INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS RADIOLÓGICAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

DOSIMETRIA EXTERNA SIMULADA A PARTIR DA BOLSA COLETORA DE URINA DE PACIENTES SUBMETIDOS À CINTILOGRAFIA ÓSSEA

JÉSSICA PASQUETA

Florianópolis - SC, 2019

JÉSSICA PASQUETA

DOSIMETRIA EXTERNA SIMULADA A PARTIR DA BOLSA COLETORA DE URINA DE PACIENTES SUBMETIDOS À CINTILOGRAFIA ÓSSEA

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Proteção Radiológica do Câmpus de Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre D'Agostini Zottis
Co-orientadora: Prof. Dra. Tatiane Sabriela Cagol Camozzato

Florianópolis - SC, 2019

CDD 616.0757
P284d

Pasqueta, Jéssica
Dosimetria externa simulada a partir da bolsa coletora de urina de pacientes submetidos à cintilografia óssea [DIS] / Jéssica Pasqueta; orientação de Alexandre DAgostini Zottis; coorientação de Tatiane Sabriela Cagol Camozzato – Florianópolis, 2019.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Proteção Radiológica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Medicina nuclear. 2. Dose de radiação. 3. Contaminação radioativa. I. Zottis, Alexandre DAgostini. II. Camozzato, Tatiane Sabriela Cagol. III. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis

JÉSSICA PASQUETA

DOSIMETRIA EXTERNA SIMULADA A PARTIR DA BOLSA COLETORA DE URINA DE PACIENTES SUBMETIDOS À CINTILOGRAFIA ÓSSEA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Proteção Radiológica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis, 22 de novembro de 2019

Dr. Alexandre D'Agostini Zottis
Presidente

Dra. Tatiane Sabriela Cagol Camozzato
Co-orientadora

Dra. Rita de Cássia Flôr
Membro titular

Dr. Marcos Araquem Scopel
Membro titular

Me. Eduardo Tinois da Silva
Membro titular

Dr. Flávio Augusto Penna Soares
Membro suplente

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Valéria, por todo amor e cuidado e, principalmente, por ser meu porto seguro e sempre me lembrar que eu posso voltar quando quiser!

À minha irmã, Nathalia e meu cunhado, Bruno, que sempre me apoiaram e me deram forças!

Ao meu tio Zé e minha tia Terê, por terem me proporcionado chegar até aqui, pelas correções e especialmente por serem minha inspiração de vida acadêmica!

À minha sobrinha Sofia, que sempre foi minha maior saudade e por ser minha maior fonte de renovação de energias!

Ao Caio, por seu meu maior exemplo na física, pelo companheirismo e parceria de vida pessoal e profissional!

AGRADECIMENTOS

Ao professor Alexandre e à professora Tatiane, pela orientação, paciência e por terem acreditado no nosso trabalho;

Aos professores do Mestrado Profissional em Proteção Radiológica do IFSC pelo conhecimento transmitido;

Ao Eduardo Tinois, que sempre será aquele que acreditou em mim e me deu a primeira oportunidade na física e na MN;

Ao Complexo Hospitalar Unimed – Joinville, por permitir o desenvolvimento de parte do trabalho no setor de MN do Centro Oncológico;

Ao Bruno e ao Gabriel, pelo auxílio nas áreas de designer e de programação do trabalho;

Aos amigos da turma 2018 de Mestrado em Proteção Radiológica, pelo companheirismo e experiências compartilhadas, e à Ana, por ter me socorrido sempre no quesito “enfermagem”! Com certeza essa etapa da minha vida não seria a mesma sem ter conhecido vocês!

RESUMO

Alguns compostos, denominados de radiofármacos, são administrados ao paciente por via oral, injetável ou inalatória em procedimentos de MN. Pacientes hospitalizados com diagnóstico de câncer de próstata, em alguns casos, fazem uso de cateter vesical e realizam cintilografia óssea para detecção de metástases. Como a maior parte do radiofármaco administrado é eliminado pela urina, tem-se a preocupação com profissionais da enfermagem considerados indivíduos não ocupacionalmente expostos (não IOEs) que prestam assistência a esses pacientes em relação a proteção radiológica e risco de contaminação por radiação ionizante. Portanto, o trabalho teve como objetivo estimar a atividade radioativa acumulada na bolsa coletora de urina de acordo com equação reportada no MIRD 14, que apresentou a fração máxima de atividade eliminada pela urina em 230 min após a administração do radiofármaco, onde 29% foi excretado. Em seguida, estimou-se a taxa de dose da urina da bolsa coletora. Comparando-se o valor da taxa de dose média estimado teoricamente nas distâncias de 10, 50 e 100 cm em relação a bolsa coletora, com respectivamente (429,2 ± 372,17; 17,167 ± 14,886 e 4,29 ± 3,724 e máximos de 880,8; 35,23 e 8,81 μSv/h, respectivamente) com os valores medidos experimentalmente (médias e desvio padrão, respectivamente, 375,60 ± 141,076; 15,09 ± 13,08 e 3,64 ± 3,22 e máximos de 891,3; 30,59 e 8,00 μSv/h, respectivamente) observou-se que para medidas de dose efetiva é possível utilizar a equação de gamão como método de estimativa. Em um segundo momento, para auxiliar os profissionais de enfermagem não IOEs quanto suas doses efetivas, criou-se um aplicativo que possibilita a estimativa de dose efetiva anual do profissional de forma individual associado ao tempo de assistência ao paciente. Além disso, como no protocolo de cintilografia óssea recomenda-se esvaziar a bexiga/bolsa coletora imediatamente antes da aquisição da imagem, o maior risco de contaminação e a maior taxa de exposição do profissional em relação a bolsa coletora de urina acontece neste momento. Após o esvaziamento da bolsa, a atividade acumulada na urina e, consequentemente a taxa de exposição são mínimas. Portanto, a principal preocupação em relação a proteção radiológica desses profissionais acontece durante o acompanhamento do paciente ao setor de MN, que corresponde ao período de duas a quatro horas. Frente a esses dados, conclui-se que cuidados devem ser tomados pelo profissional da enfermagem a fim de garantir que não haja contaminação no momento do esvaziamento da bolsa. E, caso houver, que o profissional saiba realizar procedimentos de descontaminação, devendo respeitar as medidas de proteção radiológica para evitar exposições desnecessárias, que estão estabelecidas para acompanhantes.

Palavras-Chave: Dose de Radiação. Medicina Nuclear. Profissionais de Enfermagem. Contaminação Radioativa. Cateterismo Vesical.

ABSTRACT

Some compounds, called radiopharmaceuticals, are administered to the patient orally, injectable or by inhalation in nuclear medicine procedures. Hospitalized patients diagnosed with prostate cancer undergo bone scintigraphy to detect metastases and, in some cases, use bladder catheterization. As most of the administered radiopharmaceutical is excreted in the urine, there is concern about non-IOE health care professionals who assist those patients regarding to the radiation protection and risk of contamination with ionizing radiation. Therefore, this study aimed to estimate the accumulated radioactive activity in the collection bag according to the equation reported in MIRD 14, which presented the maximum fraction of activity eliminated by urine in 230 min after radiopharmaceutical administration, where 29% was excreted. Then, the dose rate of the collecting bag was estimated. Since it was possible to comparing the dose rate value theoretically estimated at distances of 10, 50 and 100 cm from the collecting bag (averages 429,2 ± 372.17; 17.167 ± 14.886 and 4.29 ± 3.724 and maximums of 880.8; 35.23 and 8.81 μSv/h, respectively) with the experimentally measured values (averages 375.60 ± 141.076; 15.09 ± 13.08 and 3.64 ± 3.22 and maximums of 891.3; 30.59 and 8.00 μSv/h, respectively) it was observed that it is possible to use the backgammon equation as an estimation method for effective dose measurements. After that, to help non-IOEs professionals regarding their effective doses, an application was created that allows the estimation of the annual effective dose of the professional individually associated with the time of patient care. In addition, as the bone scintigraphy protocol recommends emptying the bladder/bag immediately before image acquisition, the higher risk of contamination and the highest exposure rate of the professional compared to the diuresis bag occurs at this time. After emptying the bag, the accumulated activity in the diuresis and hence the exposure rate is minimal. Therefore, the main concern regarding the radiological protection of these professionals happens during the follow-up of the patient to the Nuclear Medicine sector, which corresponds to a period of two to four hours. Thus, it is concluded that care should be taken by the nursing professional to ensure that there is no contamination at the time of emptying the bag. However, if it occurs the professional needs to know how to perform decontamination procedures and be aware that the radiation protection measures, established for accompanying persons to avoid unnecessary exposure, must be respected.

Keywords: Radiation dosage. Nuclear Medicine. Health Professional. Radioactive Contamination. Catheterization

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Protocolo de cintilografia óssea

Figura 02. Curvas de decaimento do ^{99m}Tc e do MDP-^{99m}Tc

Figura 03. Esquema de cateter de demora com bolsa coletora

Figura 04. Fluxograma de atividades diárias desenvolvidas em Radiofarmácia Hospitalar

Figura 05. Fluxograma do processo de trabalho diário em salas de exames de MN

Figura 06. Fluxograma do processo de trabalho para realização de cintilografias.

Figura 07. Fluxograma do processo de trabalho em setores de internação

Figura 08. Contaminação *vs* Exposição Radioativa

Figura 09. Modelo de medidor de atividade

Figura 10. Modelo de contador de radiação do tipo Geiger Müller

Figura 11. Esquema de administração de atividade de ^{99m}Tc na bolsa coletora

Figura 12. Esquema de realização das medidas de taxa de dose a partir da simulação da bolsa coletora

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas dos radionuclídeos emissores de fóton único usados em MN clínica

Tabela 2. Limites de doses anuais recomendados pela legislação vigente

Tabela 3. Parâmetros físicos e biológicos do radiofármaco MDP-^{99m}Tc

Tabela 4. Protocolo de medidas da bolsa coletora de simulação

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

^{99m}Tc - Radioisótopo tecnécio 99 metaestável

BG - Background - valor considerado de radiação de fundo

CLT - Consolidação das Leis do Trabalho

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

Ci - Curie - Unidade de medida de atividade

EANM - Associação Europeia de MN

IAEA - Agência Internacional de Energia Atômica

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

MDP-^{99m}Tc - Metilenodifosfonato de sódio ligado ao ^{99m}Tc

MIRD - Medical Internal Radiation Dose

MN - MN

SBMN - Sociedade Brasileira de MN

Sv - Sievert - Unidade de medida de dose efetiva

$T_{1/2bio}$ - Tempo de meia vida biológica

$T_{1/2efe}$ - Tempo de meia vida efetiva

$T_{1/2fis}$ - Tempo de meia vida física

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **12**

1.1. Pergunta de pesquisa 14

1.2. Objetivos 14

1.2.1. Objetivo geral 14

1.2.2. Objetivos específicos 14

2 REVISÃO DA LITERATURA **15**

2.1. Medicina Nuclear 15

2.2. Cintilografia óssea 18

2.2.1. Farmacocinética do MDP-99mTc 21

2.2.2. Decaimento radioativo 21

2.2.3. Processo de eliminação do MDP-99mTc 23

2.3. Cateteres de demora 24

2.4. Processos de trabalho 26

2.4.1. Processo de trabalho no setor de Medicina Nuclear 26

2.4.2. Processo de trabalho em setores de internação 29

2.5. Proteção radiológica na Medicina Nuclear 30

2.6. Exposição à radiação dos profissionais da saúde 35

2.7. Medidores de atividade e detectores de radiação 36

2.7.1. Medidores de atividade 36

2.7.2. Detectores de radiação 37

3 METODOLOGIA **39**

3.1 Estimativa de atividade acumulada na bolsa coletora do cateterismo vesical 39

3.2. Simulação para medida de taxa de dose 41

3.3. Cálculo de taxa de dose 43

3.4. Criação de aplicativo para estimativa de dose efetiva dos profissionais 44

4 RESULTADOS **45**

Artigo 1 - SIMULAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO DA BOLSA COLETORA DE URINA DE PACIENTES SUBMETIDOS A CINTILOGRAFIA ÓSSEA **46**

Artigo 2 - APLICATIVO PARA ESTIMATIVA DE DOSE EFETIVA DE PROFISSIONAIS DA ENFERMAGEM NÃO IOEs EM ASSISTÊNCIA DIRETA A PACIENTES COM CATETERISMO VESICAL SUBMETIDOS A CINTILOGRAFIA ÓSSEA **70**

7 REFERÊNCIAS **81**

ANEXO 1 - Certificado de calibração do detector de radiação do tipo Geiger Müller **87**

ANEXO 2 - Termo de autorização para realização de pesquisa **90**

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados referentes à demanda de radiofármacos, fornecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), estima-se que no Brasil dois milhões de pessoas se submetam anualmente a procedimentos de Medicina Nuclear (MN). Além disso, há uma demanda crescente desse tipo de serviço, com taxa de crescimento em torno de 10% ao ano (PPA 2016-2019).

Apesar das vantagens do diagnóstico da MN, existem aspectos preocupantes relacionados à essa técnica de imagem, como por exemplo a monitoração e as precauções necessárias a serem tomadas durante e após os procedimentos, devido à atividade do radiofármaco administrada ao paciente (UNSCEAR, 2012).

Manter distância de crianças menores de 2 anos e de grávidas e manter hidratação oral abundante nas primeiras 24 horas após o procedimento de MN são algumas das orientações de proteção radiológica oferecidas aos pacientes (SBMN.org.br).

Os três principais fatores de proteção radiológica recomendados pela CNEN são tempo, distância e blindagem, ou seja, quanto menor o tempo de exposição, maior a distância e a blindagem entre o indivíduo e a fonte radioativa, menor é a dose efetiva (CNEN, 3.01).

A equipe de enfermagem responsável pela assistência de pacientes que utilizam cateter vesical submetidos à esse tipo de procedimento diagnóstico, em especial àqueles que se encontram hospitalizados, não possui uma conduta padrão de como agir em relação à proteção radiológica durante e após esses procedimentos. Pacientes com diagnóstico de câncer de próstata são maioria nessa situação e normalmente realizam cintilografia óssea para detecção de metástases (CLARK; TORTI, 2003).

Portanto, este cenário torna-se relevante em relação à proteção radiológica voltada à exposição de profissionais da enfermagem, uma vez que a maior concentração do radiofármaco administrado nos exames de MN é excretada pela

urina. Nesse sentido, deve haver preocupação a respeito das precauções necessárias durante e pós-procedimento em casos de pacientes que utilizam cateter vesical.

Diferentemente dos profissionais atuantes em serviços de MN que utilizam dosímetro, os profissionais da enfermagem de setores de internação não são considerados indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs), uma vez que não estão sujeitos a exposição ocupacional rotineiramente. No entanto, a bolsa coletora de urina de pacientes que se submetem a procedimentos de MN torna-se fonte radioativa e expõe estes profissionais que atuam em contato direto, além de apresentar risco de contaminação por radiação ionizante.

Portanto, estimar a eliminação radioativa, determinar a taxa de dose e possibilitar a estimativa da dose efetiva em profissionais da enfermagem, como consequência da exposição da bolsa coletora de urina em procedimentos envolvendo a MN em setores não controlados, seria de grande relevância para evitar exposições desnecessárias e contaminações por radiação ionizante.

1.1. Hipótese

Determinar a dose efetiva de radiação recebida por profissionais da enfermagem, em assistência a pacientes com cateter vesical que são submetidos a cintilografia óssea, pode auxiliar na otimização da proteção radiológica.

1.2. Objetivos

Com base na hipótese, estabeleceram-se os objetivos geral e específicos.

1.2.1. Objetivo geral

Avaliação de doses efetivas de profissionais de enfermagem que prestam assistência a pacientes com cateter vesical submetidos a cintilografia óssea.

1.2.2. Objetivos específicos

Estimar a taxa de eliminação e atividade acumulada do radiofármaco MDP-^{99m}Tc na bolsa coletora de urina;

Simular a taxa de dose proveniente da bolsa coletora de urina;

Calcular a taxa de dose proveniente da bolsa coletora de urina utilizando a equação do gamão;

Desenvolver um aplicativo para estimar a dose efetiva mensal e anual de cada profissional.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para subsidiar a pesquisa foi realizada uma revisão de literatura em torno dos principais aspectos que envolvem a temática pesquisada. Dessa forma, para melhor entendimento da problemática apresentada pela pesquisa faz-se necessário discorrer detalhadamente sobre os seguintes tópicos: a) Medicina nuclear, b) cintilografia óssea, c) cateteres de demora, d) processos de trabalho, e) proteção radiológica em MN, f) exposição à radiação em profissionais da enfermagem e g) medidores de atividade e detectores de radiação.

2.1. Medicina Nuclear

A medicina nuclear (MN) é uma área da medicina para fins diagnósticos e terapêuticos, em que se utiliza uma substância química, denominada fármaco, que é marcado com determinado isótopo radioativo, normalmente de meia-vida física curta. Esses compostos, conhecidos como radiofármacos, são administrados ao paciente por via oral, injetável ou inalatória.

Para fins terapêuticos, a radiação emitida deve ser absorvida pelos órgãos-alvo a fim de garantir o efeito desejado, ou seja, a dose absorvida deve ser suficiente para eliminar células não sadias. Para a aquisição de imagens diagnósticas, o radiofármaco deve emitir radiação com energia suficiente para ser detectada externamente ao paciente e assim se determinar sua distribuição *in vivo*. Nesse sentido, o entendimento da natureza da radioatividade, a quantidade de atividade administrada, a emissão da radiação e como ela interage com o organismo são essenciais para que um procedimento de MN seja seguro e eficaz (Ziessman et al, 2014).

Um átomo estável possui determinado número de prótons e nêutrons no seu núcleo. No entanto, alguns elementos possuem isótopos, chamados de radionuclídeos, que apresentam proporção inadequada de prótons e/ou de nêutrons para o equilíbrio de forças nucleares e geram instabilidade. Com isso, sofrem

processos de desintegração nuclear para se estabilizar, emitindo algum tipo de radiação que pode ser corpuscular, na emissão de partículas alfa ou beta, e eletromagnética, na emissão de radiação gama.

Os radionuclídeos mais utilizados para aquisição de imagens na MN convencional e suas respectivas características físicas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas dos radionuclídeos emissores de fóton único usados em MN clínica.

Radionuclídeo	Principal modo de decaimento	Meia vida física	Energia média do fóton (keV) e abundância (%)	Método de produção
Tc-99m	Transição isomérica	6 horas	140(89)	Gerador (Mo-99)
I-131	Beta menos	8 dias	364(81)	Reator
I-123	Captura de elétrons	13,2 horas	159(83)	Cíclotron
Ga-67	Captura de elétrons	78,3 horas	93(37), 185(20), 300(17)	Cíclotron
Tl-201	Captura de elétrons	73,1 horas	69-83(Hg raios X), 135(2,5), 167(10)	Cíclotron

Adaptada de Ziessman, et al. 2014

Os radionuclídeos, quando ligados à um fármaco sem ação farmacológica, se comportam como marcadores, sendo utilizados na MN para diagnóstico de várias doenças. A escolha do radiofármaco depende principalmente das características físicas do radionuclídeo, como o tipo de emissão nuclear, tempo de desintegração e

energia emitida, e das características biocinéticas do fármaco, como sua fixação no órgão alvo, metabolização e eliminação do organismo (ZIESSMAN et al., 2015).

Os radiofármacos possuem afinidades funcionais ou metabólicas específicas a determinados órgãos, ou seja, a utilização desses traçadores radioativos específicos pressupõe que seu comportamento fisiológico e bioquímico (para um determinado processo em estudo) é idêntico ao da substância estável. Quando administrados em baixas concentrações não alteram os processos fisiológicos e, consequentemente, permitem o estudo funcional sem interferência na função (IAEA, 2006).

