

DOSE DE RADIAÇÃO NAS IMAGENS DE SPECT/CT E PET/CT**RADIATION DOSE IN IN SPECT/CT AND PET/CT IMAGES**Stéphanie Medeiros Cunha¹Leandro Bolognesi²**RESUMO**

Os equipamentos híbridos permitem a aquisição sequencial imediata de imagens de *CT* e *PET* ou *SPECT*, tornando o método ainda mais completo, agregando e localizando as alterações metabólicas com base nas informações anatômicas em um único exame. Apesar dos benefícios dessas técnicas, é necessário cautela em relação à justificativa do exame, pois os sistemas híbridos, inevitavelmente, levam ao aumento na exposição à radiação. Isso ocorre, pois, a dose absorvida num paciente corresponde a soma da dose administrada no radiofármaco com a dose da *CT*. Este trabalho de revisão teve como objetivo abordar a exposição à radiação devido à administração do radiofármaco e à tomografia computadorizada de pacientes submetidos aos exames de imagens híbridas de *PET/CT* e *SPECT/CT*, bem como enfatizar as formas práticas de reduzir a dose de radiação para esses pacientes. A dose de radiação deve ser otimizada para que o paciente receba a menor quantidade de radiação que ainda forneça a informação diagnóstica apropriada. Há algumas medidas tanto na fase de planejamento quanto durante a execução e aquisição das imagens, como a justificação individual e geral do exame, aderência aos níveis de referência em diagnóstico, escolha correta do radiofármaco, hidratação do paciente e esvaziamento da bexiga. Em relação aos equipamentos, há colimadores e detectores atuais que são mais sensíveis e sistemas com algoritmos de reconstrução apropriados.

Palavras-chave: Dose. Imagem Híbrida. PET. SPECT.

ABSTRACT

Hybrid equipments allow the immediate sequential acquisition of *CT* and *PET* or *SPECT* images, making the method even more complete, adding and finding metabolic alterations based on anatomical information in a single examination. Despite the benefits of these techniques, caution is necessary regarding the justification of the exam, for hybrid systems, inevitably, lead to an increase exposure to radiation. This is so because the absorbed dose in a patient corresponds to the sum of the dose administered in the radiopharmaceutical with *CT* dose. This paper aims to approach the radiation exposure due to the radiopharmaceutical administered and the computed tomography of patients submitted to the hybrid-imaging exam of *PET/CT* and *SPECT/CT*, as well as to emphasize the practical ways of reducing the radiation dose for these patients. The radiation dose should be optimized so that the patient receives the least amount of radiation that still provides the appropriate diagnostic information. There are some measures both in the planning phase and during the execution and acquisition of the images, such as the individual and general justification of the examination, adherence to diagnostic reference levels, correct radiopharmaceutical choice, patient hydration and bladder emptying. Regarding equipments, there are current collimators and detectors that are more sensitive and systems with appropriate reconstruction algorithms.

Keywords: Dose. Hybrid Imaging. PET. SPECT.

¹Graduada do Curso de Tecnologia em Radiologia pela Faculdade de Tecnologia de Botucatu. Av. José Italo Bacchi, s/n – Jardim Aeroporto – Botucatu/SP – CEP 18606-855. Tel. (14) 3814-3004. E-mail: stephaniemedeiros96@gmail.com

²Docente da Faculdade de Tecnologia de Botucatu

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (2021), há cerca de 464 serviços de medicina nuclear no Brasil distribuídos em clínicas e hospitais de diversos locais do País. Há uma alta demanda por este tipo de serviço, com uma taxa de crescimento em torno de 10% ao ano. Em 2008, a quantidade de exames realizados foi de 310.209 e, em 2020, chegou aos 5.169.588, revelando um aumento exacerbado nos procedimentos nesse período (DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DOS SUS, 2021).

