROW, Patrícia Fernanda; FRAGA, Bruna Devens; VARVAKIS, Gregório. Ambientes Determinantes ao Compartilhamento do Conhecimento em Organizações de Radiologia e Diagnóstico por Imagem: um Estudo de Múltiplos Casos. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, v. 8, n. 2, p. 22-42, 2018.

FLÔR, R. C. Uma prática educativa de sensibilização quanto à exposição à radiação ionizante com profissionais de saúde. *Revista brasileira de Enfermagem*, v 59, n. 3, p. 274-278, jun., 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71672006000300005>. Acesso em: 21. jun. 2018.

HUHN, Andréa et al. Proteção radiológica: da legislação à prática de um serviço. *Enfermagem em Foco*, v. 7, n. 2, p. 27-31, 2016.

KALAPURAKAL, J. A. [et al.]. A Comprehensive Quality Assurance Program for Personnel and Procedures in Radiation Oncology: Value of Voluntary Error Reporting and Checklists. *International Journal of Radiation Oncology*Biography*Physics*. Vol. 86, Issue 2, 2013, P. 241-24; 8, ISSN 0360-3016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2013.02.003>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

LEVY, S.D. Informatização e unificação dos programas de proteção radiológica: monitoramento das radiações ionizantes e sua otimização, 2015. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Denise%20Sahyun%20Levy_D.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2018.