Portanto, a MN produz imagens do funcionamento do órgão e não apenas da sua anatomia. Também fornece imagens de projeção, uma vez que os radioisótopos emitem a radiação do interior do paciente e a imagem é formada a partir de um sistema de detecção (TERINI; MACHADO, 2017).

Na área de diagnóstico por imagem em MN, os procedimentos comumente realizados são as cintilografias de miocárdio (MIBI), dos rins (DMSA e DTPA), da tireóide (pertecnetato), da paratireóide (sestamibi) e óssea (MDP), esvaziamento gástrico (enxofre coloidal) e refluxo gastro-esofágico (enxofre coloidal), todos realizados com o radionuclídeo tecnécio 99 metaestável (SBMN, 2019).

O tecnécio 99-metaestável (^{99m}Tc) é o radionuclídeo mais utilizado em exames de diagnóstico de MN convencional. Este radioisótopo é obtido a partir de geradores de Molibdênio/Tecnécio (^{99}Mo/^{99m}Tc), um radionuclídeo que decai com uma meia-vida física ($T_{1/2}$) de aproximadamente 66 horas para o estado metaestável do tecnécio 99 (^{99m}Tc). O ^{99}Mo e o ^{99m}Tc são isolados em gerador usando uma coluna cromatográfica. O ^{99m}Tc tem um $T_{1/2}$ de 6,02 horas e sua emissão gama principal tem uma energia de 140,5 keV (MARQUES; OKAMOTO; BUCHPIGUEL, 2001).

O radiofármaco deve satisfazer algumas qualidades físicas e biológicas para ser considerado ideal e como o ^{99m}Tc é o radionuclídeo que apresenta melhores qualidades para utilização como radiotraçador, é o mais utilizado em MN. Entre suas características destacam-se: i) ser emissor puro de radiação gama; ii) sua energia média de radiação gama de 140,5 KeV é suficiente para ser detectada no exterior do corpo humano; iii) seu tempo de meia vida física de 6,02h é suficientemente alto para a realização do exame e curto para minimizar a irradiação no paciente; iv) é

obtido com pureza radionuclídica, radioquímica e química; v) é de baixo custo (Irion, 2017).

Uma das principais aplicações do ^{99m}Tc em MN é na aquisição de imagem cintilográfica óssea, quando ligado ao fármaco metilenodifosfonato de sódio (MDP).

2.2. Cintilografia óssea

A cintilografia óssea é uma imagem diagnóstica que avalia a distribuição da atividade de formação/remodelação óssea em todo o esqueleto. O tempo de exame é de aproximadamente três horas a contar da administração do radiofármaco até o momento da aquisição da imagem, para a qual se utiliza o radiofármaco metilenodifosfonato de sódio-^{99m}Tc (MDP-^{99m}Tc). Também existe a cintilografia óssea trifásica, indicada para osteomielite, pioartrite, artrites, diagnóstico diferencial de dor óssea localizada, tumores ósseos primários, fratura de estresse, osteonecrose, fratura oculta, distrofia simpática reflexa, infarto ósseo, viabilidade do enxerto ósseo e avaliação de próteses ósseas (SBMN, 2016).

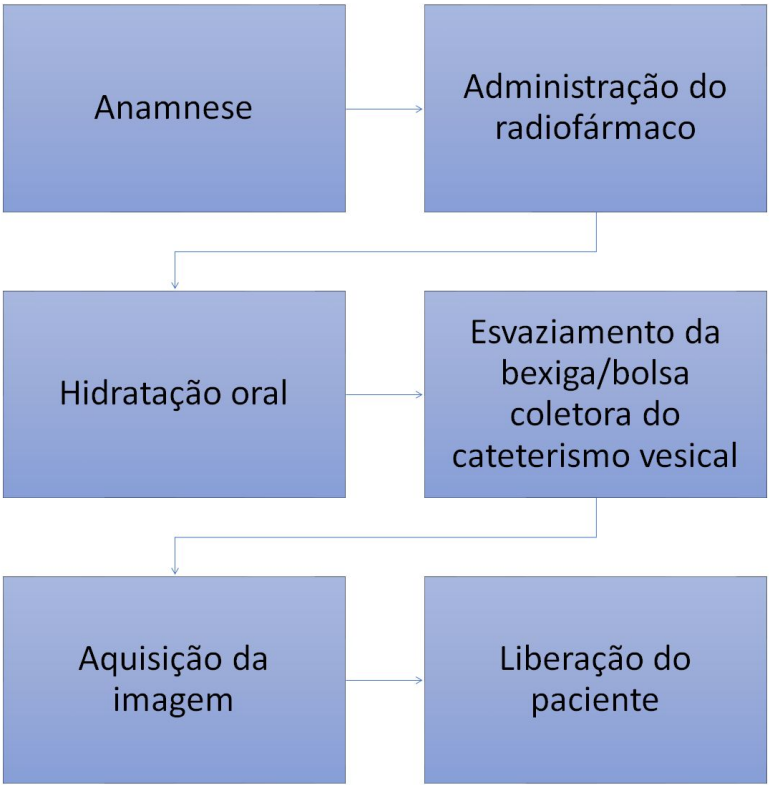
Como o ^{99m}Tc não se incorpora ao esqueleto, em 1972, Subramanian e McAfee descobriram que o ^{99m}Tc forma complexos com polifosfatos orgânicos e desde então é utilizado para cintilografias ósseas. Ainda hoje, o radionuclídeo é ligado a vários fosfonatos marcáveis, mas o radiofármaco produzido com o fármaco MDP é o mais utilizado.

O *guideline* para cintilografia óssea (apresentado pela Sociedade Brasileira de MN (SBMN) recomenda que pacientes adultos recebam a atividade do radiofármaco de 20 a 30 mCi (740 a 1110 MBq), podendo variar de acordo com o seu peso. Orienta-se que o paciente se mantenha hidratado, ingerindo de três a quatro copos de água entre a administração do radiofármaco e a aquisição da imagem, esvaziando a bexiga imediatamente antes da aquisição, que é realizada entre duas e quatro horas após a administração (SBMN, 2019).

Por outro lado, o guideline da Associação Europeia de MN (EANM) orienta que a atividade administrada no paciente seja de 8 a 20 mCi (296 a 740 MBq) e a

aquisição da imagem seja realizada de três a cinco horas após a administração do radiofármaco (WYNGAERT, et al, 2016).

Figura 1. Protocolo de cintilografia óssea



Fonte: elaborado pela autora

A cintilografia óssea também é frequentemente realizada em pacientes oncológicos, especialmente nos casos com câncer de próstata, permitindo detectar múltiplas metástases em todo o esqueleto em um só estudo, além de identificar lesões e avaliar áreas com potencial de risco de fratura. Apesar de existirem novas técnicas anatômicas como a imagem por ressonância magnética e a tomografia computadorizada, que aumentaram as formas de avaliação, a cintilografia óssea se mantém em vantagem por ser uma técnica sensível e permitir a avaliação funcional (ABREU et al., 2005).

Um sinal de que o câncer de próstata esteja em estadiamento clinicamente avançado é o envolvimento osteoesclerótico do esqueleto axial. Nessa situação, a maior parte da morbimortalidade por câncer de próstata é decorrente de metástases

ósseas, que direta ou indiretamente, provocam dores, fraturas e imobilidade (CLARK e TORTI, 2003).

Portanto, a importância do procedimento de cintilografia óssea é permitir o complemento da avaliação de metástases ósseas em casos de câncer de próstata, pois possibilita o mapeamento de todo o esqueleto para que seja feita a identificação de lesão única ou múltipla (MEOHAS et al., 2005).

2.2.1. Farmacocinética do MDP-^{99m}Tc

A farmacocinética do composto MDP-^{99m}Tc, isto é, a trajetória do radiofármaco desde sua aplicação endovenosa, incorporação no esqueleto e eliminação pelos rins ocorre em três fases: vascular, intersticial de equilíbrio e óssea.

A fase vascular se inicia com sua aplicação e dura cerca de dois a três minutos para atingir a concentração máxima do radiofármaco no sistema arterial. Em seguida, se inicia a fase intersticial quando o radiofármaco atinge o sistema capilar e avança para os espaços extravascular e extracelular - no caso do osso, no líquido contido no espaço periosteocítico dos calcófaros. A fase óssea define o momento ideal para a aquisição da imagem, pois apenas 3% da radioatividade do radiofármaco permanece na circulação devido a captação óssea e sua excreção renal. Considerando o contraste do órgão, o contraste da lesão e o decaimento da emissão de fótons, a aquisição da imagem deve acontecer em aproximadamente três horas após a administração do radiofármaco, uma vez que as imagens dos ossos já se destacam em relação a radiação dos tecidos moles e as desintegrações que ocorrem no esqueleto são suficientemente elevadas para gerar informações adequadas a qualidade cintilográfica (IRION, 2016). Portanto, o período de espera de duas a três horas entre a administração do radiofármaco e a aquisição de imagem é necessário para que haja redução da radiação de fundo (radiofármaco em tecidos moles) em relação a absorção do MDP-^{99m}Tc nos ossos (SAHA, 2010).

2.2.2. Decaimento radioativo

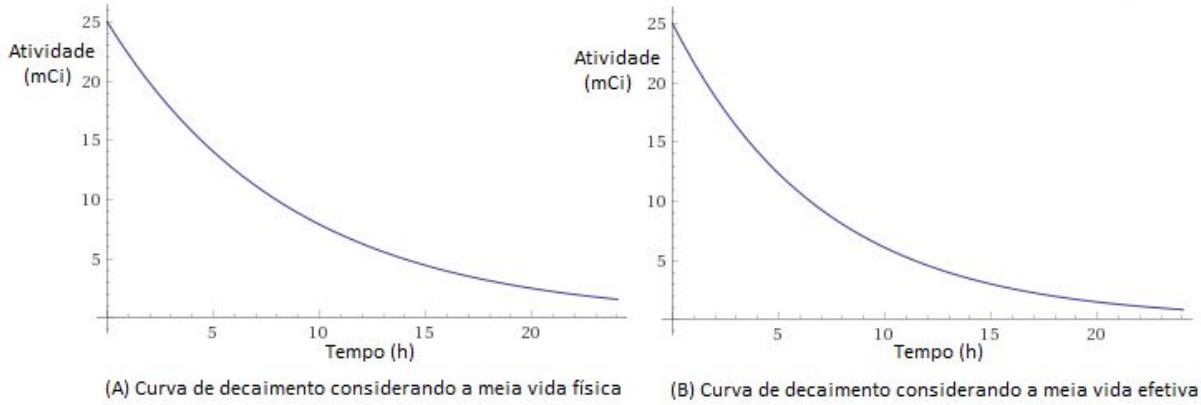
Os radionuclídeos são núcleos de átomos instáveis que emitem radiação espontaneamente para tentar se estabilizar. Esse fenômeno é denominado de radioatividade e sua desintegração é medida em unidades de atividade, ou seja, em Becquerel ou Curie.

Cada radionuclídeo possui um tempo de meia vida ($T_{1/2fís}$), ou seja, o tempo necessário para que a atividade inicial da amostra decaia pela metade. Esse tempo é característico do material e independente de condições físico-químicas. Porém, quando um radionuclídeo é ligado a um fármaco e administrado ao paciente com finalidade diagnóstica e terapêutica, sofre processos de distribuição, metabolização e excreção. A excreção do radiofármaco acontece de forma exponencial, semelhante ao decaimento físico do radionuclídeo e o tempo necessário para que a concentração do radiofármaco se reduza pela metade no organismo é denominado de tempo de meia vida biológico ($T_{1/2bio}$) (OLIVEIRA et al., 2006).

De acordo com o IPEN, a meia vida biológica do MDP é de 26 horas. Considerando que a meia vida física do ^{99m}Tc é de seis horas, sua meia vida efetiva, isto é, o tempo necessário para o radionuclídeo reduzir sua atividade pela metade, como resultado combinado da eliminação biológica e do decaimento radioativo é de 4,87 horas, calculada por meio da equação 1 (AQUINO, 2012).

$$\frac{1}{T1/2efetiva} = \frac{1}{T1/2biológica} + \frac{1}{T1/2física} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Figura 2. Curvas de decaimento do ^{99m}Tc e do MDP- ^{99m}Tc



Fonte: elaborado pela autora

2.2.3. Processo de eliminação do MDP-^{99m}Tc

Quando administrado ao paciente, a excreção do tecnécio 99 metaestável (^{99m}Tc), se realiza principalmente por via renal. Em pacientes com função renal normal estima-se que, 50% a 60% de sua atividade injetada é excretada pela urina em 24 horas (EJEH et al., 2014).

A estimativa farmacocinética do MDP-^{99m}Tc é de que, quatro horas após a administração do radiofármaco ao paciente, 60% da quantidade injetada estará fixada ao esqueleto, 34% excretada via renal e 6% permanece na circulação sanguínea (EANM, 2016).

Em 1986, Thomsen et al. encontraram porcentagens relevantes de MDP-^{99m}Tc excretadas pela urina, relatando que a média de atividade do radiofármaco excretada na urina de homens saudáveis foi 66,8% ± 5,00 da atividade administrada no período de 24 horas.

A metodologia MIRD, "*Pamphlet n. 14: A dynamic urinary bladder model for radiation dose calculations*" apresenta a Equação 2 para estimar a atividade contida na bexiga dependente do tempo, considerando três tempos de hidratação diferentes e as constantes relacionadas.

$$A(t) = A_o e^{-\lambda t} \sum_{j=1}^{m} \alpha_j (1 - e^{-\lambda_j t}) - \sum_{i=1}^{n} [1 - V_R / V(T_i)] A(T_i) e^{-\lambda (t - T_i)} \quad \text{(Equação 2)}$$

onde *A(t)* é a atividade na bexiga no tempo *t*, A_0 é a atividade inicial administrada ao paciente, λ é a constante de decaimento física do radionuclídeo, α_j é o coeficiente biológico que representa a fração de atividade administrada que chega na bexiga, λ_j é a constante da taxa biológica que chega na bexiga, V_R é o volume residual após cada esvaziamento, *T* é o tempo para cada esvaziamento. Para o MDP-^{99m}Tc, esses parâmetros valem 1,92 x 10^{-3} min^{-1} para λ, -0,115; 0,566 e 0,549 para α_j em três tempos diferentes de hidratação e 5,42 x 10^{-2}; 1,06 x 10^{-2} e 4,07 x 10^{-4} min^{-1} para λ_j, respectivamente (MIRD 14).

2.3. Cateteres de Demora

Cerca de 10% dos pacientes hospitalizados apresentam alteração da função urinária e necessitam desse tipo de cateter urinário. (QUEIRÓS et al., 2011)

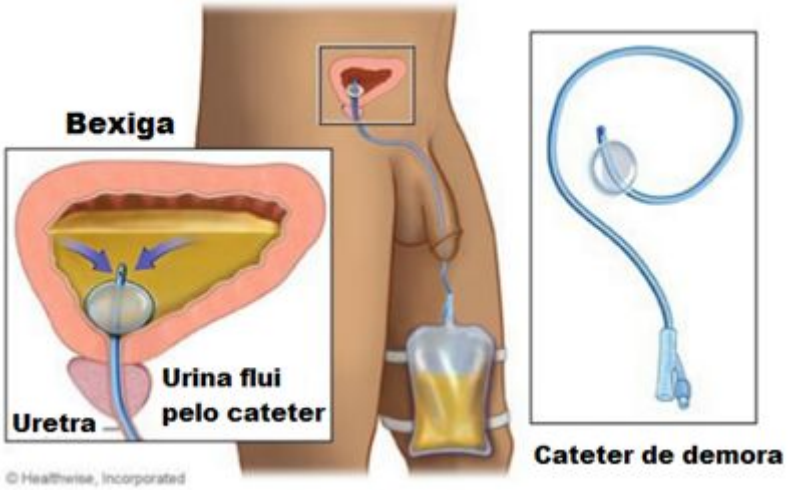
A cateterização vesical é um procedimento invasivo, em que se insere um cateter via uretral até a bexiga com a finalidade, dentre outras, de drenagem da urina em pacientes com problema de esvaziamento vesical. A drenagem pode ser realizada por meio de sistema aberto (intermitente ou alívio) ou fechado (demora) e por via suprapúbica (ERCOLE et al., 2013) de acordo com o esquema na Fig 3.

O cateterismo urinário ou intermitente e de demora, realizados em ambiente hospitalar, é uma técnica asséptica que deve ser executada por enfermeiro e/ou técnico de enfermagem habilitados e treinados, a fim de minimizar as complicações inerentes ao procedimento (GOULD et al., 2010).

A recomendação é que a perda diária de urina de pacientes com cateter vesical seja de 1500 a 2000 mL em 24h, para que a urina se mantenha diluída e, assim auxilie na diminuição de incrustações e formações de cálculos que possam aparecer no cateter, reduzindo assim o desenvolvimento de infecções urinárias associadas ao cateterismo (NAPOLEÃO et al., 2009).

Apesar de não existir um intervalo de tempo pré-determinado para o esvaziamento da bolsa coletora de urina, um dos principais cuidados é esvaziar a bolsa regularmente sempre que estiver cheia, não ultrapassando o tempo máximo de oito horas (PASCHOAL; BOMFIM, 2014).

Figura 3. Esquema de cateter de demora com bolsa coletora



Fonte: (portal.coren-sp.gov.br/noticias/14-medidas-para-um-pos-operatorio-seguro)

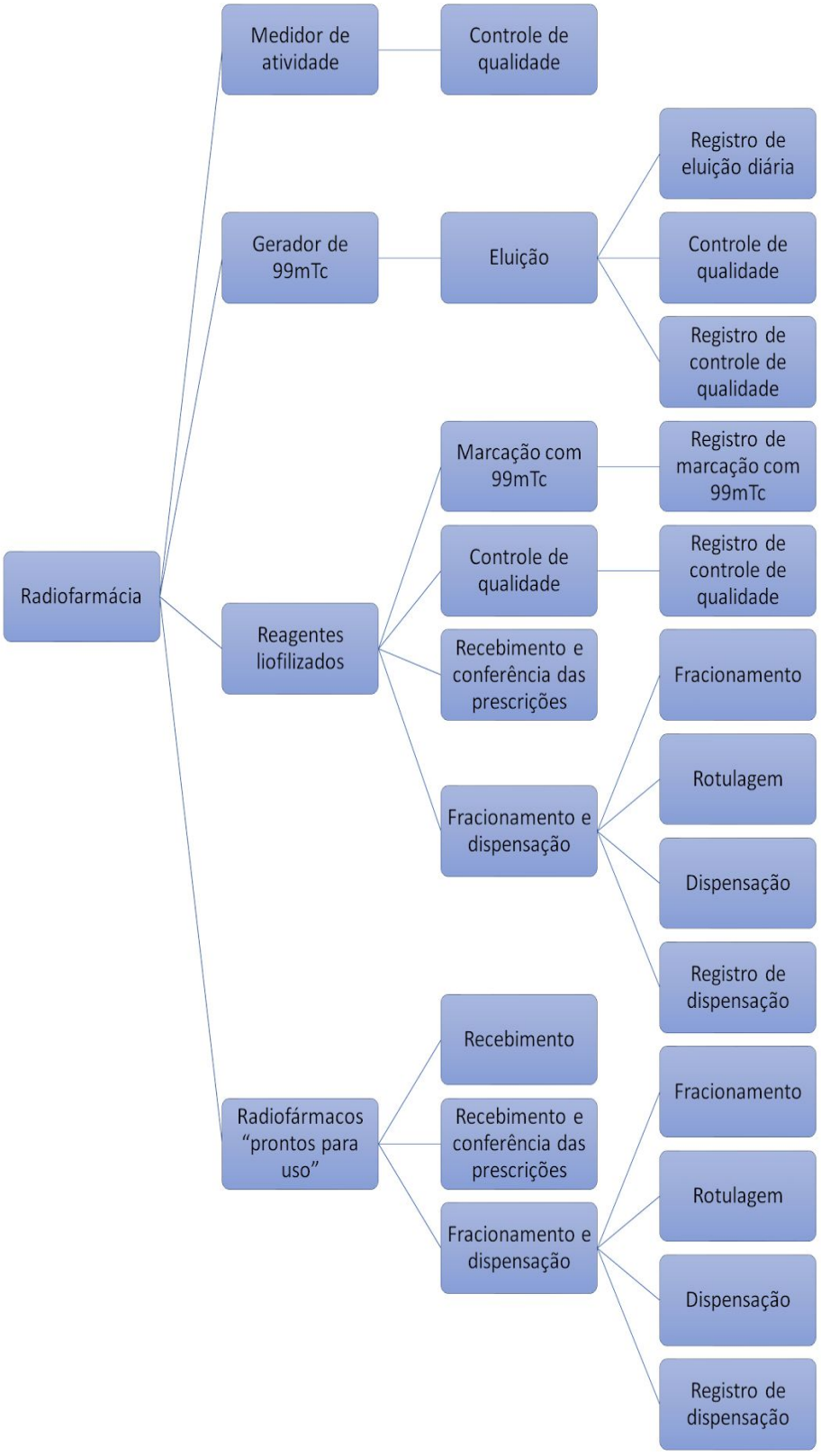
Em 2015, Mazzo et al avaliaram os cuidados e condutas de profissionais de enfermagem durante a realização do cateterismo vesical de demora, identificando o intervalo de desprezo do volume de urina da bolsa coletora. Dos nove entrevistados, cinco realizavam o procedimento ao término do plantão, dois quando o volume da bolsa estivesse acima de 80% da capacidade, um quando o volume de urina fosse superior a 1200 mL e um realizava de quatro em quatro horas, ou seja, todos os entrevistados realizavam o procedimento de esvaziamento num tempo inferior ao máximo de oito horas.