A CNEN, principal fornecedora de radiofármacos para os exames, possibilita a realização de aproximadamente 2 milhões de procedimentos médicos por ano (equivalente à 469 Ci/semana), em cardiologia e oncologia principalmente, sendo 70% destes exames cobertos pelo Serviço Único de Saúde (SUS). Ainda assim, a utilização *per capita* de exames de medicina nuclear no Brasil é 2,5 vezes menor do que na Argentina e 6 vezes menor do que nos EUA (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017).

De acordo com o Conselho Nacional de Proteção e Medidas de Radiação dos EUA (*National Council on Radiation Protection and Measurements - NCRP*), os procedimentos de medicina nuclear aumentaram de 6,3 milhões em 1984 para 18 milhões em 2006. Isso levou a um aumento na dose de radiação anual *per capita* para a população devido aos procedimentos de medicina nuclear de 0,14 mSv em 1982 para 0,8 mSv em 2006 (NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, 2009).

A maior parte desse rápido crescimento se deve à difusão de procedimentos de imagem híbrida, como a tomografia computadorizada de emissão de fóton único/tomografia computadorizada (*single-photon emission computed tomography/computed tomography - SPECT/CT*) e a tomografia por emissão de pósitrons/tomografia computadorizada (*positron emission tomography/computed tomography - PET/CT*) que fornecem informações funcionais e anatômicas relevantes. Esses sistemas híbridos apresentam alta sensibilidade, especificidade e maior precisão na localização dos achados cintilográficos (BUCK et al., 2008).

Os equipamentos híbridos permitem a aquisição sequencial imediata de imagens de *CT* e *PET* ou *SPECT*, tornando o método ainda mais completo, agregando e localizando as alterações metabólicas com base nas informações anatômicas em um único exame. A imagem híbrida é utilizada em diversas aplicações clínicas, especialmente em oncologia, pois permite uma melhor localização da doença, sua caracterização antes e após a terapia, um delineamento preciso para biópsia e planejamento terapêutico, bem como a detecção das lesões clinicamente

mais relevantes. A partir de sua introdução inicial, os sistemas híbridos apresentaram uma rápida difusão (PATTON et al., 2009).

Apesar dos benefícios dessas técnicas, é necessário cautela em relação à justificativa do exame, pois os sistemas híbridos, inevitavelmente, levam ao aumento na exposição à radiação, visto que a dose de radiação para pacientes submetidos aos exames híbridos é a soma da dose devido ao radiofármaco administrado e a dose do componente *CT* do estudo. Dessa forma, a dose de radiação deve ser otimizada para que o paciente receba a menor quantidade de radiação que ainda forneça a informação diagnóstica apropriada (BRIX et al., 2014).

Portanto, este trabalho de revisão tem como objetivo abordar a exposição à radiação devido à administração do radiofármaco e à tomografia computadorizada de pacientes submetidos aos exames de imagens híbridas de *PET/CT* e *SPECT/CT*, bem como enfatizar as formas práticas de reduzir a dose de radiação para esses pacientes.

2. DESENVOLVIMENTO DO ASSUNTO

2.1 Medicina Nuclear

Os exames cintilográficos possibilitam o estudo de anomalias metabólicas e funcionais. São utilizadas pequenas quantidades de substâncias radioativas, denominadas radiofármacos ou radiotraçadores, para fins de diagnóstico ou terapia, e quando introduzidas no corpo, produzem emissões que serão captadas externamente por uma gama-câmara, produzindo imagens com informações do órgão a ser estudado, de acordo com a concentração e distribuição do radiofármaco no organismo (CARDOSO et al., 2012).

Os radiofármacos são compostos por um radionuclídeo que emite radiação e o fármaco responsável pela biodistribuição do radiotraçador. Sua captação por órgãos e tecidos específicos permite o diagnóstico de doenças relacionadas principalmente ao miocárdio, ossos, pulmões, glândulas salivares, tireoide e rins. (ROBILOTTA, 2006).