2.4. Processos de trabalho

2.4.1. Processo de trabalho no setor de Medicina Nuclear

O processo de trabalho no setor de MN inicia-se, diariamente na radiofarmácia, isto é, no local de manipulação e armazenamento de fontes em uso. As atividades desenvolvidas na radiofarmácia estão apresentadas na Figura 4.

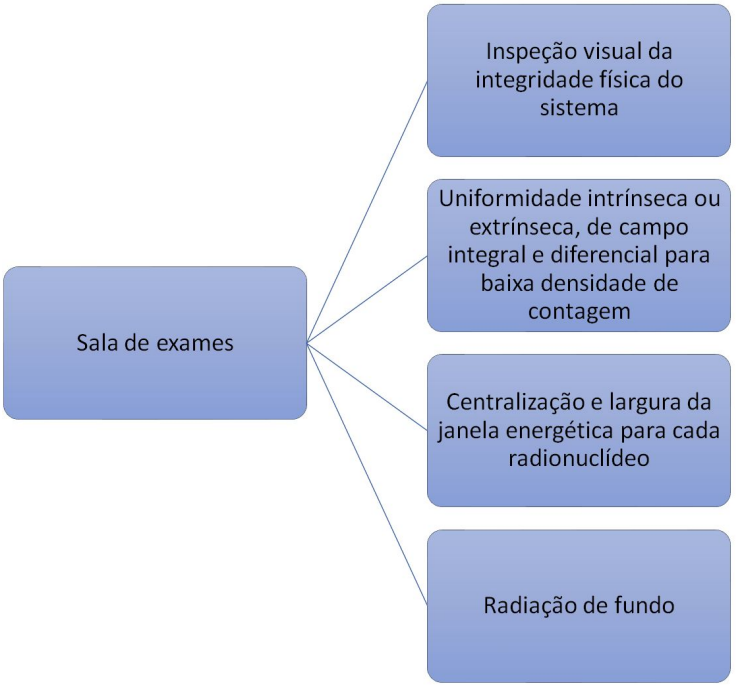
Figura 4. Fluxograma de atividades diárias desenvolvidas em Radiofarmácia Hospitalar



Fonte: adaptado de Pujatti, 2015

A rotina de trabalho segue com os controles de qualidade e inspeções realizadas nos equipamentos de aquisição de imagem, antes do início da realização dos exames conforme é ilustrada na Figura 5.

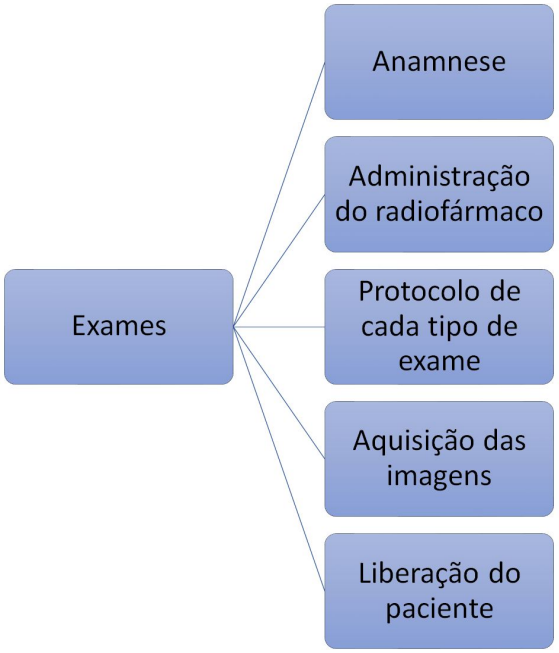
Figura 5. Fluxograma do processo de trabalho diário em salas de exames de MN.



Fonte: adaptado de NN3.05 CNEN.

A seguir, os exames programados para o dia são realizados de acordo com o agendamento e protocolo de cada procedimento.

Figura 6. Fluxograma do processo de trabalho para realização de cintilografias.



Fonte: elaborado pela autora

Por fim, o processo de trabalho no setor de MN se finaliza com as monitorações de superfície e de pessoal, realizadas a fim de garantir que não haja possíveis contaminações e, se houverem, que sejam tomadas providências para as devidas descontaminações (CNEN, 3.05).

Merece-se destacar que o procedimento de levantamento radiométrico deve ser realizado com periodicidade máxima de 15 dias, considerando todos os pontos de abrigo de fontes radioativas e o valor da radiação de fundo em área livre (qualquer área que não seja considerada controlada ou supervisionada).

Também são realizados controles de qualidade dos equipamentos de aquisição de imagem e de detecção de radiação com periodicidade explicitada na NN 3.05 da CNEN, para assegurar que a rotina de trabalho esteja sendo realizada de maneira segura e eficaz (DIEBOLD, 2017).

Para isso, o quadro de recursos humanos mínimos no setor de MN deve ser constituído pelo titular da instalação, médico nuclear, supervisor de proteção radiológica e número necessário e suficiente de profissionais de nível superior e médio devidamente qualificados para o exercício de suas funções (CNEN, 3.05).

Todos os profissionais do setor de MN são considerados indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs), isto é, estão sujeitos a exposição à radiação de forma ocupacional. Assim, todos esses profissionais usam um dosímetro pessoal e, portanto, tem suas doses ocupacionais monitoradas e controladas (CNEN, 3.01).

A Sociedade Brasileira de MN (SBMN) disponibiliza *guidelines* e orientações a respeito de procedimentos da MN convencional, PET e terapias. Para a cintilografia óssea, orienta-se o que o paciente adulto receba atividade do radiofármaco MDP-^{99m}Tc entre 20 e 30 mCi (740 a 1110 MBq) e realize hidratação oral de três a quatro copos de água entre a administração do radiofármaco e a aquisição da imagem, que acontece no período aproximado de três horas. O esvaziamento da bexiga deve ser realizado imediatamente antes da aquisição da imagem (SBMN.org.br).

2.4.2. Processo de trabalho em setores de internação

O processo de trabalho dos profissionais da área de saúde tem como finalidade a ação preventiva e terapêutica, como objeto o indivíduo e como instrumental as condutas que representam o nível técnico de conhecimento que é o saber em saúde, bem como a prestação da assistência à saúde (PIRES, 2008).

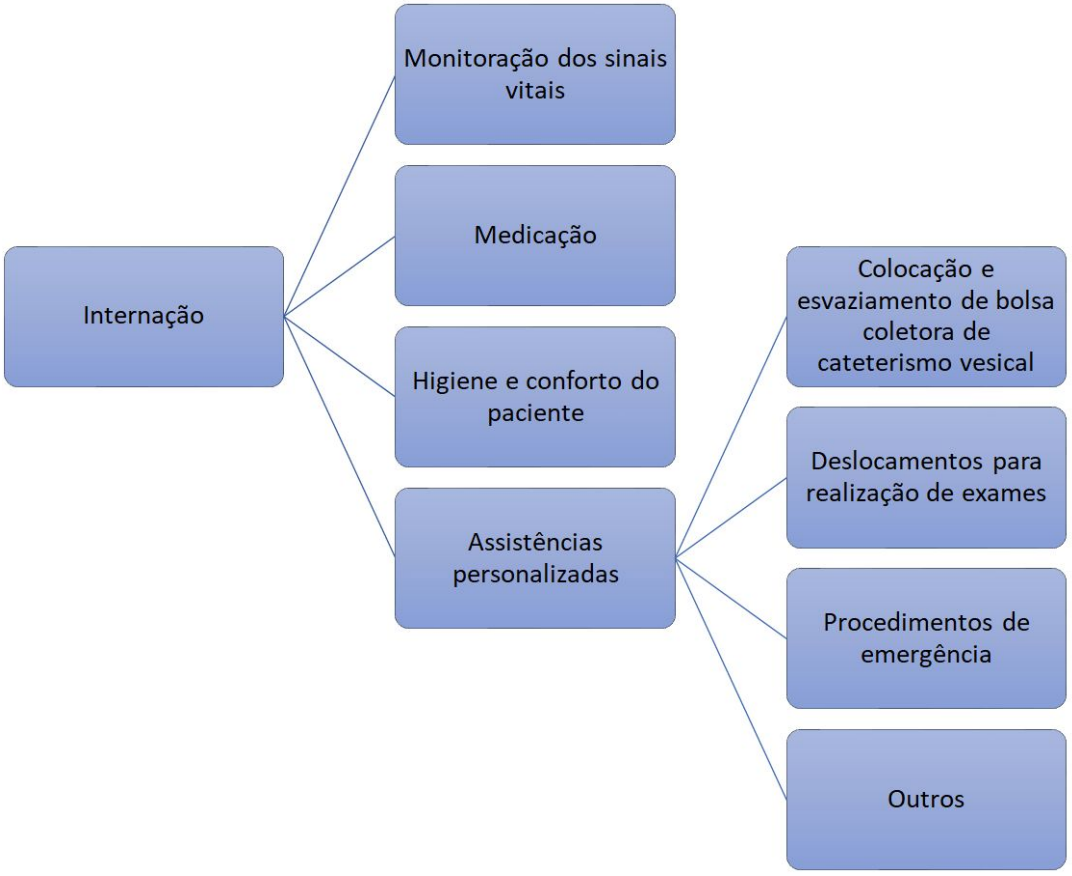
A carga horária de trabalho estabelecida pela CLT é de, no máximo, 8 horas diárias e 44 horas semanais. No entanto, a carga horária das equipes de enfermagem que atuam em área hospitalar variam de 30 a 40 horas semanais, realizando mais comumente 36 horas semanais. Essa carga horária é dividida em seis ou oito horas diárias ou em regime de trabalho de 12 horas com folga nas próximas 36 horas (FREITAS; FUGULIN; FERNANDES, 2006).

No Brasil, as mudanças na equipe de enfermagem nos setores de internação introduziu uma divisão na categoria desses profissionais em enfermeiros, técnicos e auxiliares de enfermagem, nas quais cada um desempenha uma determinada função em seu trabalho. Nesta divisão é atribuída ao enfermeiro a responsabilidade das atividades de ensino, supervisão e administração dos cuidados, atribuindo-se a assistência direta ao paciente a outros profissionais da enfermagem: técnicos e auxiliares (PEDUZZI; ANSELMI, 2002).

Dentre as intervenções assistenciais básicas, realizadas pela equipe de enfermagem, destacam-se a monitoração dos sinais vitais, medicação e procedimentos de higiene. Em casos de pacientes com cateterismo vesical, as intervenções acontecem também nos momentos de colocação e retirada do cateter e esvaziamentos da bolsa coletora (BRITO; GUIRARDELLO, 2011). Também é função da equipe de enfermagem deslocar e acompanhar pacientes até outros setores para realização de exames.

O processo de trabalho da equipe de enfermagem em setores de internação está representado na Figura 7.

Figura 7. Fluxograma do processo de trabalho em setores de internação



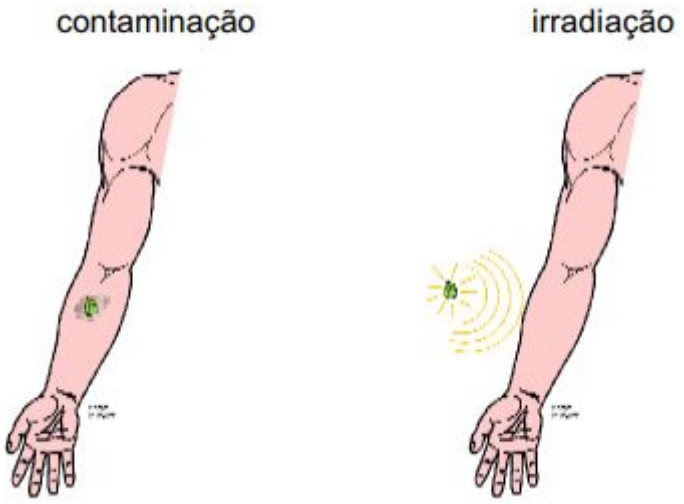
Fonte: adaptado de BRITO, GUIRARDELLO, 2017

2.5. Proteção Radiológica na MN

Segundo a Norma 3.01 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a proteção radiológica é definida como "*conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante*" (CNEN, 3.01).

Esses efeitos podem ser produzidos tanto pela exposição à radiação, ou seja, quando o indivíduo apenas é exposto à radiação a uma certa distância da fonte, como pela contaminação radioativa, quando o indivíduo entra em contato com material radioativo, seja internamente, por inalação e ingestão ou externamente, pelo contato com a pele, passando a carregar esse material consigo, irradiando a sua volta (CARDOSO, 2010).

Figura 8. Contaminação *vs* Exposição Radioativa



Fonte: Cardoso, 2010

Os efeitos biológicos da radiação ionizante podem ser classificados em estocásticos e determinísticos.

Os efeitos determinísticos causam a morte celular e possuem um limiar de radiação, isto é, uma quantidade mínima de dose que deve ser recebida para que ele ocorra. Normalmente são efeitos que surgem quando o indivíduo recebe doses elevadas de radiação. A catarata e a esterilidade são exemplos dessa classificação (TAUHATA, 2014).

Os efeitos estocásticos não devem ser subestimados e demandam cuidado e proteção, pois causam alterações na molécula de DNA que, ao continuar a se reproduzir de forma mutada, pode determinar o desenvolvimento de um tumor, sendo o câncer o principal exemplo. Apesar de não possuírem um limiar de dose, a probabilidade de surgimento do dano aumenta diretamente com o aumento da dose recebida (TAUHATA, 2014).

Sabe-se que a MN utiliza de fontes radioativas não seladas para seus procedimentos, o que causa preocupação com a proteção radiológica tanto pela exposição contínua de radiação ionizante por meio de radionuclídeos e de pacientes injetados, como pelo risco de contaminação por esses materiais.

Qualquer que seja a aplicação das radiações ionizantes, e apesar dos importantes benefícios da sua utilização, os riscos inerentes ao seu uso devem ser contabilizados, fundamentando-se nos princípios de proteção radiológica, em especial em procedimentos de MN (CNEN, 3.05).

Os princípios de proteção radiológica estabelecidos pela NN. 3.01 da CNEN são: justificação, otimização e limitação de dose.

O princípio de justificação estabelece que nenhuma prática utilizando uma fonte de radiação deve ser realizada sem que os benefícios produzidos para o indivíduo sejam maiores que os detrimentos a ela relacionados, levando em consideração também os fatores sociais e econômicos. Além disso, as exposições médicas de pacientes devem ser justificadas, considerando também os benefícios diagnósticos e terapêuticos em relação aos detrimentos e a utilização de técnicas alternativas disponíveis que não envolvam exposição.

O princípio de otimização segue a filosofia ALARA, que determina que as doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições se mantenham tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, considerando os fatores sociais e econômicos. Também estabelece que em casos de exposições médicas de pacientes, a otimização da proteção radiológica se dá com a radiação de menor dose no paciente necessária e suficiente para atingir os propósitos a que se destina.

A limitação de dose aplica-se a indivíduos que não terão benefícios líquidos com a exposição e recomenda que as exposições ocupacionais e do público sejam

restritas para que a dose efetiva e as doses equivalentes nos órgãos ou tecidos não excedam os limites determinados considerados seguros (Tabela 2).

Tabela 2. Limites de doses anuais recomendados pela legislação vigente

Limites de Dose Anuais (a)			
Grandeza	Órgão	Indivíduo Ocupacionalmente Exposto	Indivíduo do Público
Dose Efetiva	Corpo inteiro	20 mSv (b)	1 mSv (c)

(a) Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, ou seja, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

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

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

Adaptado de CNEN NN 3.01 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica

Todo serviço de MN deve possuir um Plano de Proteção Radiológica, ou seja, um documento com recomendações e ações preventivas em relação ao serviço, a fim de garantir que medidas de proteção sejam cumpridas de acordo com a legislação em vigor, o que não é necessário em setores de internação hospitalar em geral, com exceção dos quartos de internação para iodoterapia.

Além disso, a instalação física dos setores de MN deve possuir um projeto adequado especificado no Plano de Proteção Radiológica, que estabelece dependências mínimas para o serviço: i) sala de espera exclusiva de pacientes injetados; ii) sanitário exclusivo para pacientes injetados; iii) local para armazenamento de rejeitos radioativos; iv) local de manipulação e armazenamento

de fontes em uso; v) sala de administração de radiofármacos; vi) sala de exame; e vii) quarto para internação de pacientes com dose terapêutica de I-131 superior a 50 mCi, com sanitário privativo (CNEN, 3.05).

Para gerenciar a proteção radiológica, essas dependências devem ser classificadas como áreas controladas, supervisionadas ou livres, de acordo com a necessidade de cuidados mediante presença de material radioativo ou radiação. A norma NN 3.01 da CNEN apresenta as características de classificação dessas áreas como:

> *"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.*
>
> *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.*
>
> *Área livre - qualquer área que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada."*

A sala de espera e banheiro exclusivos para pacientes injetados tem por finalidade evitar a exposição e contaminação de acompanhantes. Isso se justifica pelo fato de que o paciente de MN, após a administração da dose de radiofármaco, passa a ser uma fonte radioativa, expondo as pessoas ao redor. Além disso, uma grande parte da atividade administrada é eliminada pela urina nas primeiras quatro

horas. Assim, dependências exclusivas para esses pacientes proporcionam a minimização da exposição e contaminação desnecessárias de acompanhantes.

Nesse sentido, a urina retirada da bolsa coletora de pacientes submetidos a procedimentos de MN, deve ser considerada rejeito radioativo, devendo-se adotar medidas de proteção radiológica a fim de garantir o descarte correto da urina e minimizar os riscos de contaminação radioativa.

2.6. Exposição à radiação dos profissionais da saúde

Sabe-se que, para o profissional ser considerado um indivíduo ocupacionalmente exposto, deve ser submetido a exposição ocupacional, ou seja, a exposição normal ou potencial em decorrência de seu trabalho ou treinamento em práticas autorizadas ou intervenções, excluindo-se a radiação natural do local. Profissionais da enfermagem que atuam em área de internação, por não exercerem suas funções em ambiente que existe exposição à radiação, são considerados indivíduos do público e, por isso, seu limite de dose anual recomendado é de 1,0 mSv (CNEN, 3.01).

Portanto, existe a preocupação em relação à proteção radiológica desses profissionais durante e após procedimentos de MN, pois estudos mostram que para alguns procedimentos, como a cintilografia de perfusão miocárdica, esse limite anual para indivíduo do público pode ser atingido na equipe de enfermagem (ALKHORAYEF et al., 2018).

Estudos estimaram as doses de radiação, provenientes de pacientes submetidos a procedimentos de MN, em profissionais da saúde de outros setores hospitalares, que não são considerados IOEs. Foram realizadas medidas na superfície, a 50 e 100 cm dos pacientes e, sendo conservadores, estimaram que o tempo de permanência do profissional em cuidado direto ao paciente é de 1/10 do turno na distância de 0 cm e ½ do turno na distância de 50 cm (GOMEZ-PALACIOS et al., 2005).

Estudos apresentam taxas de dose equivalente provenientes da urina de pacientes submetidos a cintilografia óssea com o MDP-^{99m}Tc na superfície, a 15 e 100 cm de distância. Os resultados encontrados foram de 1,16; 0,68 e 0,26 mSv/h

na superfície da diurese para tempos após administração de 0-1 h, 1-4 horas, 4-7 horas, respectivamente, 0,17 ; 0,10 e 0,04 mSv/h a 15 cm e a 100 cm de 0,0048; 0,0028; e 0,0011 mSv/h para o mesmo período de tempo (CASTRONOVO, FPJ, 1993).

Portanto, deve-se realizar condutas de proteção radiológica em leitos de internação, quando se tem a hospitalização de paciente submetido a procedimentos de MN, a fim de garantir que esses limites não sejam ultrapassados.

Um dos fatores de grande importância para a determinação de métodos e condutas para a proteção radiológica é conhecer a taxa de exposição e/ou taxa de dose a qual está sendo exposto.

2.7. Medidores de atividade e Detectores de Radiação

2.7.1. Medidores de atividade

Para determinar a atividade de radionuclídeos administrados aos pacientes para fins diagnóstico e/ou terapêuticos, os serviços de MN utilizam equipamento de calibração de dose, conhecido como curiômetro (Figura 9). Um calibrador de dose consiste essencialmente de uma câmara de ionização do tipo poço e de um eletrômetro com mostrador digital, que permite uma leitura direta em unidades de atividade (múltiplos da unidade Becquerel ou submúltiplos da unidade anteriormente empregada, Curie) (COSTA; CALDAS, 2003).

Figura 9. Modelo de medidor de atividade

Fonte: (capintec.com/product/crc-55tr-dose-calibrator/)

2.7.2. Detectores de Radiação

O contador do tipo Geiger Muller (GM) começou a ser utilizado em 1928. Consiste de um detector à gás e seu princípio de funcionamento se caracteriza pela formação de pulsos de saída com a mesma amplitude, independentemente do número de íons iniciais que são produzidos a partir da interação da radiação com o volume sensível do detector, o que faz funcionar como um contador. Esses detectores são frequentemente utilizados em MN por serem extremamente versáteis, possibilitando realizar medidas de exposição acumulada, funcionando também como medidor de taxa de contagem, medidor de taxa de dose, e integrador e contador/temporizador (MONTEIRO, 2005).

Figura 10. Modelo de contador de radiação do tipo Geiger Müller

Fonte: (thermofisher.com/order/catalog/product/425067670)

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada com metodologia quantitativa de natureza investigativa experimental, pois tratou de demonstrar por meio de simulação, as taxas de exposição do radiofármaco MDP-^{99m}Tc durante a eliminação urinária existente na bolsa coletora, no período de janeiro a outubro de 2019. Os experimentos aconteceram no setor de MN sem a presença de profissionais da enfermagem e pacientes, garantindo dessa forma, a proteção radiológica de ambos.

O método quantitativo é o método no qual o pesquisador define claramente suas hipóteses e variáveis, usando-as para obter uma aferição precisa dos resultados quantificáveis obtidos (KIRK; MILLER, 1986).

Para os autores Baptista e Campos (2016), as investigações experimentais são aquelas nas quais as variáveis estudadas são, de alguma forma, manipuladas pelo investigador, e o objetivo é a compreensão dos efeitos dessa manipulação.

A metodologia foi dividida em quatro etapas:

i) cálculo de estimativa de atividade de radiofármaco acumulada na bolsa coletora de urina;

ii) determinação das taxas de dose no simulador da bolsa coletora;

iii) cálculo da taxa de dose proveniente da bolsa coletora; e

iv) criação de aplicativo para estimar a dose efetiva mensal e anual de cada profissional.

3.1 Estimativa de atividade acumulada na bolsa coletora do cateterismo vesical

Na primeira etapa foi determinada a atividade acumulada na bexiga e a taxa de excreção do radiofármaco MDP-^{99m}Tc referenciada pela literatura, por meio do método *MIRD Pamphlet n. 14: A dynamic urinary bladder model for radiation dose calculations.*

Sabendo que todo volume de urina que chega na bexiga é imediatamente eliminado quando se faz o cateterismo vesical, pode-se considerar que a atividade de radiofármaco acumulada na bexiga é a atividade acumulada na bolsa coletora ($A(t)$).

A expressão abaixo (Eq.3) é derivada da equação 2 do MIRD 14 e foi adaptada para calcular a atividade acumulada na bolsa coletora.

$$A(t) = A_o e^{-\lambda t} \sum_{j=1}^{m} \alpha_j (1 - e^{-\lambda_j t}) \qquad \text{(Equação 3)}$$

onde *A(t)* é a atividade acumulada na bexiga no tempo *t*, A_0 é a atividade inicial administrada ao paciente, λ é a constante de decaimento física do radionuclídeo dada em s^{-1}, α_j é o coeficiente biológico que representa a fração de atividade administrada que entra na bexiga, λ_j é a constante da taxa biológica que entra na bexiga.

O modelo de simulação determina uma produção diária de urina de 1000 a 2000 mL, estabelecendo três estados de hidratação diferentes, consistentes com a esperada produção diária de urina. Esses valores são estabelecidos como 0,5; 1,0 e 1,5 mL/min durante o dia e se reduz respectivamente, pela metade durante o intervalo de tempo de seis horas noturnos, ou seja, 0,25; 0,5 e 0,75 mL/min considerando esse intervalo a partir da meia noite.

Portanto, a taxa de eliminação urinária estimada, considerando os tempos de hidratação e média de 1500 mL durante o dia, excluindo as seis horas de intervalo noturno é de 1,39 mL/min.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros físicos e biológicos do radiofármaco MDP-^{99m}Tc utilizados para a estimativa da atividade acumulada, onde A_0 é a atividade inicial administrada ao paciente, λ é a meia vida física do radiofármaco, as frações α_j são os coeficientes biológicos que representam a fração de atividade administrada que entra na bexiga e λ_j são as constantes da taxa biológica que entram na bexiga, considerando os três estados de hidratação do paciente.

Tabela 3. Parâmetros físicos e biológicos do radiofármaco MDP-^{99m}Tc

Parâmetro físico	**Parâmetros biológicos**	
λ (min^{-1})	*Fração α_j*	*Constante de taxa λ_j (min^{-1})*
1,92 x 10^{-3}	-0,115	5,42 x 10^{-2}
	0,566	1,06 x 10^{-2}
	0,549	5,07 x 10^{-4}

Fonte: adaptada de MIRD 14.

A curva de atividade acumulada por tempo foi construída considerando a atividade inicial, ou seja, a atividade administrada no paciente de 25 mCi (925 MBq), segundo protocolos brasileiros e europeus de cintilografia óssea, que recomendam doses de 20 a 30 mCi (740 a 1110 MBq), considerando 0,36 mCi/kg e paciente padrão de 70 kg (IAEA, 2006).

Além disso, como a recomendação é realizar a aquisição da imagem após três horas da administração do radiofármaco e que a bolsa deve ser esvaziada imediatamente antes, considerou-se o esvaziamento da bolsa em 180 minutos após a administração. Portanto, zerou-se a curva de atividade acumulada na bolsa coletora nesse momento e a eliminação do radiofármaco seguiu de acordo com a taxa de eliminação, até que o decaimento radioativo fizesse com que a atividade chegasse próximo de zero.

3.2. Simulação para medida de taxa de dose

Com os dados da curva estabelecida da atividade acumulada na bolsa ($A(t)$) em relação ao tempo e com informações da taxa de eliminação urinária consideradas na simulação, elaborou-se no setor de MN de um Complexo Hospitalar na região norte de Santa Catarina uma fonte com o radioisótopo ^{99m}Tc, simulando a

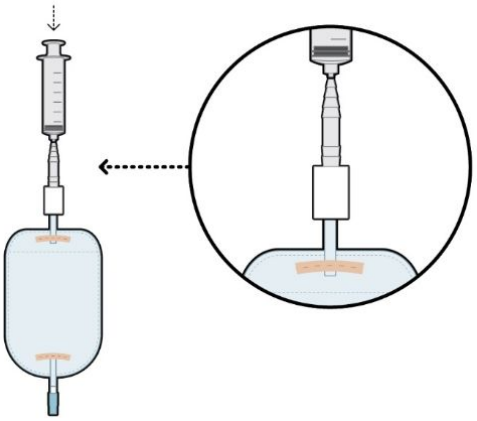
bolsa coletora de urina, para que as medidas de taxa de dose de radiação fossem realizadas. As atividades acumuladas, calculadas para a realização das medidas de taxa de dose, foram dosadas com o auxílio de um medidor de atividade modelo CRC-25R da Capintec, Inc. devidamente calibrado.

Como simulador da diurese radioativa do paciente, utilizou-se uma bolsa coletora de 500 mL com a fonte de ^{99m}Tc concentrada em água no volume recomendado de eliminação urinária, com taxa de eliminação de 1,39 mL / min.

A metodologia para a medição foi adaptada do estudo de Gomez-Palácios (2005), que determinou a taxa de dose ao redor de pacientes hospitalizados submetidos a procedimentos de MN.

As atividades de ^{99m}Tc e volumes de água foram administrados diretamente na bolsa coletora de simulação (Figura 11) de acordo com a curva de atividade acumulada em relação ao tempo, considerando o protocolo de esvaziamento da bolsa em aproximadamente três horas após a administração da dose.

Figura 11. Esquema de administração de atividade de tecnécio-99m na bolsa coletora.



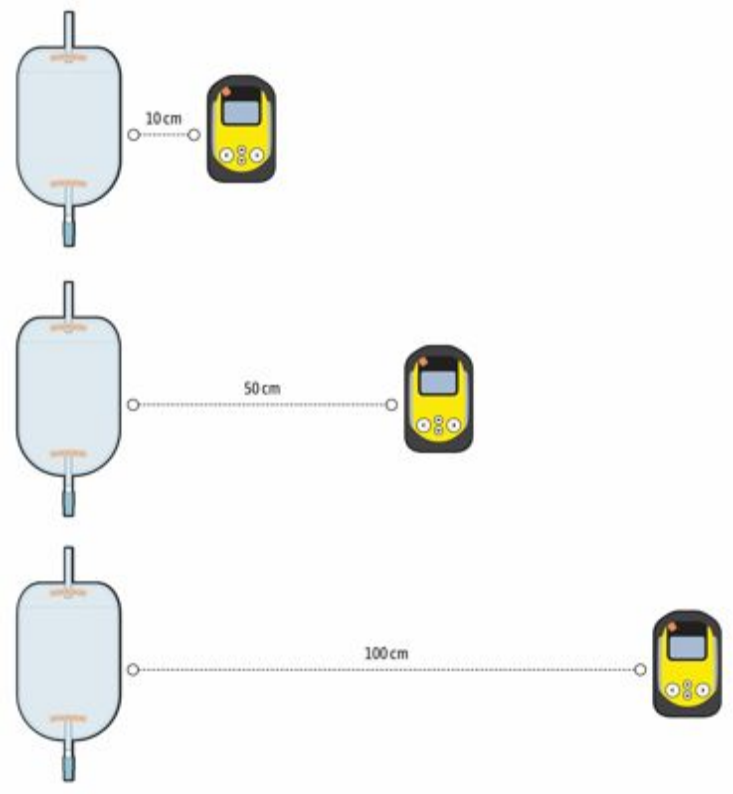
Fonte: elaborada pela autora

A taxa de dose foi mensurada em μSv/h por meio de um detector a gás na faixa de operação do Geiger Müller, do fabricante Thermo Scientific, modelo Radeye B20 com certificado de calibração (Anexo 1).

As medidas no Geiger Muller foram realizadas à três distâncias em relação à bolsa coletora: 10, 50 e 100 cm e a cada 30 minutos, até o momento em que a

atividade acumulada na bolsa foi computada, conforme é mostrada no esquema da Figura 12.

Figura 12. Esquema de realização das medidas de taxa de dose a partir da simulação da bolsa coletora



Fonte: elaborada pela autora

Os volumes e atividades calculados na bolsa coletora correspondentes aos tempos foram utilizados como protocolo de medida de taxas de dose.

Após as medições, foram realizadas análises descritivas para calcular a média e desvio padrão das taxas de dose.

As medidas de taxa de dose também foram realizadas variando a concentração do ^{99m}Tc na bolsa, a 50 cm de distância, a fim de avaliar o efeito geométrico da fonte. Utilizou-se a maior atividade eliminada, ou seja, 7,34 mCi (271,58 MBq) no volume de 250 mL, acrescido de 20 mL de água por medida, até o volume total de 500 ml.

3.3. Cálculo de taxa de dose

Com os dados calculados de atividade acumulada (A(t)), construiu-se a curva de atividade acumulada em função do tempo que serviu de base para estimar uma aproximação da taxa de exposição e a dose efetiva ocupacional de acordo com as equações 3 e 4, considerando a bolsa coletora do cateterismo vesical como fonte pontual e distâncias fundamentadas na literatura.

$$x = \frac{\Gamma . A . t}{d^2} \qquad \text{(Equação 4)}$$

onde *X* é a taxa de exposição (em R/h), *Γ* é o coeficiente de emissão gama, que para o ^{99m}Tc vale 0,12 R.m²/h.Ci, *A* é a atividade da fonte (em Ci), *t* é o tempo de exposição (em horas) e *d* é a distância entre a fonte e o indivíduo exposto. (TAUHATA et al., 2014). A literatura considera a correlação entre exposição e dose efetiva como sendo 1 R= 0,01 Sv (LNMRI, 2011). Portanto, a taxa de exposição calculada foi correlacionada com a taxa de dose efetiva por meio da conversão 1 R/h = $1x10^4$ μSv/h.

3.4. Criação de aplicativo para estimativa de dose efetiva dos profissionais

A dose efetiva de cada profissional pode ser estimada considerando a taxa de dose, a distância entre o profissional e a fonte e o tempo de permanência.

Para estimar a dose efetiva mensal e anual de cada profissional, o aplicativo utilizou a equação 4 com valores fixos de Γ e de *A*, distâncias da fonte pré-determinadas de acordo com procedimentos realizados, possibilitando a inserção de valores variáveis de tempo em tempos variados após a administração do radiofármaco ao paciente, a fim de relacionar a atividade eliminada do radiofármaco com o tempo de eliminação.

O aplicativo possui um banco de dados capaz de armazenar os valores de doses efetivas diárias e apresentar relatórios de doses efetivas mensais e anuais específicas de cada profissional cadastrado.

4 RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa estão dispostos em forma de dois artigos:

Artigo 1 - Taxa de exposição da bolsa coletora de urina de pacientes submetidos a cintilografia óssea

Artigo 2 - Aplicativo para estimativa de dose efetiva de profissionais da enfermagem em assistência a pacientes com cateter vesical submetidos a cintilografia óssea

Artigo 1 - TAXA DE EXPOSIÇÃO DA BOLSA COLETORA DE URINA DE PACIENTES SUBMETIDOS A CINTILOGRAFIA ÓSSEA

PASQUETA, Jéssica; CAMOZZATO, Tatiane S. C; ZOTTIS, Alexandre D'A

RESUMO: Objetivo: estimar a taxa de dose determinada na urina da bolsa coletora de pacientes submetidos a cintilografia óssea. **Método:** o estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa quantitativa, estimando a atividade de MDP-^{99m}Tc acumulada eliminada na urina e calculada pelo método do MIRD 14. Este possibilitou o cálculo da taxa de dose emitida nas distâncias de 10, 50 e 100 cm e a criação de uma bolsa coletora de simulação para validar os cálculos, por meio de medidas realizadas com um contador Geiger Müller nas mesmas situações. O teste de variância (ANOVA) foi realizado para verificar a diferença significativa entre as medidas e validar a estimativa de taxa de dose. **Resultados:** as taxas de dose calculadas e medidas apresentaram os maiores valores na distância de 10 cm em até três horas após a administração do radiofármaco ao paciente, com médias de taxa de dose de 375 µSv/h e 426 µSv/h medida e calculada, respectivamente. Após esse período, como a bolsa coletora é esvaziada para aquisição da imagem, a taxa de dose é próxima a radiação de fundo. **Conclusão:** a máxima atividade acumulada na bolsa coletora de urina e, consequentemente, a máxima taxa de dose acontece no momento do esvaziamento da bolsa para a aquisição da imagem. Portanto, além da exposição à radiação, há risco considerável de contaminação por radiação ionizante para o profissional que realiza o procedimento. A recomendação para minimizar esse risco e a exposição é usar equipamentos de proteção individual (EPIs) e considerar os fatores de proteção radiológica, que são menor tempo de permanência, maior distância e maior barreira entre o profissional e a fonte radioativa.

Descritores: Dose de Radiação. MN. Profissional da enfermagem. Contaminação Radioativa. Cateterismo vesical.

ABSTRACT: Objective: To estimate the rate of the measured and calculated dose of radiation from the bladder catheter bag in patients undergoing bone scintigraphy. **Method:** the study was developed through quantitative research, by calculating the accumulated activity of eliminated urine MDP-^{99m}Tc calculated by the MIRD method 14. This method allowed the calculation of the radiation dose rate at distances of 10, 50 and 100 cm and the creation of a simulation collecting bag to validate the calculations through measurements made with a Geiger Müller counter in the same situations. The variance test (ANOVA) was performed to verify the significant difference between the measurements and to validate the dose rate estimation. **Results:** The calculated and measured dose rates showed the highest values at a distance of 10 cm within three hours after radiopharmaceutical administration to the patient, with mean dose rates of 375 µSv/h and 426 µSv/h, respectively. After this period, as the collecting bag is emptied for image acquisition, the dose rate is close to BG. **Conclusion:** the maximum radiation activity accumulated in the bladder catheter collection bag and, consequently, the maximum dose rate occurs at the moment when the bag is emptied image acquisition. Therefore, besides the radiation exposure, there is a considerable risk of contamination by ionizing radiation for the professional that perform the procedure. The recommendation to minimize this risk and the exposure is to use EPI and consider the radiological protection factors, such as shorter time of permanence, greater distance and greater barrier between the professional and the radioactive source.

Keywords: Radiation Dose. Nuclear medicine. Health Professional. Radioactive Contamination. Catheterization

INTRODUÇÃO

A MN (MN) é uma área da medicina para fins diagnósticos e terapêuticos em que se utiliza uma substância química, chamada de fármaco, que é marcado com determinado isótopo radioativo, normalmente de meia-vida física curta. Esses compostos, denominados de radiofármacos, são administrados ao paciente por via oral, injetável ou inalatória (ZIESSMAN, 2015).

De acordo com dados fornecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), há uma demanda crescente de procedimentos de MN (MN) no Brasil, com taxa de crescimento em torno de 10% ao ano (PPA 2016-2019).

Apesar das vantagens de diagnóstico da MN, há também aspectos menos positivos em relação à essa técnica de imagem, como por exemplo a monitoração e as precauções necessárias a serem tomadas durante e após os procedimentos, devido à atividade administrada do radiofármaco no paciente (UNSCEAR, 2012).