Nesta especialidade médica, são fornecidas informações sobre os processos fisiológicos, permitindo uma caracterização funcional e metabólica dos tecidos. No entanto, a imagem demonstra uma baixa resolução espacial e anatomia limitada. Apesar disso, os exames cintilográficos são excelentes para o diagnóstico precoce de doenças, pois as alterações funcionais e metabólicas em órgãos e tecidos podem ser detectadas mesmo antes que alterações anatômicas se manifestem (SIMAL, 2011).

O Quadro 1 traz os principais radiofármacos empregados na medicina nuclear e suas aplicações clínicas.

Quadro 1. Principais radiofármacos e aplicações clínicas.

RADIOFÁRMACO	INDICAÇÃO
^{99m} Tc-Difosfonado (MDP)	Cintilografia óssea
^{99m} Tc-DMSA	Cintilografia renal quantitativa para pesquisa de cicatriz renal
^{99m} Tc-DTPA	Cintilografia renal dinâmica para avaliação da função renal
^{99m} Tc-MAA	Cintilografia de perfusão pulmonar
^{99m} Tc-Coloides	Cintilografia de trânsito esofágico e de refluxo gastresofágico
^{99m} Tc-SESTAMIBI	Cintilografia de perfusão do miocárdio, cintilografia de mamas e de paratireoides
^{99m} Tc-ECD	Cintilografia de perfusão cerebral

Fonte: Adaptado de Oliveira et al., 2006.

Os radionuclídeos usados em medicina nuclear para diagnóstico e terapia são produzidos artificialmente em reatores ou ciclotrons. Podem, ainda, ser obtidos através de geradores de radionuclídeos. Os principais são: tecnécio-99m (^{99m}Tc), gálio-68 (⁶⁸Ga), iodo-131 (¹³¹I), molibdênio-99 (⁹⁹Mo), samário-153 (¹⁵³Sm), gálio-67 (⁶⁷Ga), iodo-123 (¹²³I), flúor-18 (¹⁸F), tálio-201 (²⁰¹Tl) e índio-111 (¹¹¹In) (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

Com o déficit na qualidade em relação às informações anatômicas, para Costa et al. (2001), houve a necessidade de aperfeiçoamento das técnicas e desenvolvimento de novas estratégias clínicas e terapêuticas, possibilitando assim a criação de uma nova modalidade de imagem na medicina nuclear, conhecida como imagens híbridas.

2.2 Imagens Híbridas

Os sistemas híbridos são classificados em 3 tipos: *PET/CT*, *SPECT/CT* e *PET/MR* (*Positron Emission Tomography/Magnetic Resonance*), os quais são amplamente utilizados nos serviços de medicina nuclear (MANNHEIM, 2018).

Para a fusão das imagens híbridas, é necessário precisão, pois as estruturas equivalentes devem estar alinhadas para não ocorrer erros durante o processamento e na correlação dos elementos anatômicos e funcionais (SCHILLACI, 2004).

O *SPECT/CT* é composto por uma gama-câmara com vários detectores acoplada a um tubo de raios X de baixa dose, o que permite a fusão das imagens, ricas em dados funcionais e anatômicos, fornecendo uma imagem de biodistribuição do radiofármaco (DELBEKE et. al, 2006).

As imagens anatômicas são obtidas através de uma técnica de transmissão e detecção de fótons de raios X. O tubo de raios X gira em conjunto com os detectores em torno do paciente, adquirindo imagens anatômicas em cortes axiais. Na sequência, realiza-se uma varredura *SPECT*. Os dados dessas duas aquisições são fundidos e formam a imagem híbrida (HASEGAWA; ZAIDI, 2006).

O princípio de funcionamento da *PET* se assemelha às cintilografias convencionais, porém o equipamento é uma câmara de cintilação especial. Neste equipamento, detecta-se emissões 511 KeV de energia oriundas de um evento de aniquilação pósitron-elétron no interior do corpo do paciente. São, portanto, utilizados emissores de pósitrons nestes exames (BOELLAARD et al., 2010). O principal radiofármaco utilizado na *PET* é o fluordesoxiglicose (FDG-¹⁸F), um traçador do metabolismo da glicose. O equipamento híbrido de *PET/CT* constitui um grande avanço na medicina nuclear diagnóstica, pois permite imagens sequenciais imediatas de *CT* e *PET*, agregando informações funcionais e anatômicas em um único exame (BITENCOURT et al., 2014).