O tecnécio 99 metaestável (^{99m}Tc) é o radionuclídeo mais utilizado em procedimentos de MN convencional. (MARQUES; OKAMOTO; BUCHPIGUEL, 2001) Quando administrado ao paciente, sua excreção ocorre principalmente por via renal. Em pacientes com função renal normal, estima-se que 50% a 60% de sua atividade injetada pode ser excretada pela urina em 24 horas (EJEH et al., 2014).

Pacientes com diagnóstico de câncer de próstata que se encontram hospitalizados normalmente fazem uso de cateter vesical e realizam cintilografia óssea para detecção de metástases (CLARK; TORTI, 2003).

Diferentemente dos profissionais atuantes em serviços de MN que utilizam dosímetro, os profissionais da enfermagem de setores de internação não são considerados indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs), visto que não estão sujeitos a exposição ocupacional. No entanto, a bolsa coletora de urina de pacientes que se submetem a procedimentos de MN torna-se fonte radioativa e expõe estes profissionais que atuam em contato direto, especialmente a equipe de enfermagem, além de apresentar risco de contaminação por radiação ionizante.

Nesses casos, a equipe de enfermagem dos setores de internação que acompanham em exames e assistem esses pacientes não possui uma conduta

padrão em relação a proteção radiológica voltada à exposição e a contaminação durante e após esses procedimentos.

Portanto, estimar a taxa de dose da bolsa coletora de urina de pacientes submetidos a cintilografia óssea é de grande importância para otimizar a proteção radiológica de profissionais da enfermagem em assistência a esses pacientes.

Diante deste contexto, procurou-se responder a seguinte pergunta: como conhecer a atividade acumulada na urina e a taxa de dose da bolsa coletora de urina de pacientes submetidos a cintilografia óssea pode auxiliar na otimização da proteção radiológica de profissionais da enfermagem dos setores de internação?

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi simular, estimar e analisar as taxas de dose e os riscos de contaminação radioativa provenientes da bolsa coletora de urina de pacientes hospitalizados submetidos a cintilografia óssea.

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada com metodologia quantitativa de natureza investigativa experimental, pois tratou de demonstrar por meio de simulação, as taxas de exposição do radiofármaco MDP-^{99m}Tc durante a eliminação urinária existente na bolsa coletora, no período de janeiro a outubro de 2019. Os experimentos aconteceram no setor de MN sem a presença de profissionais da enfermagem e pacientes, garantindo dessa forma, a proteção radiológica de ambos.

A metodologia foi dividida em 3 etapas: i) cálculo de estimativa de atividade de radiofármaco acumulada na bolsa coletora de urina; ii) medição das taxas de dose no simulador da bolsa coletora; e iii) cálculo da taxa de dose proveniente da bolsa coletora.

Na primeira etapa, foi determinada a atividade acumulada na bexiga e a taxa de excreção do radiofármaco MDP-^{99m}Tc baseado na literatura por meio do método *MIRD Pamphlet n. 14: A dynamic urinary bladder model for radiation dose calculations* (THOMAS, et al., 1999).

Sabendo que todo volume que chega na bexiga é imediatamente eliminado quando se faz uso de cateter vesical, pode-se considerar que a atividade de radiofármaco acumulada na bexiga é a atividade acumulada na bolsa coletora.

A equação 2 do MIRD 14 (1999) foi adaptada para calcular a atividade acumulada na bolsa coletora (Equação 1).

$$A(t) = A_o e^{-\lambda t} \sum_{j=1}^{m} \alpha_j (1 - e^{-\lambda_j t}) \qquad \text{(Equação 1)}$$

O modelo de simulação para o presente estudo de caso particular determina uma produção diária de urina de 1000 a 2000 ml, estabelecendo três estados de hidratação diferentes, consistentes com a esperada produção diária de urina. Esses valores são estabelecidos como 0,5; 1,0 e 1,5 mL/min durante o dia e é reduzido pela metade durante o intervalo de tempo de 6 horas noturnos, ou seja, 0,25; 0,5 e 0.75 mL/min considerando esse intervalo a contar da meia noite.

Portanto, a taxa de eliminação urinária estimada, considerando os tempos de hidratação e média de 1500 mL durante o dia, excluindo as seis horas de intervalo noturno é de 1,39 mL/min.

A tabela 1 apresenta parâmetros físicos e biológicos do radiofármaco MDP-^{99m}Tc utilizados para a estimativa da atividade acumulada, onde A_0 é a atividade inicial administrada no paciente, λ é a meia vida física do radiofármaco, as frações α_j são os coeficientes biológicos que representam a fração de atividade administrada que entra na bexiga e λ_j são as constantes da taxa biológica que entra na bexiga, considerando os três estados de hidratação do paciente.

Tabela 1. Parâmetros físicos e biológicos do radiofármaco MDP-^{99m}Tc

Parâmetro físico	**Parâmetros biológicos**	
λ (min^{-1})	*Fração α_j*	*Constante de taxa λ_j (min^{-1})*
1,92 x 10^{-3}	-0,115	5,42 x 10^{-2}
	0,566	1,06 x 10^{-2}
	0,549	5,07 x 10^{-4}

Fonte: adaptada de MIRD 14 (1999).

A curva de atividade acumulada $A(t)$ por tempo foi construída considerando-se a atividade inicial, ou seja, a atividade administrada no paciente de 25 mCi (925 MBq), uma vez que protocolos brasileiros e europeus de cintilografia óssea recomendam doses de 20 a 30 mCi (740 a 1110 MBq), considerando 0,36 mCi/kg e paciente padrão de 70 kg.

Além disso, como a recomendação é realizar a aquisição da imagem após 3 horas da administração do radiofármaco e que a bolsa deve ser esvaziada imediatamente antes, foi levado em consideração o esvaziamento da bolsa também 3 horas após a administração. Portanto, a curva de atividade acumulada na bolsa coletora foi zerada nesse momento e a eliminação do radiofármaco seguiu de acordo com a taxa de eliminação, até que o decaimento radioativo fez com que a atividade chegasse a zero.

Na etapa 2 da metodologia, com os dados da curva de atividade acumulada na bolsa em relação ao tempo e com informações de taxa de eliminação urinária consideradas na simulação, criou-se no setor de MN de um Complexo Hospitalar no norte de Santa Catarina, uma fonte com o radioisótopo ^{99m}Tc simulando a bolsa coletora de urina, para que as medidas de taxa de dose fossem realizadas. A atividade acumulada calculada para a realização das medidas de taxa de dose foi

dosada com o auxílio de um medidor de atividade modelo CRC-25R da Capintec, Inc. devidamente calibrado.

Uma bolsa coletora de 500 ml com a fonte de ^{99m}Tc concentrada em água no volume recomendado de eliminação urinária, com taxa de eliminação de 1,39 ml/min foi utilizada como simulador da diurese radioativa do paciente.

A metodologia para a medição foi adaptada do estudo de Gomez-Palácios et al. (2005) para taxa de dose ao redor de pacientes hospitalizados submetidos a procedimentos de MN.

As atividades de ^{99m}Tc e volumes de água foram administrados diretamente na bolsa coletora de simulação de acordo com a curva de atividade acumulada em relação ao tempo, considerando o protocolo de esvaziamento da bolsa em aproximadamente três horas após a administração da dose (SBMN, 2019).

A taxa de dose foi mensurada em μSv/h por meio de um detector a gás na faixa de operação do Geiger Müller, do fabricante Thermo Scientific, modelo Radeye B20 com certificado de calibração.

As medidas foram realizadas em três distâncias diferentes da bolsa: a 10, 50 e 100 cm, a cada 30 minutos até o momento em que a atividade acumulada na bolsa é zerada.

Os volumes e atividades calculados na bolsa coletora correspondentes aos tempos foram utilizados como protocolo de medidas da taxa de dose.

Após as medições, foram realizadas análises descritivas para calcular a média e desvio padrão das taxas de dose.

As medidas de taxa de dose também foram realizadas variando a concentração do tecnécio na bolsa, a 50 cm de distância, a fim de avaliar o efeito geométrico da fonte.

Foi utilizada a maior atividade eliminada, ou seja, 7,34 mCi no volume de 250 ml, acrescido de 20 ml de água por medida, até o volume total de 500 ml.

Na terceira e última etapa, com os dados calculados de atividade acumulada, foi construída uma curva de atividade acumulada em função do tempo que serviu de base para estimar, de forma conservadora, uma aproximação da taxa de exposição e a dose efetiva ocupacional de acordo com as equações 1 e 2, considerando a

bolsa coletora do cateterismo vesical como fonte pontual e distâncias fundamentadas na literatura.

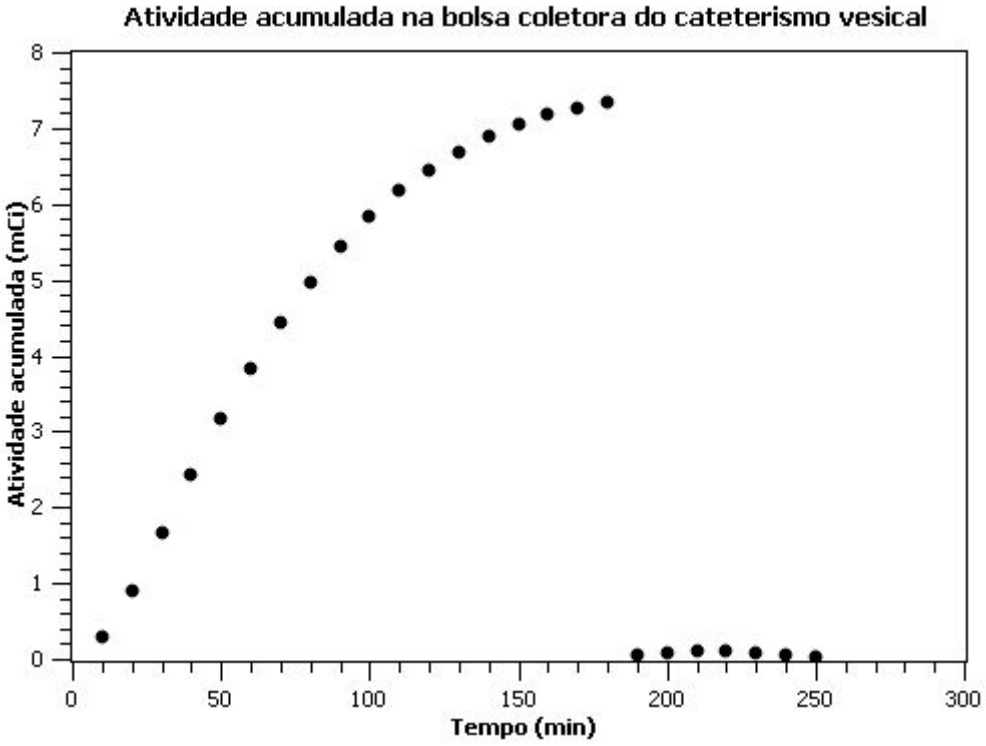
$$x = \frac{\Gamma.A.t}{d^2} \qquad \text{(Equação 2)}$$

onde *X* é a taxa de exposição (em R/h), *Γ* é o coeficiente de emissão gama, que para o tecnécio 99 metaestável vale 0,12 R.m²/h.Ci, *A* é a atividade da fonte (em Ci), *t* é o tempo de exposição (em horas) e *d* é a distância entre a fonte e o indivíduo exposto (TAUHATA et al., 2014). Além disso, a literatura considera a correlação entre exposição e dose efetiva como sendo 1 R = 0,01 Sv. Na Alemanha, essa correlação foi definida por uma grandeza denominada *equivalente de dose para fótons* (LNMRI, 2011). Portanto, a taxa de exposição calculada foi correlacionada com a dose efetiva por meio da conversão 1 R/h = $1x10^4$ μSv/h.

RESULTADOS

Considerando a equação 1 adaptada do MIRD 14 (1999) para atividade contida na bexiga e o protocolo para cintilografia óssea oferecido pela SBMN, que orienta a atividade administrada ao paciente de 20 a 30 mCi (740 a 1110 MBq), a curva de atividade acumulada na bolsa coletora para uma atividade média administrada de 25 mCi (925 MBq) ao paciente dependente do tempo, em minutos, é apresentada na Figura 1 e na Tabela 2 com seus respectivos valores.

Figura 1. Curva de atividade acumulada na bolsa coletora em relação ao tempo



Fonte: elaborada pela autora

A Figura 1 inicialmente apresenta crescimento da atividade acumulada na bolsa coletora de acordo com a taxa de eliminação urinária e, logo em seguida, queda dessa atividade acumulada uma vez que, imediatamente antes da aquisição da imagem cintilográfica que acontece em aproximadamente 3 horas, a recomendação é de que a bexiga/bolsa coletora seja esvaziada para que a diurese radioativa não interfira na detecção de radiação para a formação da imagem.

Tabela 2. Protocolo de medidas da bolsa coletora de simulação

Tempo após administração (min)	Volume (ml)	Atividade (mCi)
10	13,90	0,28
30	41,70	1,65
60	83,40	3,84
90	125,10	5,43
120	166,80	6,45
150	208,50	7,04
180*	250,20	7,34
210	41,70	0,10
240	83,40	0,06
270	125,10	0,00

* Em 180 min após a administração, a bolsa coletora é esvaziada e recomeça a encher.

Fonte: elaborada pela autora

Considerando o tempo de meia vida efetiva do radiofármaco de 4,87 horas, o pico de atividade na bolsa coletora se daria aos 230 min após a administração se não houvesse o esvaziamento da bolsa, contendo 7,42 mCi (274,54 MBq) acumulados e, posteriormente, o decaimento radioativo prevalece.

Após o esvaziamento, a atividade acumulada na bolsa permanece por mais 70 min até ser zerada conforme é visto nas medidas na Tab. 2.

Os valores de taxas de dose medidas por meio de um contador Geiger Müller do fabricante Thermo Scientific, modelo Radeye B20 com certificado de calibração

(Anexo 1), nas distâncias de 10, 50 e 100 cm, respectivamente, da bolsa coletora de simulação e suas respectivas médias e desvios padrões são apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Taxas de dose em diferentes distâncias da bolsa coletora (μSv/h)

Tempo após administração (min)	Volume (ml)	Atividade (μCi)	Atividade real (μCi)	Taxa de dose a 10 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 50 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 100 cm (μSv/h)
10	13,90	280,00	292,00	20,70	1,18	0,51
30	41,70	1650,00	1662,00	206,00	7,14	1,93
60	83,40	3840,00	3850,00	453,00	18,40	4,19
90	125,10	5430,00	5435,00	654,00	25,10	5,95
120	166,80	6450,00	6465,00	766,00	26,30	6,57
150	208,50	7040,00	7057,00	847,00	28,90	8,28
180*	250,20	7340,00	7342,00	892,00	30,90	7,26
210	41,70	100,00	103,00	7,10	0,35	0,31
240	83,40	60,00	58,00	4,36	0,32	0,29
BG				0,70	0,31	0,28

Fonte: elaborada pela autora

A análise descritiva dos valores medidos se encontra na Tabela 4.

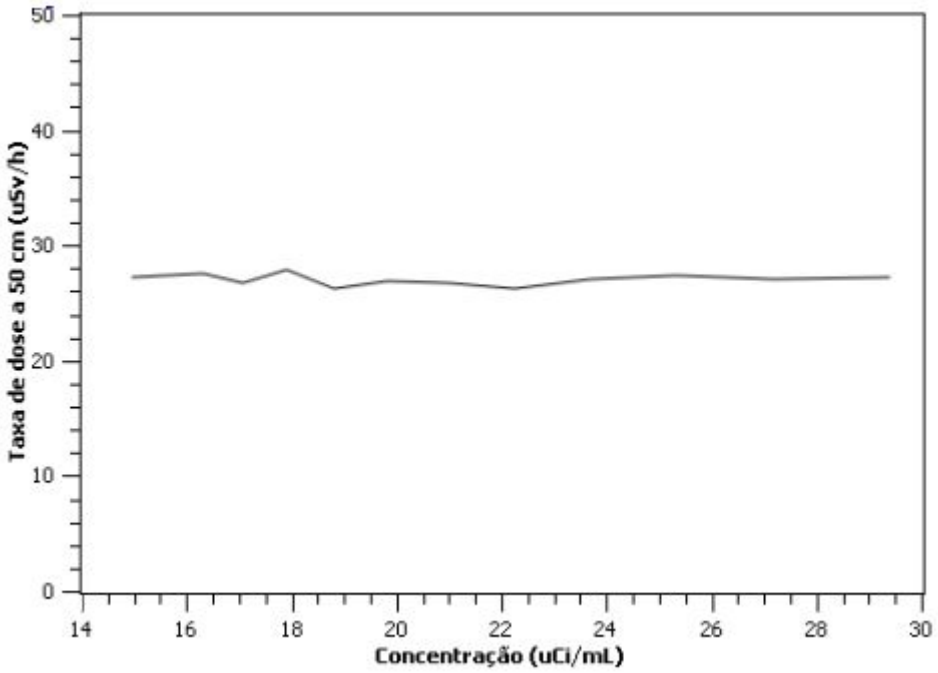
Tabela 4. Análise descritiva das taxas de dose medidas

	Taxa de dose a 10 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 50 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 100 cm (μSv/h)
Valor mínimo	3,66	0,01	0,01
Valor máximo	891,30	30,59	8,00
Média	427,10	15,09	3,64
Desvio Padrão	375,60	13,08	3,22

Fonte: elaborada pela autora

Em relação a análise do efeito geométrico das taxas de dose, a Figura 2 apresenta a curva de concentração de atividade pela taxa de dose a 50 cm de distância da fonte.

Figura 2. Curva da taxa de dose em relação a concentração de atividade



Fonte: elaborada pela autora

Como a análise do efeito geométrico da fonte (Figura 2) realizada através da análise estatística com teste de variância não-paramétrica (ANOVA), complementado com Kruskal-Wallis, não apresentou diferença significativa (P = 0,4433) da taxa de dose em relação a concentração do radiofármaco, foi possível calcular com a equação do gamão a taxa de dose em relação a atividade e a distância da fonte.

Os valores de taxa de dose calculados nas mesmas condições da simulação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Taxas de doses calculadas em diferentes distâncias (μSv/h)

Tempo após administração (min)	Atividade (μCi)	Taxa de dose a 10 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 50 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 100 cm (μSv/h)
10	280,00	33,60	1,34	0,33
30	1650,00	198,00	7,92	1,98
60	3840,00	460,80	18,43	4,60
90	5430,00	651,60	26,06	6,52
120	6450,00	774,00	30,96	7,74
150	7040,00	844,80	33,79	8,45
180*	7340,00	880,80	35,23	8,81
210	100,00	12,00	0,48	0,12
240	60,00	7,20	0,29	0,07

Fonte: elaborada pela autora

A análise descritiva também foi realizada para os valores calculados encontrados e está apresentada na Tabela 6.