2.3 Dose de Radiação nas Imagens de *SPECT/CT* e *PET/CT*

Apesar do avanço dos sistemas híbridos, deve-se ressaltar que a dose absorvida total é a soma da dose do radiofármaco usado na aquisição das imagens *SPECT*, *PET* e a dose de radiação gerada pelo tomógrafo (SALVATORI et al., 2019).

Os equipamentos híbridos de *SPECT/CT* e *PET/CT* trazem grandes vantagens, principalmente para pacientes oncológicos, mas deve ser utilizado com cautela, já que há uma fonte adicional de radiação e conseqüente aumento do tempo de exame e da dose de radiação (INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 2007). Ao paciente, pode causar desconforto e também aumento do risco de artefatos de movimento (BUCK et al., 2008).

Em qualquer exame que envolva a radiação ionizante, os princípios de justificação e otimização são fundamentais para a proteção radiológica de pacientes, acompanhantes e trabalhadores. No caso das imagens híbridas, é necessário ter um nível de referência em diagnóstico (NRD) para analisar a dose de cada exame independente. Os NRD são julgados em nível regional, nacional e/ou internacional (COMISSÃO EUROPEIA, 1999). Esses NRD norteiam a qualidade do diagnóstico, visando à redução da exposição dos pacientes à radiação e respeitando o princípio *ALARA* (*As Low As Reasonable Achievable* - a um nível tão baixo quanto razoavelmente exequível) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1996).

Na medicina nuclear, a principal grandeza para avaliar a dose é a atividade administrada ao paciente, na unidade do sistema internacional (SI), o Becquerel (Bq). (VALENTIN, 1998). A dose efetiva relacionada aos radiofármacos é utilizada para estimar a dose de corpo inteiro. É calculada pela multiplicação da atividade administrada pelo coeficiente de dose efetiva por unidade de atividade administrada.

As Tabelas 1 e 2 demonstram os valores previstos adaptado pela publicação da INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION 80 (1998) e a atividade administrada em termos de NRD para *SPECT* e *PET*, respectivamente.

Tabela 1. Valores das atividades administradas. Coeficientes de dose efetiva por unidade de atividade administrada (mSv/MBq) para exames *SPECT*

Órgão/Radiofármaco	Dose efetiva (mSv)	Atividade administrada (MBq)	Coeficiente de dose efetiva (mSv/MBq)
Osso (^{99m}Tc -MDP)	3,4 - 5,1	600 - 900	0,0057
Leucócitos (^{111}In)	7,2	20	0,36
Paratireoide (^{99m}Tc -sestamibi)	6,7	740	0,009
Cérebro (^{99m}Tc -ECD)	6,9	740	0,0093
Perfusão do miocárdio estresse/repouso (^{99m}Tc -SESTAMIBI - protocolo de um dia)	12,4	370+1110	0,0085
Perfusão do miocárdio estresse/repouso (^{99m}Tc -SESTAMIBI - protocolo de dois dias)	12,5	740+740	0,0085

Fonte: Adaptado de Salvatori et al., 2019.

Tabela 2. Valores das atividades administradas. Coeficientes de dose efetiva por unidade de atividade administrada (mSv/MBq) para exames *PET*

Radiofármaco	Dose efetiva (mSv)	Atividade administrada (MBq)	Coeficiente de dose efetiva (mSv/MBq)
¹⁸ F-FDG (Cérebro)	4,9	260	0,019
¹⁸ F-FDG (Miocárdio)	4,9	260	0,019
¹⁸ F-FDG (Tumor)	5,7	300	0,019
⁶⁸ Ga-DOTA-peptídeos	3,7	150	0,025

Fonte: Adaptado de Salvatori et al., 2019.