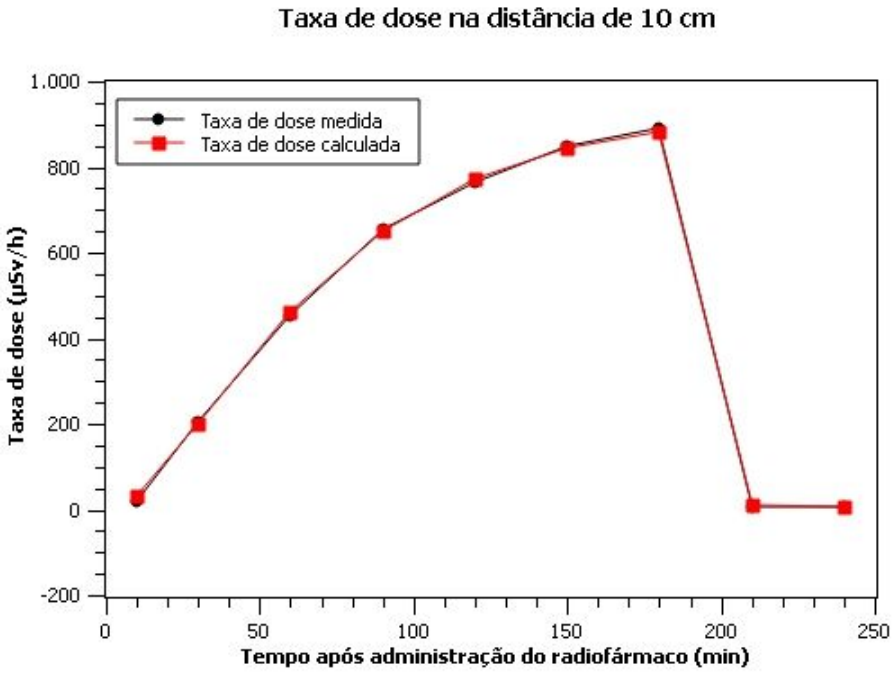
Tabela 6. Análise descritiva das taxas de dose calculadas

	Taxa de dose a 10 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 50 cm (μSv/h)	Taxa de dose a 100 cm (μSv/h)
Valor mínimo	7,20	0,29	0,07
Valor máximo	880,80	35,23	8,81
Média	429,20	17,17	4,29
Desvio Padrão	372,17	14,89	3,72

Fonte: elaborada pela autora

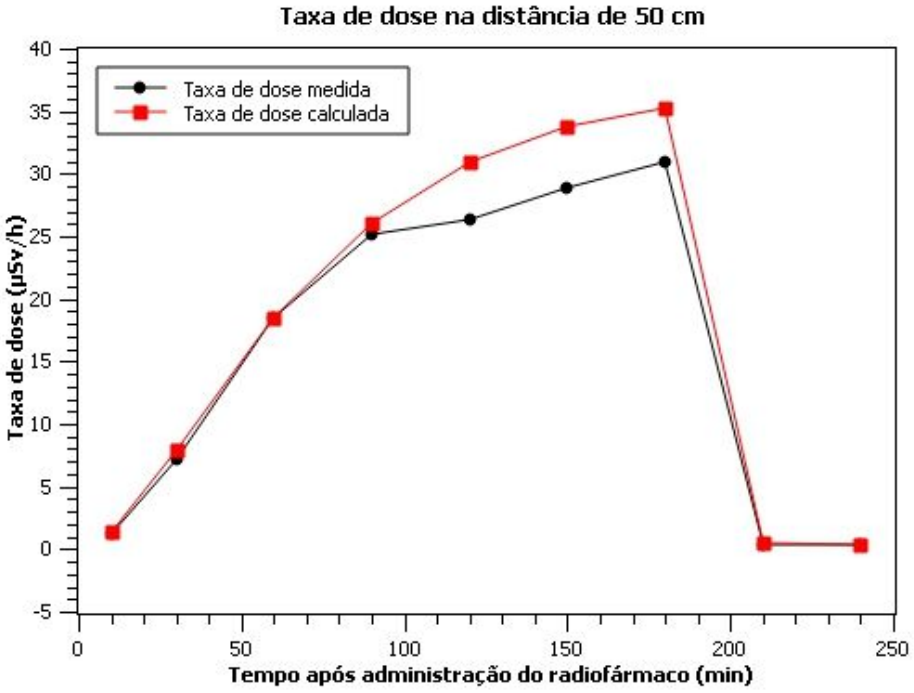
As Figuras 3, 4 e 5 apresentam as curvas de tempo após a administração da dose em relação a taxa de dose medida e calculada nas distâncias de 10, 50 e 100 cm e a Tabela 7 apresenta a análise descritiva comparando os valores de taxas de dose medidos e calculados.

Figura 3. Curva de taxas de dose medidas e calculadas em relação ao tempo a 10 cm



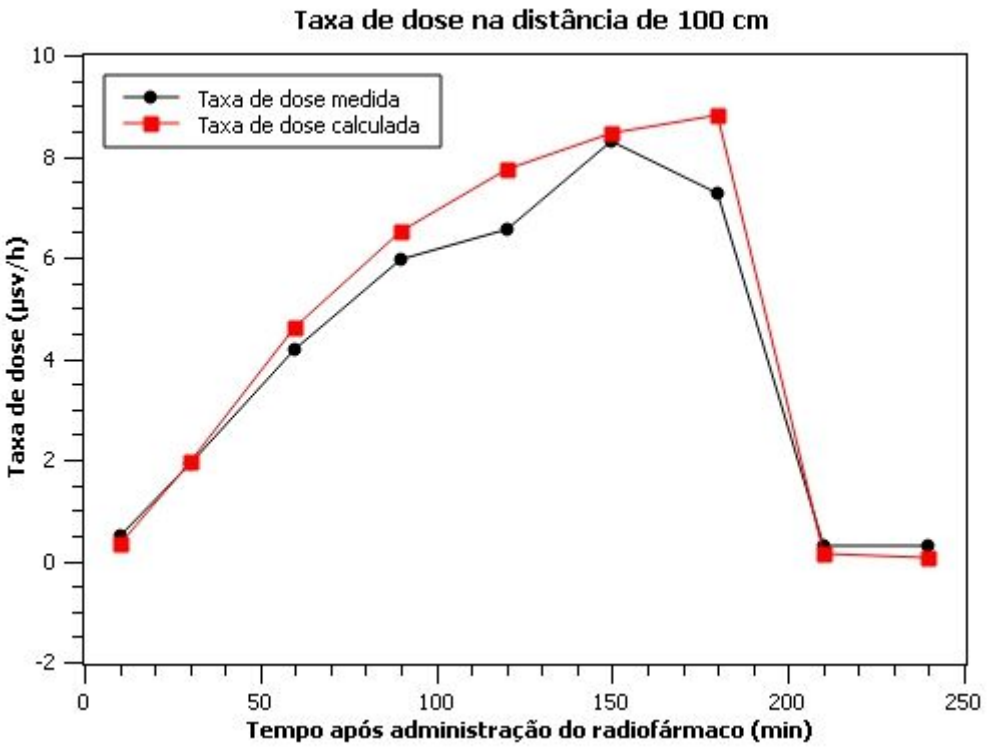
Fonte: elaborada pela autora

Figura 4. Curva de taxas de dose medidas e calculadas em relação ao tempo a 50 cm



Fonte: elaborada pela autora

Figura 5. Curva de taxas de dose medidas e calculadas em relação ao tempo a 100 cm



Fonte: elaborada pela autora

Tabela 7. Análise descritiva dos valores das taxas de dose medidos e calculados

	Taxa de dose de radiação a distância de		
	10 cm (μSv/h)	50 cm (μSv/h)	100 cm (μSv/h)
Média valores medidos	375,60	15,09	3,64
Média valores calculados	429,20	17,17	4,29
Média	402,40	16,13	3,97
Desvio padrão	37,90	1,47	0,46

DISCUSSÃO

5.1. Atividade acumulada na bolsa coletora

A curva de atividade acumulada na bolsa coletora de urina, calculada por meio da metodologia adaptada do MIRD 14, apresentou um pico de atividade na urina de 7,42 mCi (274,54 MBq) em 230 minutos após a administração de 25 mCi (925 MBq) do radiofármaco MDP-^{99m}Tc, caso não haja o esvaziamento da bolsa em 180 minutos após a administração.

Esse valor corresponde a eliminação de 29,7% da atividade administrada. O protocolo de cintilografia óssea disponibilizado pela Associação Europeia de MN (EANM, 2016) estima que até 34% do radiofármaco deve ser excretado em 240 minutos após a administração, corroborando o resultado encontrado. Alguns estudos também mostram que 50 a 60% do ^{99m}Tc é excretado via renal em 24 horas. (WYNGAERT et al., 2016)

Estudos comparando o MDP-^{99m}Tc com outros radiofármacos para cintilografia óssea apresentaram porcentagem da atividade administrada eliminada na urina de 42,9% ± 14.0 e 59,4% ± 15,7 em 3 e 24 horas após a administração do radiofármaco, respectivamente (MURPHY et al., 1997).

Bambara et al. em (2015), estimando a atividade do radionuclídeo MDP-^{99m}Tc de cintilografia óssea nos rins e na bexiga experimental e teoricamente por meio do MIRD 13 constatou que a atividade nos rins e na bexiga 180 minutos após a administração equivale a 0,72% e 29,31% da atividade administrada no paciente, respectivamente, sendo que o último valor correspondeu de forma em concordância com nossos resultados apresentados para o MDP.

5.2. Taxa de dose

As taxas de dose medidas no simulador da bolsa coletora de urina possibilitaram estimar o tempo máximo em que o profissional pode permanecer exposto à radiação emitida pela bolsa e/ou a porcentagem de pacientes assistidos com cateter vesical submetidos a cintilografia óssea, para que o limite de dose de público preconizado pela legislação não seja ultrapassado.

As medidas foram realizadas à distância de 10, 50 e 100 cm da bolsa coletora. Os valores de taxa de dose obtidos nas distâncias de 50 e 100 cm comprovam a Lei do Inverso do Quadrado da Distância, que estabelece que a dose recebida pelo indivíduo reduz para 25% quando a distância é dobrada, corroborando com os fatores de proteção radiológica preconizados na legislação. Portanto, aumentar a distância entre a fonte e o profissional pode ser uma ação para minimizar ainda mais a dose efetiva nesses profissionais.

A análise do efeito geométrico da fonte foi realizada sobre a taxa de dose encontrada em relação às concentrações. A média da taxa de dose para diferentes concentrações na distância de 50 cm da fonte foi de 27,05 μSv/h com desvio padrão de 0,49. A análise de variância (ANOVA) mostrou que não há variação significante da taxa de dose em relação a concentração de atividade. Portanto, é possível correlacionar os valores de taxa de dose medidos com os valores de taxa de dose calculados por meio da equação do gamão, que considera fonte pontual somente a

distâncias acima de 1,0 m, uma vez que não há diferença significativa entre as taxas de dose com relação a concentração na distância de 50 cm.

Os resultados medidos e calculados foram agrupados em média e erro padrão da média. As diferenças entre os valores médios foram testadas por meio da Análise de Variância (ANOVA), complementada com o teste de comparações múltiplas de Tukey-Kramer (Snedecor e Cochram, 1989). O nível de significância estabelecido foi de 5%.

As taxas de dose medidas e calculadas não apresentaram diferença significativa na análise estatística. Portanto, a equação utilizada para o cálculo matemático foi validada na simulação na bolsa.

De acordo com os valores medidos e calculados, a taxa de exposição é desprezível a partir do esvaziamento da bolsa coletora no momento anterior à aquisição da imagem, ou seja, a maior exposição à radiação e risco de contaminação no profissional que acompanha o paciente ocorre no período de realização do exame, no setor de MN.

No entanto, a norma 3.01 de Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da CNEN considera que "*os limites de dose estabelecidos não se aplicam a exposições médicas de acompanhantes e voluntários que eventualmente assistem pacientes. As doses devem ser restritas de forma que seja improvável que algum desses acompanhantes ou voluntários receba mais de 5 mSv durante o período de exame diagnóstico ou tratamento do paciente*".

Portanto, quando o profissional que assiste e acompanha o paciente na realização da cintilografia óssea, adota medidas de proteção radiológica estabelecidas para acompanhantes no setor de MN, como aguardar o paciente em sala de espera separada e evitar sua proximidade, garante que a dose efetiva seja inferior aos limites estabelecidos pela CNEN.

A maior taxa de dose se dá na distância de 10 cm e o profissional poderá ser exposto nessas condições apenas no momento de esvaziamento da bolsa coletora de urina. No entanto, a dose relacionada será equivalente para extremidades. Além disso, existem limites de dose equivalente apenas para indivíduo ocupacionalmente exposto e equivale a 500 mSv/ano.

No entanto, o momento de esvaziamento da bolsa coletora imediatamente antes da aquisição da imagem corresponde também a 10 minutos antes do pico de atividade eliminada acumulada na urina. Portanto, a exposição à radiação e o risco de contaminação por radiação ionizante neste momento é elevado.

As medidas recomendadas de proteção radiológica que minimizam a contaminação com fontes não seladas de radiação estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Recomendações de Proteção Radiológica contra contaminações

Não recomendado	Solução
Manipular as fontes com as mãos nuas	Utilizar luvas para manipular material radioativo
Prolongar inutilmente a duração das manipulações de material radioativo	Reduzir ao máximo a duração das manipulações de material radioativo
Proceder a transferência de substâncias radioativas sem precauções especiais	Não proceder a transferência de substâncias radioativas sem o uso de utensílios apropriados
Despejar os materiais radioativos em locais não destinados a isso.	Despejar o material radioativo em locais apropriados (banheiros exclusivos)
Armazenar utensílios contaminados em locais não apropriados	Armazenar utensílios contaminados em cofres em sala de rejeitos.

Fonte: adaptado de Secretaria de Saúde, Manual de Biossegurança, 2001.

Portanto, para minimizar os riscos de contaminação por radiação nos momentos de manipulação da bolsa coletora de urina, bem como em cuidados com o cateter, o profissional deve seguir as recomendações de órgãos responsáveis pela biossegurança e segurança radiológica de profissionais, principalmente no uso de equipamentos de proteção individual como luvas e jalecos, bem como na redução do tempo de contato e exposição à radiação.

Outro fator importante em relação a contaminação é a forma pela qual a urina da bolsa coletora é descartada. A urina radioativa do paciente deve ser descartada em local apropriado para que não haja risco de contaminação de outras pessoas em geral. A urina retirada da bolsa coletora no instante anterior a aquisição de imagem no setor de MN deve ser descartada no vaso sanitário do banheiro exclusivo para pacientes injetados. Caso o próximo esvaziamento no setor de internação ocorra após o período de decaimento do material radioativo, ou seja, após duas horas do primeiro, a urina pode ser descartada em expurgo comum.

Além disso, o utensílio utilizado para o esvaziamento da bolsa coletora e transferência até o descarte é considerado rejeito radioativo por ter sofrido contaminação, portanto, deve ser armazenado em cofre apropriado dentro da sala de rejeito do setor de MN, até que a taxa de exposição advinda dele seja inferior aos limites preconizados pela CNEN.

CONCLUSÃO

A simulação do cálculo da atividade acumulada na urina e da estimativa de taxa de dose proveniente da bolsa coletora de urina em procedimento de cintilografia óssea foi relevante para a análise de exposição à radiação e risco de contaminação radioativa em profissionais da enfermagem dos setores de internação que assistem e acompanham os pacientes.

Com a presente pesquisa, pode-se concluir que a principal preocupação relacionada à proteção radiológica destes profissionais acontece durante o acompanhamento do paciente ao setor de MN para a realização da cintilografia óssea.

Considerando que a atividade acumulada na urina e a taxa de dose são máximas no momento anterior a aquisição da imagem, ou seja, quando o profissional realiza o esvaziamento da bolsa coletora, a recomendação para otimizar a proteção radiológica é seguir a orientação de acordo com os fatores de segurança de menor tempo, maior distância e maior barreira entre o profissional e a fonte radioativa.

Portanto, a presente pesquisa permitiu avaliar os processos de trabalho, a fim de propor ações para minimizar a exposição e a contaminação radioativa dos profissionais da enfermagem em assistência a pacientes hospitalizados que fazem uso de cateter vesical e são submetidos a cintilografia óssea com o intuito de garantir a segurança da equipe.

REFERÊNCIAS

BAHIA. Secretaria da Saúde. Superintendência de Vigilância e Proteção da Saúde. Diretoria de Vigilância e Controle Sanitário. BRASIL. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Ciências da Saúde. **Manual de Biossegurança**. Salvador. 2001.

BAMBARA, Luc T. et al. Estimation of kidney and bladder radionuclide activity for patients undergoing bone scan. **Journal Of Radiation Research And Applied Sciences**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.317-322, jul. 2015.

CLARK, Peter E.; TORTI, Frank M.. Prostate Cancer and Bone Metastases: Medical Treatment. **Clinical Orthopaedics And Related Research**, [s.l.], v. 415, p.148-157, out. 2003. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health).

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. 2014.

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Programa de Política Nuclear 2016-2019. 2016

EJEH, John Enyi et al. Radiation Levels from Toilets Used By Patients Injected with 99mTc-based Radiopharmaceuticals in Ibadan. **Malecular Imaging And Radionuclide Therapy**, [s.l.], v. 22, n. 2, p.60-63, 5 jun. 2014. Galenos Yayinevi.

GOMEZ-PALACIOS, M et al. Radiation Doses in the Surroundings of Patients Undergoing Nuclear Medicine Diagnostic Studies. **The Radiation Safety Journal**, Sevilla, v. 89, n. 2, p.27-34, ago. 2005.

KIRK, J.; MILLER, M. L. Reliability and validity in qualitative research. London: Sage, 1986.

MARQUES, Fabio Luiz Navarro; OKAMOTO, Miriam Roseli Yoshie; BUCHPIGUEL, Carlos Alberto. Alguns aspectos sobre geradores e radiofármacos de tecnécio-99m e seus controles de qualidade. **Radiologia Brasileira**, [s.l.], v. 34, n. 4, p.233-239, ago. 2001.

MIRD Pamphlet No. 14 revised: A dynamic urinary bladder model for radiation dose calculations. Task Group of the MIRD Committee, Society of Nuclear Medicine. 1999

MURPHY, Consuelo Arteaga de et al. Radiopharmacokinetic data for 99mTc-ABP—A new radiopharmaceutical for bone scanning: Comparison with 99mTc-MDP. **Nuclear Medicine And Biology**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.27-33, jan. 1997. Elsevier BV.

UNSCEAR. (2012). Biological Mechanisms Of Radiation, Actions At Low Doses (pp. 3– 45). NEW.

ZIESSMAN, Harvey A. et al. **MN.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015

Artigo 2 - APLICATIVO PARA ESTIMATIVA DE DOSE EFETIVA DE PROFISSIONAIS DA ENFERMAGEM NÃO IOES EM ASSISTÊNCIA A PACIENTES COM CATETER VESICAL SUBMETIDOS A CINTILOGRAFIA ÓSSEA

PASQUETA, Jéssica; CAMOZZATO, Tatiane S. C; ZOTTIS, Alexandre D'A

RESUMO: Objetivo: criar um aplicativo capaz de estimar a dose efetiva de radiação em profissionais da enfermagem não IOEs, que prestam assistência a pacientes com cateter vesical submetidos a cintilografia óssea. **Método:** a criação do aplicativo se fundamentou na equação de atividade acumulada na bexiga do MIRD 14 e na equação de taxa de exposição. Para a estimativa da dose efetiva, elaborou-se uma linha do tempo, de acordo com a curva de atividade acumulada em relação ao tempo após administração da atividade no paciente. O aplicativo possui valores fixos de Γ e de atividade da fonte relacionada com a curva construída anteriormente e valores pré-determinados de tempo de exposição por procedimento. Os dados de distância da fonte serão inseridos levando em consideração os processos de trabalho diários. Os dados relacionados de dose efetiva diária de cada profissional serão armazenados no banco de dados e gerará relatórios de dose efetiva diária, mensal e anual. **Resultados:** o aplicativo apresentou relatório de dose efetiva por profissional, mostrando valores de dose recebida por assistência, bem como a somatória das doses ao longo de um período solicitado. **Conclusão:** O aplicativo se mostrou eficaz em estimar a dosimetria de radiação em profissionais da enfermagem não-IOEs, que acompanham pacientes portadores de bolsa coletora de urina ao setor de MN para realização de cintilografia óssea.

Descritores: Dose de Radiação. MN. Profissional de Enfermagem. Exposição à Radiação. Cateterismo Vesical.