Na técnica de imagem híbrida, o componente tomográfico é responsável por uma considerável porcentagem da dose de radiação no paciente (MONTES et al., 2013). Os dois principais parâmetros para definição da dose na *CT* são o *CTDIvol* (*volume computed tomography dose index*) e o *DLP* (*dose-length product*).

O *CTDIvol* representa a dose média estimada num único corte, enquanto o *DLP* é o produto do *CTDIvol* e o comprimento da varredura (relacionada à distância que a maca do equipamento percorre), estimando a dose total absorvida pelo paciente. O *DLP* ainda pode ser usado para obter uma estimativa da dose efetiva (*E*) para o paciente, pela multiplicação do *DLP* por um coeficiente *k* (específico para cada região anatômica a ser examinada) ($E = k \times DLP$) (Ibbal et al., 2017). A dose efetiva da *CT* depende ainda dos diferentes objetivos da imagem, como, por exemplo, para fins diagnóstico, correção de atenuação ou localização anatômica (SALVATORI et al., 2019).

Mesmo sendo uma importante ferramenta para estimar o risco biológico, há muita incerteza no valor estimado da dose efetiva, relacionada aos coeficientes de ponderação de tecidos e sua estimativa de risco biológico relativo (INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 2007). A dose efetiva é uma dose genérica com medidas de um indivíduo padrão exposto por feixes também em condições padronizadas. Porém, se houver uma grande diferença em mSv, implica-se um risco biológico significativo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998).

A Tabela 3 apresenta um resumo das doses e comprimentos de varredura usados para diferentes tipos de exames e propósitos clínicos. Nestes dados, cada finalidade clínica foi associada a uma ampla gama de doses e houve uma sobreposição significativa nas doses para diferentes fins clínicos, destacando assim a necessidade de otimização na imagem híbrida. De acordo com Salvatori et al. (2019), para a maioria dos estudos, as doses efetivas da *CT* foram inferiores a 30% daquelas devidas aos radiofármacos e só excederam 50% nos exames de *PET/CT* de meio corpo e nos exames de *SPECT/CT* com meta-iodobenzilguanidina (MIBG).

Tabela 3. Valores de *CTDI vol* (mGy) e *DLP* (mGy.cm)

Exames	Fins clínicos	<i>CTDI vol</i> (mGy)	<i>DLP</i> (mGy.cm)	Comprimento da varredura (cm)	
<i>PET/CT</i>	Cardíaco	CA	1,5	31	21
	Cerebral	CA	1,2	26	22
		CA&L	6,8	129	19
		CA&D	20,6	453	22
	Meio corpo	CA	2,4	220	92
		CA&L	3,2	300	94
CA&D		4,2	382	91	
<i>SPECT/CT</i>	Varredura óssea	CA	6	168	28
		CA&L	3,4	112	33
		CA&D	11,2	336	30
	Cardíaco	CA	1,6	27	17
	Paratireoide	CA	6	96	16
		CA&L	4,9	127	26
		CA&D	12,1	254	21
	MIBG	CA&L	4,0	168	42

Fonte: Adaptado de Ibbal et al., 2017.

CA: correção de atenuação; CA&D: correção de atenuação e diagnóstico; CA&L: correção de atenuação e localização do sinal da medicina nuclear; MIBG: meta-iodobenzilguanidina

2.3.1. Medidas Práticas para Reduzir a Dose de Radiação nos Exames Híbridos

A justificação da prática e a otimização da radioproteção sempre devem ser levadas em conta, uma vez que evitam a exposição desnecessária do paciente (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2005).

A administração do radiofármaco correto também permite reduzir drasticamente a dose. Deve-se escolher o que possui a menor meia-vida efetiva. Por isso, os radiofármacos marcados com ^{99m}Tc são os mais adequados em termos de qualidade de imagem e dosimetria favorável ao paciente, pois possuem todas as propriedades físicas ideais para o exame (OLIVEIRA et al., 2006).