ABSTRACT: Objective: To develop a application capable of estimating and reporting the effective dose of nursing professionals in direct care to patients with bladder catheterization submitted to bone scintigraphy. **Method:** The application was designed based on the MIRD 14 accumulated bladder activity equation and the exposure rate equation. To estimate the effective dose, a timeline was created according to the created cumulative activity curve versus time after administration of the patient activity. The app has fixed values of Γ and font activity related to the plotted curve obtained earlier. The distance and dwell time data from the source will be entered taking into account daily work processes. The related daily effective dose data for each professional will be stored in the bank and will generate monthly and annual effective dose reports. **Results:** The application presented effective dose report by professional, showing dose values received by care, as well as the sum of the doses over a requested period. **Conclusion:** Studies that present professional dosimetry from the exposure of a bladder catheterization bag are not yet found in the literature. Therefore, the estimate of the effective dose aims to show to the non-IOE professional that the follow-up of patients to the Nuclear Medicine sector is safe. provided that some relevant radiological protection factors are respected.

Keywords: Radiation Dose. Nuclear medicine. Health Personnel. Radiation Exposure. Catheterization

INTRODUÇÃO

A Medicina nuclear (MN) é uma área da medicina com fins diagnósticos e terapêuticos, que utiliza uma substância química, chamada de fármaco, que é marcado com determinado isótopo radioativo, normalmente de meia-vida física curta. Esses compostos, denominados de radiofármacos, são administrados ao paciente por via oral, injetável ou inalatória.

O radionuclídeo mais utilizado em procedimentos de MN convencional é o tecnécio 99 metaestável (^{99m}Tc) que ao ser administrado ao paciente tem como principal via de excreção os rins. Em pacientes com função renal normal estima-se que, 50% a 60% de sua atividade injetada pode ser excretada pela urina em 24 horas (EJEH et al., 2014).

Em pacientes diagnosticados com câncer de próstata é comum realizar procedimento de cintilografia óssea para detecção de metástases ósseas, uma vez que um sinal de que o câncer de próstata está em grau de estadiamento clinicamente avançado é o envolvimento osteoesclerótico do esqueleto axial (CLARK e TORTI, 2003).

O radiofármaco utilizado para esse tipo de procedimento é o MDP-^{99m}Tc e sua estimativa farmacocinética, isto é, seu processo de metabolização até a eliminação é de quatro horas após a sua administração ao paciente, na qual 60% da quantidade injetada é fixada no esqueleto, 34% é excretada via renal e 6% permanece na circulação sanguínea (EANM, 2016).

Alguns pacientes com câncer de próstata com indicação de cintilografia óssea se encontram hospitalizados. Além disso, pacientes com alteração em sua função urinária e que necessitam de cateterismo urinário representam cerca de 10% dos pacientes hospitalizados (QUEIRÓS et al., 2011).

Diferentemente dos profissionais atuantes em serviços de MN, que utilizam de rotina o dosímetro, os profissionais da saúde de setores de internação não são considerados indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs), uma vez que não estão sujeitos a exposição ocupacional.

No entanto, considerando que a principal eliminação do radiofármaco ocorre de forma renal, a bolsa coletora do cateterismo vesical de pacientes submetidos a

cintilografia óssea se torna fonte radioativa, causando exposição e risco de contaminação radioativa para a equipe de enfermagem.

A presente pesquisa visa identificar se, um aplicativo que estima a dose efetiva em profissionais da saúde não IOEs, pode contribuir para garantia de sua proteção radiológica.

Neste sentido, foi desenvolvido e testado um aplicativo que indique a estimativa da dose efetiva em profissionais da saúde como consequência da exposição da bolsa coletora de cateterismo vesical de pacientes submetidos a cintilografia óssea.

METODOLOGIA

O presente estudo foi delineado como prospectivo, transversal e quantitativo.

No método quantitativo o pesquisador define claramente suas hipóteses e variáveis, usando-as para obter uma aferição precisa dos resultados quantificáveis obtidos (KIRK; MILLER, 1986).

A metodologia foi desenvolvida em duas etapas: i) cálculo de estimativa de atividade de radiofármaco acumulada na bolsa coletora do cateterismo vesical; e ii) criação de aplicativo para estimar a dose efetiva anual de cada profissional.

Na primeira etapa, a atividade acumulada na bexiga e a taxa de excreção do radiofármaco MDP-^{99m}Tc foi determinada de acordo com o método *MIRD Pamphlet n. 14: A dynamic urinary bladder model for radiation dose calculations,* uma vez que todo volume que chega à bexiga é imediatamente eliminado quando se faz uso de cateterismo vesical podendo, assim, considerar o mesmo volume acumulado na bolsa coletora.

A equação 2 do MIRD 14 foi adaptada para calcular a atividade acumulada na bolsa coletora. (Equação 1)

$$A(t) = A_o e^{-\lambda t} \sum_{j=1}^{m} \alpha_j (1 - e^{-\lambda_j t}) \qquad \text{(Equação 1)}$$

A Tabela 1 apresenta os parâmetros físicos e biológicos do radiofármaco MDP-^{99m}Tc utilizados para a estimativa da atividade acumulada, onde A_0 é a

atividade inicial administrada ao paciente, λ é a meia vida física do radiofármaco, as frações α_j são os coeficientes biológicos que representam a fração de atividade administrada que chega na bexiga e λ_j são as constantes da taxa biológica que chega na bexiga, considerando os três estados de hidratação do paciente.

Tabela 1. Parâmetros físicos e biológicos do radiofármaco MDP-^{99m}Tc

Parâmetro físico	**Parâmetros biológicos**	
λ (min^{-1})	*Fração α_j*	*Constante de taxa λ_j (min^{-1})*
1,92 x 10^{-3}	-0,115	5,42 x 10^{-2}
	0,566	1,06 x 10^{-2}
	0,549	5,07 x 10^{-4}

Fonte: adaptada de MIRD 14.

O modelo de simulação apresenta taxa de eliminação urinária estimada de 1,39 mL/min, considerando os tempos de hidratação e média de 1500 mL durante o dia, excluindo as seis horas de intervalo noturno.

A curva de atividade acumulada por tempo foi construída considerando a atividade inicial, ou seja, a atividade administrada ao paciente de 25 mCi, segundo protocolos brasileiros e europeus de cintilografia óssea, que recomendam doses de 20 a 30 mCi, considerando 0,36 mCi/kg e paciente padrão de 70 kg (SBMN, 2019).

Também se considerou o esvaziamento da bolsa coletora após 180 min da administração da atividade, uma vez que a recomendação é que a bolsa coletora seja esvaziada imediatamente antes da aquisição da imagem, após três horas da administração do radiofármaco.

Utilizando-se a curva de atividade eliminada em relação ao tempo, a dose efetiva de cada profissional pôde ser estimada considerando a taxa de dose, a distância entre o profissional e a fonte e o tempo de permanência.

Portanto, a equação 2 foi utilizada para a criação do aplicativo.

$$x = \frac{\Gamma.A.t}{d^2} \qquad \text{(Equação 2)}$$

onde X é a taxa de exposição (em R/h), Γ é o coeficiente de emissão gama, que para o tecnécio 99 metaestável vale 0,12 R.m²/h.Ci, A é a atividade da fonte (em Ci), t é o tempo de exposição (em horas) e d é a distância entre a fonte e o indivíduo exposto (TAUHATA et al., 2014).

Para estimar a dose efetiva mensal e anual de cada profissional, o aplicativo foi construído com valores fixos de Γ e de A, possibilitando a inserção de horário de administração da dose no paciente e valores variáveis de tempo de exposição e distância da fonte em tempos variados após a administração do radiofármaco no paciente, a fim de relacionar a atividade eliminada do radiofármaco com o tempo de eliminação e sua respectiva exposição.

As taxas de doses estimadas foram calculadas a partir de integração ponto a ponto, considerando os valores de atividade acumulada na urina em cada momento após a administração da dose.

O aplicativo possui um banco de dados capaz de armazenar os valores de doses efetivas diárias e apresentar relatórios de doses efetivas mensais e anuais específicas de cada profissional cadastrado.

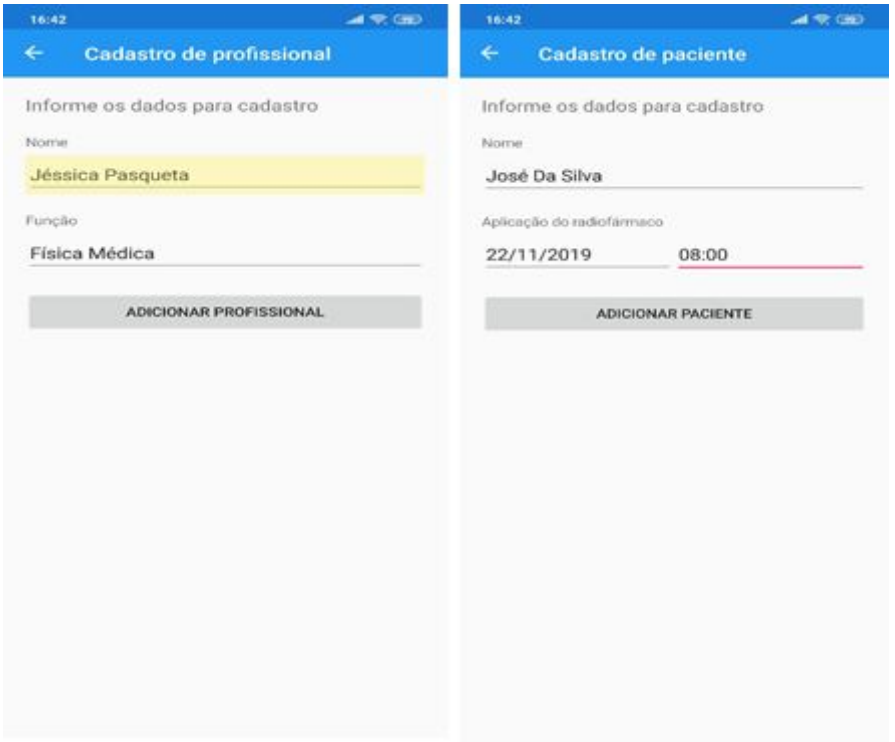
RESULTADOS

O aplicativo foi construído inicialmente para sistema Android com posterior inserção no sistema IOS em trabalhos futuros.

As telas de visualização e inserção de dados são apresentadas a seguir.

Figura 1. Tela inicial de opções do aplicativo

Figura 2. Telas de cadastros de pacientes e profissionais (dados fictícios)

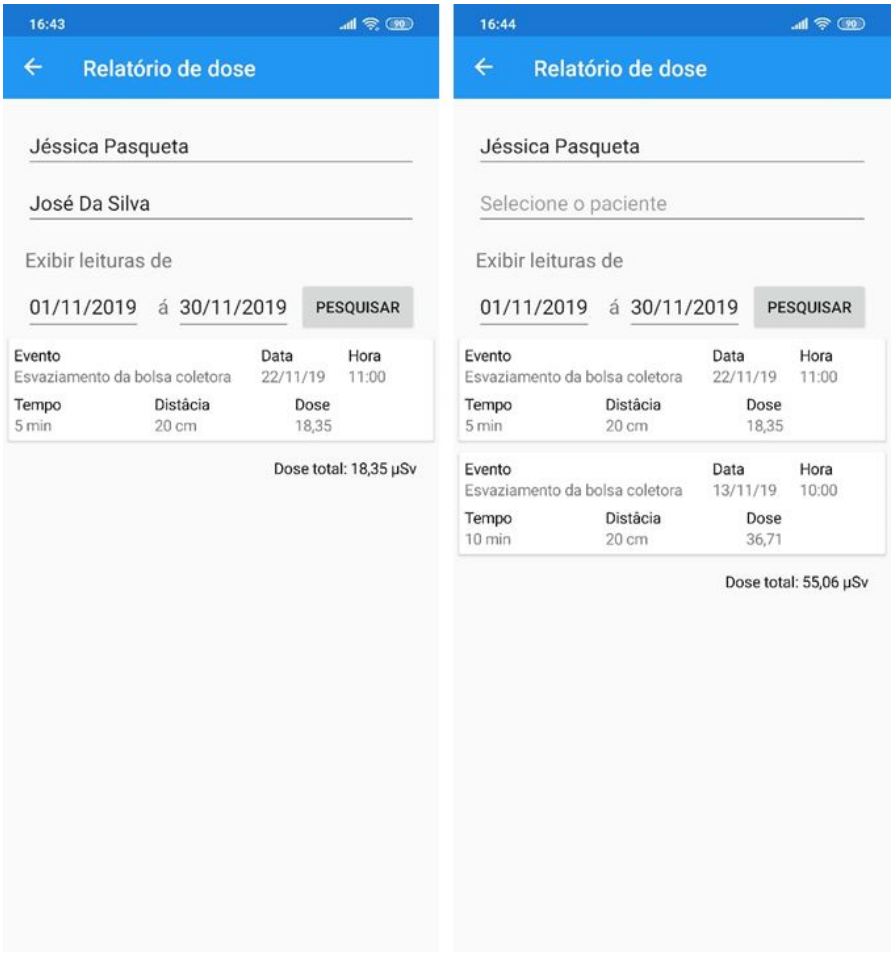


A estimativa de dose efetiva em cada profissional é determinada por meio da seleção do profissional e do paciente previamente cadastrados, inserção do horário que foi administrada a dose e realizadas as exposições após a administração e de quanto tempo o profissional ficou em contato com a bolsa coletora, incluindo o possível procedimento realizado (Figura 3).

Figura 3. Tela de inserção de dados de exposição

O aplicativo apresenta um relatório de dose do profissional por paciente assistido contendo os eventos e suas respectivas doses individuais, além de relatório de dose efetiva total ao longo de um período selecionado, de acordo com os exemplos da Figura 4.

Figura 4. Exemplos de relatórios de dose efetiva



DISCUSSÃO

Pacientes hospitalizados, que fazem uso de cateter vesical e realizam procedimentos de MN, em sua maioria, têm diagnóstico de câncer de próstata e realizam cintilografia óssea para detecção de metástases (QUEIRÓS et al., 2011).

Esses pacientes são acompanhados ao setor de MN pelo profissional da enfermagem do setor de internação, que não é considerado indivíduo ocupacionalmente exposto, visto que não realiza seu trabalho em ambiente com radiação ionizante. Porém, durante o procedimento diagnóstico, o profissional é exposto à radiação gama, principalmente no momento de esvaziamento da bolsa coletora, realizado anteriormente à aquisição da imagem.

Como esses profissionais não têm sua dosimetria controlada, o aplicativo possibilita a estimativa da dose recebida (durante uma ou várias exposições), a fim

de apresentar valores para conhecimento do profissional e alertá-lo para que adote medidas de proteção radiológica, garantindo que as doses efetivas se mantenham abaixo do limite preconizado pela legislação de 1 mSv/ano para público (CNEN, 3.01).

De acordo com o protocolo de cintilografia óssea que recomenda esvaziar a bolsa coletora imediatamente antes da aquisição da imagem (SBMN.org.br), e considerando que o profissional fique, no mínimo cinco e no máximo, dez minutos para realizar o procedimento de esvaziamento à uma distância de 20 centímetros (sendo variáveis os valores de distância e tempo de permanência), o aplicativo estima que o profissional receba entre 18,15 e 36,3 μSv. Considerando cinco e dez minutos de exposição, nesse momento de maior exposição à radiação gama do ^{99m}Tc, além de doses mínimas em exposições após o esvaziamento ou exposições recorrentes a assistências realizadas entre a administração da dose e a aquisição da imagem (medicação, auxílio de locomoção, entre outros). Nessa situação, se o profissional seguir medidas de proteção radiológica estabelecidas para acompanhantes, estima-se com os resultados simulados, que poderá assistir a média de 41 e / ou 205 pacientes/ano sem atingir os limites anuais de público (1 mSv) e de acompanhante (5 mSv), respectivamente.

O emprego do aplicativo vai de encontro aos resultados encontrados em nossa pesquisa “Taxa de exposição da bolsa coletora de cateterismo vesical de pacientes submetidos a cintilografia óssea”, que mostrou ser máxima a atividade acumulada na bolsa coletora de urina e, consequentemente, máxima a taxa de dose no momento do esvaziamento da bolsa para a aquisição da imagem. Portanto, além da exposição à radiação, deve-se considerar um risco considerável principalmente de contaminação por radiação ionizante do profissional da saúde que realiza o procedimento e que, por desinformação ou falta de equipamento adequado, não adota medidas de proteção radiológica (PASQUETA et al., 2019).

CONCLUSÃO

Não foram encontrados na literatura estudos que apresentem dosimetria de profissionais da enfermagem não IOEs, a partir da exposição de bolsa coletora de

urina. O aplicativo se mostrou eficaz em estimar a dosimetria de radiação desses profissionais, quando acompanharem pacientes portadores de bolsa coletora de urina ao setor de MN para realização de cintilografia óssea.

Além disso, o aplicativo permite prever o limite máximo de pacientes e/ou tempo de exposição à radiação em assistência a esses pacientes, garantindo que o profissional não receba dose efetiva anual superior ao limite preconizado por lei.

A pesquisa possibilita sua continuidade para futuros trabalhos, que poderão utilizar a inserção de dados dos profissionais salvos no aplicativo para validação do mesmo, além da inserção do aplicativo em plataforma IOS e expansão de banco de dados para outros procedimentos de MN.

REFERÊNCIAS

BAMBARA, Luc T. et al. Estimation of kidney and bladder radionuclide activity for patients undergoing bone scan. **Journal Of Radiation Research And Applied Sciences**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.317-322, jul. 2015.

CLARK, Peter E.; TORTI, Frank M.. Prostate Cancer and Bone Metastases: Medical Treatment. **Clinical Orthopaedics And Related Research**, [s.l.], v. 415, p.148-157, out. 2003. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health).

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. 2014.

EJEH, John Enyi et al. Radiation Levels from Toilets Used By Patients Injected with 99mTc-based Radiopharmaceuticals in Ibadan. **Malecular Imaging And Radionuclide Therapy**, [s.l.], v. 22, n. 2, p.60-63, 5 jun. 2014. Galenos Yayinevi.

KIRK, J.; MILLER, M. L. Reliability and validity in qualitative research. London: Sage, 1986.

MARQUES, Fabio Luiz Navarro; OKAMOTO, Miriam Roseli Yoshie; BUCHPIGUEL, Carlos Alberto. Alguns aspectos sobre geradores e radiofármacos de tecnécio-99m e seus controles de qualidade. **Radiologia Brasileira**, [s.l.], v. 34, n. 4, p.233-239, ago. 2001.

MIRD Pamphlet No. 14 revised: A dynamic urinary bladder model for radiation dose calculations. Task Group of the MIRD Committee, Society of Nuclear Medicine. 1999

QUEIRÓS, Maria Iranilda et al. Infecções urinárias e uso de cateter vesical de demora em unidade pediátrica. **Revista da Rede de Enfermagem do Nordeste**, Fortaleza, v. 12, n. 2, p.295-301, jun. 2011.

SBMN, Sociedade Brasileira de MN. **Guideline para Cintilografia Óssea e Cintilografia Óssea Trifásica.** Disponível em:

<http://sbmn.org.br/wp-content/uploads/2018/08/Guideline-de-Cintilografia-%C3%93ssea.pdf>. Acesso em: 15 out. 2019.

TAUHATA, Luiz et al. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** Rio de Janeiro: Ird/cnen, 2014.

ZIESSMAN, Harvey A. et al. **MN.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015

7 REFERÊNCIAS

ABREU, Benedita Andrade Leal de et al. Cintilografia óssea no câncer de próstata. **Radiologia Brasileira**, [s.l.], v. 38, n. 5, p.365-369, set. 2005. FapUNIFESP (SciELO)

ALKHORAYEF, M. et al. Staff and ambient radiation dose resulting from therapeutic nuclear medicine procedures. **Applied Radiation And Isotopes**, [s.l.], v. 141, p.270-274, nov. 2018. Elsevier BV.

AQUINO, K. A. S e Aquino, F. S. Radioatividade e Meio Ambiente: os átomos instáveis da natureza. 144p, Coleção Química no Cotidiano, v.8. Sociedade Brasileira de Química. 2012

BAHIA. Secretaria da Saúde. Superintendência de Vigilância e Proteção da Saúde. Diretoria de Vigilância e Controle Sanitário. BRASIL. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Ciências da Saúde. **Manual de Biossegurança**. Salvador. 2001.

BAMBARA, Luc T. et al. Estimation of kidney and bladder radionuclide activity for patients undergoing bone scan. **Journal Of Radiation Research And Applied Sciences**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.317-322, jul. 2015.

BRITO, Ana Paula de; GUIRARDELLO, Edinêis de Brito. Nursing workload in an inpatient unit. **Revista Latino-americana de Enfermagem**, [s.l.], v. 19, n. 5, p.1139-1145, out. 2011. FapUNIFESP (SciELO).

CARDOSO, Eliezer de Moura. **Apostila Educativa: Radioatividade.** Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2010.

CASTRONOVO, Frank P. Jr. A Mathematical Method for Determining Radiation Exposures Surrounding Technetium-99m-MDP Patients. **Journal of Nuclear Medicine Technology**, 21: 224-230. 1993.

CLARK, Peter E.; TORTI, Frank M.. Prostate Cancer and Bone Metastases: Medical Treatment. **Clinical Orthopaedics And Related Research**, [s.l.], v. 415, p.148-157, out. 2003. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health).

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. 2014.

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma 3.05 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de MN. 2013.

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Programa de Política Nuclear 2016-2019. 2016

COSTA, Alessandro Martins da; CALDAS, Linda V.E.. Intercomparação e calibração de medidores de atividade utilizados em serviços de MN. Radiol Bras, São Paulo , v. 36, n. 5, p. 293-297, Oct. 2003

DA SILVA Jr, S. D. e Costa, F. J. Mensuração e escalas de verificação: uma análise comparativa das escalas de Likert e Phrase Completion. PMKT – Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia. V. 15, p. 1-16, 2014.

DIEBOLD, Eduardo. **Monitoramento de área e superfície em um setor de MN.** 2017. 18 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.

ERCOLE, Flávia Falci et al. Integrative review: evidences on the practice of intermittent/indwelling urinary catheterization. **Revista Latino-americana de Enfermagem**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.459-468, fev. 2013. FapUNIFESP (SciELO).

EJEH, John Enyi et al. Radiation Levels from Toilets Used By Patients Injected with 99mTc-based Radiopharmaceuticals in Ibadan. **Malecular Imaging And Radionuclide Therapy**, [s.l.], v. 22, n. 2, p.60-63, 5 jun. 2014. Galenos Yayinevi.

FREITAS, Genival Fernandes de; FUGULIN, Fernanda Maria Togeiro; FERNANDES, Maria de Fátima Prado. A regulação das relações de trabalho e o gerenciamento de recursos humanos em enfermagem. **Revista da Escola de Enfermagem da Usp**, [s.l.], v. 40, n. 3, p.434-438, set. 2006.

GOMEZ-PALACIOS, M et al. Radiation Doses in the Surroundings of Patients Undergoing Nuclear Medicine Diagnostic Studies. **The Radiation Safety Journal**, Sevilla, v. 89, n. 2, p.27-34, ago. 2005.

GOULD, Carolyn V. et al. Guideline for Prevention of Catheter-Associated Urinary Tract Infections 2009. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, [s.l.], v. 31, n. 4, p.319-326, abr. 2010. Cambridge University Press (CUP).

IAEA, I. A. E. A. (2006). Nuclear Medicine Resources Manual (pp. 1–544). Vienna: IEAE WYNGAERT, T. van Den et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. **European Journal Of Nuclear Medicine And Molecular Imaging**, [s.l.], v. 43, n. 9, p.1723-1738, 4 jun. 2016. Springer Nature.

IRION, João Eduardo. Cintilografia óssea com 99mTc-MDP - Fundamentos da interpretação. 1ªed. Rio de Janeiro, Revinter - 2016.

KIRK, J.; MILLER, M. L. Reliability and validity in qualitative research. London: Sage, 1986.

LNMRI, Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. **Grandezas e Unidades para Radiação Ionizante.** Rio de Janeiro: ABFM, 2011.

MACHADO, Marcos A.D., et al. Revisão: Radioproteção aplicada a MN. **Revista Brasileira de Física Médica**. v.4, n.3, p. 47-52, 2011.

MARQUES, Fabio Luiz Navarro; OKAMOTO, Miriam Roseli Yoshie; BUCHPIGUEL, Carlos Alberto. Alguns aspectos sobre geradores e radiofármacos de tecnécio-99m e seus controles de qualidade. **Radiologia Brasileira**, [s.l.], v. 34, n. 4, p.233-239, ago. 2001.

MAZZO, Alessandra; BARDIVIA, Carolina Beltreschi; JORGE, Beatriz Maria; *et al.* Cateterismo urinário de demora: prática clínica. *Enfermería Global*, Murcia, v. 14, n. 38, p. 60-68, 2015.

MEOHAS, Walter et al. Bone metastases: literature review. **Revista Brasileira de Cancerologia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 51, p.43-47, jan. 2005.

MONTEIRO, I. H. T. S. Determinação das taxas de dose ambientais e ocupacionais de radiação gama, em consequência da presença do RDS-11 e do depósito de rejeitos radioativos no IEN/CNEN. 2005

MURPHY, Consuelo Arteaga de et al. Radiopharmacokinetic data for 99mTc-ABP—A new radiopharmaceutical for bone scanning: Comparison with 99mTc-MDP. **Nuclear Medicine And Biology**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.27-33, jan. 1997. Elsevier BV.

Napoleão AA, Caldato VG, Petrilli Filho JF. Diagnósticos de enfermagem para o planejamento da alta de homens prostatectomizados: um estudo preliminar. **Rev. Eletr. Enf.** [Internet]. 2009;11(2):286-94

OLIVEIRA, Rita et al. Preparações radiofarmacêuticas e suas aplicações. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, [s.l.], v. 42, n. 2, p.151-165, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO).

PASCHOAL, Mayara Renata Duarte; BOMFIM, Fernando Russo Costa. Infecção do trato urinário por cateter vesical de demora. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 16, n. 6, p.213-226, maio 2014.

PEDUZZI, Marina; ANSELMI, Maria Luiza. THE NURSING WORK PROCESS: THE SEPARATION BETWEEN PLANNING AND CARE DELIVERY. **Revista Brasileira de Enfermagem**, [s.l.], v. 55, n. 4, p.392-398, 2002. GN1 Genesis Network.

PIRES, D. Hegemonia médica na saúde e a Enfermagem. São Paulo: Cortez, 2008.

PUJATTI, Priscilla Brunelli et al. Construção de um conjunto de indicadores de desempenho aplicados a uma radiofarmácia hospitalar. cep, v. 20230, p. 130, 2015.

QUEIRÓS, Maria Iranilda et al. Infecções urinárias e uso de cateter vesical de demora em unidade pediátrica. **Revista da Rede de Enfermagem do Nordeste**, Fortaleza, v. 12, n. 2, p.295-301, jun. 2011.

TERINI, Ricardo A.; MACHADO, Ana Carolina B.. **Uma introdução à física médica: da antiguidade aos tempos atuais.**São Paulo: Livraria da Física, 2017.

SAHA, G. B. Fundamentals of Nuclear Pharmacy. 6 ed., New York: Springer, 2010.

SBMN, Sociedade Brasileira de MN. **Guideline para Cintilografia Óssea e Cintilografia Óssea Trifásica.** Disponível em: <http://sbmn.org.br/wp-content/uploads/2018/08/Guideline-de-Cintilografia-%C3%93ssea.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2019.

SBMN, Sociedade Brasileira de MN. **Para que serve a MN?** Disponível em: <http://sbmn.org.br/comunicacao/conheca-a-medicina-nuclear/>. Acesso em: 30 jul. 2019.

THOMAS, SR, Stabin MG, Chen C, et al: MIRD pamphlet no.14 revised: A dynamic urinary bladder model for radiation dosimetry calculations. J Nucl Med 40:102S-123S, 1999 (suppl)

TAUHATA, Luiz et al. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** Rio de Janeiro: Ird/cnen, 2014.

THOMSEN, Karsten et al. Determination of bone turnover by urinary excretion of 99mTc-MDP. **European Journal Of Nuclear Medicine**, [s.l.], v. 12, n. 7, p.342-345, out. 1986. Springer Nature.

UNSCEAR. (2012). Biological Mechanisms Of Radiation, Actions At Low Doses (pp. 3– 45). NEW.

ZIESSMAN, Harvey A. et al. **Medicina Nuclear.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015

WYNGAERT, T. van Den et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. **European Journal Of Nuclear Medicine And Molecular Imaging**, [s.l.], v. 43, n. 9, p.1723-1738, 4 jun. 2016. Springer Science and Business Media LLC.

ANEXOS

ANEXO 1 - Certificado de Calibração do detector de Radiação do tipo Geiger Müller

METROBRAS

METROBRAS METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES LTDA.
CENTRO DE ENSAIOS E PESQUISAS EM METROLOGIA
www.metrobras.com.br calibracao@metrobras.com.br

LABORATÓRIO AUTORIZADO PELO COMITÊ DE AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE ENSAIO E CALIBRAÇÃO - CASEC/IRD/CNEN
AUTORIZAÇÃO Nº 006/2008 DE 20 - 10 - 2008, RENOVADA EM 27-12-2018 pelo oficio Nº 35a/2018.

CÓPIA CONTROLADA	01	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO	19 - 1704
DATA DE EMISSÃO :	01 de julho de 2019	DATA DE CALIBRAÇÃO :	28 de junho de 2019

1 - INSTITUIÇÃO TITULAR DO INSTRUMENTO **CNPJ/CPF :** 82.602.327/0003-60

UNIMED DE JOINVILLE COOPERATIVA DE TRABALHO MEDICO
CENTRO HOSPITALAR UNIMED
R ORESTES GUIMARAES, 905
AMERICA - 89204-060
JOINVILLE - SC

2 - ESPECIFICAÇÕES DO INSTRUMENTO - Os dados do instrumento estão na tabela 1.

Tabela 1 - Dados do instrumento NC - não consta

	INSTRUMENTO	SONDAS			
		DE ÁREA		DE CONTAMINAÇÃO	
		EXTERNA	INTERNA	EXTERNA	INTERNA
FABRICANTE	THERMO SCIENTIFIC	-	NC	-	NC
MODELO	RADEYE B20	-	NC	-	NC
SÉRIE	31687	-	NC	-	NC
IDENTIFICAÇÃO	024129	-	NC	-	NC

3 - RESULTADOS DOS PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO

O método utilizado foi o de campo de radiação conhecido. Os valores medidos foram comparados com os respectivos Valores Verdadeiros Convencionais VVC.

3.1 - CALIBRAÇÃO PARA ÁREA - Os resultados indicados na tabela 3 referem-se à média liquida **M** de 10 medidas efetuadas para cada **VVC**, fornecido por dosimetria do campo de radiação utilizado, referenciados para 20 °C e 101,325 kPa, conforme procedimento **PQ 020** da METROBRAS.

As incertezas expandidas U_E declaradas foram calculadas de acordo com o ISO GUM - Guia para Expressão da Incerteza da Medição, INMETRO (1998), utilizando-se um fator de abrangência k = 2, referente a um nível de confiança de ~ 95 %.

3.2 - CALIBRAÇÃO PARA CONTAMINAÇÃO - A tabela 4 apresenta, para cada fonte de radiação utilizada:
1 - o valor médio liquido **M** de 10 medidas (descontada a radiação de fundo);
2 - a fluencia de partículas (**VVC**) na sonda do instrumento, oriundas da respectiva fonte;
3 - as eficiências **E** , para radiações de diferentes naturezas e energias, e suas respectivas incertezas expandidas U_E (decorrentes do procedimento de calibração foram calculadas de acordo com o documento ISO GUM - Guia para Expressão da Incerteza de Medição, INMETRO, 1998, adotando-se um nível de confiança de 95 %).

A atividade superficial da contaminação, A_S, é obtida por $A_s = A_{fonte} \cdot E_s = \frac{M}{E \cdot W}$ ($Bq \cdot cm^{-2}$)

M = medida liquida (cps)
E_s = eficiência de emissão (tabela 2)
W = área da sonda - 15,2 (cm^2)
A_{fonte} = atividade da fonte / contaminação

Tabela 2 - Valores da eficiência E_S

EMISSÃO RADIOATIVA	ENERGIA (MeV)	E_S
ALFA	-	0,25
BETA	$0,15 < E_{bmax} < 0,4$	0,25
	$E_{bmax} > 0,4$	0,50

Scanned with CamScanner

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

19 - 1704

Tabela 3 - Resultados do procedimento de calibração, referenciados à radiação gama do Cs-137

FUNDO DE ESCALA		TAXA DE EQUIVALENTE DE DOSE AMBIENTE VVC				MÉDIA DAS MEDIDAS - M		FATOR DE CALIBRAÇÃO	INCERTEZA EXPANDIDA
						ANTES AJUSTE	APÓS / SEM AJUSTE	Fc = VVC / M	U_E (%)
10	µSv/h	2,00	µSv/h	-	-	-	2,10	0,95	6,6
		5,00		-		5,09	5,09	0,98	3,0
		8,00		-		-	7,90	1,01	2,2
100		20,0		-		-	20,1	1,00	3,0
		50,0		-		51,2	51,2	0,98	2,3
		80,0		-		-	81,7	0,98	2,5
1000		200		-		-	214	0,94	2,3
		500		-		520	520	0,96	2,2
		800		-		-	801	1,00	2,2
10	mSv/h	2,00	mSv/h	-	-	-	1,83	1,10	2,3
		-		-		-	-	-	-
		-		-		-	-	-	-

Tabela 4 - Resultados do procedimento de calibração para contaminação, com as fontes planas

FONTE DE RADIAÇÃO	FLUÊNCIA NA SONDA VVC (part / s)	FUNDO DE ESCALA		MEDIDA M	EFICIÊNCIA E = M / VVC	±	INCERTEZA EXPANDIDA U_E	U_E (%)
Am-241	210	100	cps	51,5	**0,245**	±	0,009	3,8
C-14	128	100		15,8	**0,124**	±	0,005	3,7
Cl-36	251	1000		100,9	**0,402**	±	0,016	3,9
Sr-90 + Y-90	393	1000		185	**0,470**	±	0,021	4,4

4 - FONTES DE RADIAÇÃO - as tabelas 5 e 6 apresentam as características das fontes da METROBRAS.

Tabela 5 - Fontes de referência para área

RADIAÇÃO	NUCLÍDEO	FABRICANTE	MODELO	ATIVIDADE ATUAL TBq	Ci
GAMA	^{137}Cs	JL Shepherd	28 - 8A Calibrator	0,335	9,1
	^{60}Co	AECL	Eldorado 8	2,545	68,8

Tabela 6 - Fontes de referência para contaminação

RADIAÇÃO	NUCLÍDEO	ENERGIA MÁXIMA (MeV)	ÁREA ATIVA (cm^2)	TAXA DE EMISSÃO 2π ESTERO - RADIANOS 10^3 (s^{-1})	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO	DATA DE REFERÊNCIA
ALFA	^{241}Am	5,5	100	1,41	018419	16.03.07
BETA	^{14}C	0,156	150	1,26	018417	15.03.07
	^{36}Cl	0,714	100	1,65	017296	01.09.06
	$^{90}Sr+^{90}Y$	0,546 / 2,27	100	3,54	017307	01.09.06

Scanned with CamScanner

5 - RASTREABILIDADE

5.1 - CALIBRAÇÃO PARA ÁREA - A rastreabilidade da grandeza de calibração é estabelecida pela utilização de câmaras de ionização PTW, modelos TN 32002 e TN 30013, séries 309 e 2666 acopladas ao eletrômetro PTW, modelo UNIDOS, série T1005-50423, calibrados pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes - LNMRI / IRD / CNEN (certificados LNMRI 0019/2018 e LNMRI 0018/2018).

5.2 - CALIBRAÇÃO PARA CONTAMINAÇÃO - As fontes de radiações beta e alfa foram calibradas no Deutscher Kalibrierdienst (DKD), rastreado pelo Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

6 - CONDIÇÕES DE CALIBRAÇÃO

6.1 - GEOMETRIA DE CALIBRAÇÃO

a - calibração para área - O eixo longitudinal da sonda foi posicionado perpendicularmente ao eixo central do feixe de radiação. A distância entre os centros geométricos da fonte e da sonda foi considerada como a distância de referência fonte-detetor.

b - calibração para contaminação - A superfície da janela da sonda foi posicionada paralelamente à superfície ativa da fonte, sendo o espaçamento entre elas (3,0 mm) adotado como a distância de referência fonte-detetor.

6.2 - CONDIÇÕES AMBIENTAIS - para cada grandeza são apresentados: Valor Médio ± Metade da Variação

Tabela 7 - Condições ambientais dos procedimentos de calibração

CALIBRAÇÃO	TEMPERATURA (°C)	PRESSÃO (kPa)	UMIDADE (%)
ÁREA	24,95 ± 0,05	95,703 ± 0,000	60,50 ± 0,50
CONTAMINAÇÃO	24,60 ± 0,00	95,700 ± 0,000	62,00 ± 0,00

7 - RECALIBRAÇÃO - Devido às características do instrumento, recomenda-se que o mesmo seja calibrado com a periodicidade estabelecida em normas dos órgãos reguladores das atividades do usuário. Uma recalibração será necessária sempre que ocorrer qualquer dano, alteração e/ou manutenção que possa modificar a resposta do instrumento.

8 - INFORMAÇÕES ADICIONAIS - Na tabela 3, os valores de Taxa de Equivalente de Dose Ambiente, H*(10), foram obtidos multiplicando-se valores fornecidos pela dosimetria do campo de radiação das fontes de Cs-137 e Co-60, em kerma no ar, respectivamente, por 1,20 e 1,16 Sv/Gy, conforme recomenda o SRS-16 da Agência Internacional de Energia Atômica.

9 - OBSERVAÇÕES - O procedimento de calibração para monitoração de área foi realizado com o instrumento utilizando o filtro H*(10), código 42506/8582. O instrumento acusa OVERLOAD quando o visor indica 2 mSv/h que correspondem a um VVC de 2,2 mSv/h. Os alarmes 1 e 2 foram testados, respectivamente, em 0,5 e 25 µSv/h. Seguem parâmetros de calibração (antes ajuste / após ajuste): 1 - constante de calibração: 1,9224 E-01 / 1,9224 E-01; 2 - tempo morto (µs): 1,50687 E+02 / 1,50687 E+02. Os resultados deste Certificado referem-se xclusivamente ao instrumento calibrado, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer outros instrumentos. A reprodução deste Certificado só é permitida em sua totalidade.

Marina A. Pires
Responsável Técnico

Tatiane Zambiasi
Técnico

Scanned with CamScanner

ANEXO 2 - Termo de autorização para realização de pesquisa

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA NO COMPLEXO HOSPITALAR UNIMED - JOINVILLE

Florianópolis, 26 de julho de 2019

Ao

Dr. Ernesto Reggio

Responsável Ensino e Pesquisa

Solicitamos a V. Sa., autorização para realização da simulação no setor de Medicina Nuclear de parte da pesquisa, intitulada "Estimativa de dose efetiva de profissionais da saúde por pacientes submetidos a cintilografia óssea com cateterismo vesical", realizada pela pesquisadora Jéssica Pasqueta (aluna de pós-graduação), sob orientação do Prof. Dr. Alexandre D'Agostini Zottis e co-orientação da Profa. Dra. Tatiane Sabriela Cagol Camozzato.

Trata-se de um projeto de pesquisa de mestrado profissional, o qual pertence ao Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC.

O objetivo do estudo é estimar a exposição ocupacional da equipe de enfermagem não IOE proveniente do ^{99m}Tc da bolsa coletora de cateterismo vesical de pacientes submetidos a cintilografia óssea.

Contando com a autorização desta instituição, coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.

Atenciosamente,

Pesquisadora Principal: Jéssica Pasqueta

Responsável pelo Ensino e Pesquisa do CHU: Dr. Ernesto Reggio