Para Iball (2017), os NRDs são úteis para otimizar a dose nos pacientes que realizam exames de *PET/CT* e *SPECT/CT*. Para os cálculos de dose, os NRDs estão relacionados diretamente aos radiofármacos, enquanto o *CTDIvol* e o *DLP* estão ligados ao componente tomográfico.

Os pacientes que são submetidos aos exames de medicina nuclear necessitam beber muita água pois a hidratação favorece a excreção do radiotraçador, evitando a irradiação de órgãos mais radiosensíveis, como a bexiga. Para referência, a dose para um paciente adulto nessa região é de 0,16 mGy/MBq num estudo de *PET/CT* com FDG-¹⁸F (VALENTIN, 1998).

Em relação aos equipamentos, há colimadores e detectores atuais que são mais sensíveis e sistemas com algoritmos de reconstrução apropriados para a tomografia, além dos protocolos de *CT* e parâmetros de seleção de exposição adequados (SALVATORI et al., 2019).

Duvall et al. (2011) relatam que, com os novos detectores (*CdZnTe-cadmium zinc telluride*), é possível ter uma imagem de alta qualidade mesmo com a redução significativa da dose do radiofármaco.

Como a área da cardiologia é ampla na medicina nuclear, o colimador *IQ SPECT* possibilita a aquisição pela metade do tempo e metade da dose injetada se comparado a um colimador *LEHR* (*low energy high resolution* - baixa energia alta resolução) devido a sua rápida aquisição e reconstrução das imagens, sendo mais um método para redução de doses e exposição à radiação (NAKAJIMA et al., 2017).

A *CT* tem uma série de parâmetros que podem ser otimizados. Um deles é a modulação da corrente do tubo de raios X baseada nos órgãos mais radiosensíveis. Conforme o tubo se aproxima da região, por exemplo, cristalino, bexiga, mamas e tireoide, a kVp é diminuída. Além disso, a dose de radiação devido à *CT* pode ser reduzida por uma escolha precisa de protocolos de *CT* (ou seja, *CT* de baixa ou alta dose) e parâmetros de varredura, como tensão do tubo, tempo de rotação, largura do feixe, pitch e espessura da imagem reconstruída (FERRARI et al., 2014).

Um avanço recente na área de imagem híbrida é a combinação da *PET* com a ressonância magnética. Os equipamentos híbridos *PET/MR* foram introduzidos na prática clínica como unidades separadas com um leito comum e como uma unidade totalmente integrada que permite a aquisição simultânea de *PET* e *MR*. Embora estes dispositivos sejam consideravelmente mais caros do que as unidades *PET/CT* comerciais e as indicações clínicas ainda estão sendo desenvolvidas, eles vêm recebendo uma atenção crescente em relação à

redução na dose de radiação para o paciente devido à eliminação do componente *CT* (MANNHEIM et al., 2018).

Portanto, existem inúmeras maneiras práticas para reduzir a dose de radiação nos pacientes que necessitam fazer um exame com a tecnologia de sistemas híbridos. A Tabela 4 inclui algumas medidas tanto na fase de planejamento quanto durante a execução e aquisição das imagens.

Tabela 4. Métodos para redução da dose de radiação nas imagens híbridas *PET/CT* e *SPECT/CT*

Fases	Métodos de redução de dose
Fase de planejamento	Justificação individual e geral do exame
	Escolha correta do radiofármaco, escolhendo o de menor meia-vida efetiva
	Adesão ao NRD nacional e/ou internacional (nível de referência em diagnóstico)
Fase de execução	Hidratação do paciente e esvaziamento da bexiga
	Detectores com a melhor resolução de acordo com a energia (CdZnTe no <i>SPECT/CT</i>)
	Colimadores especiais, que permitem uma maior sensibilidade
	Algoritmos capazes de reconstruir a imagem com o mínimo de contagens sem afetar a resolução espacial

Fonte: Adaptado de Salvatori et al., 2019.

3. CONCLUSÃO

As técnicas de imagem híbrida, como *SPECT/CT* e *PET/CT*, inovaram a rotina da medicina nuclear. Com a fusão das informações funcionais e anatômicas, é possível obter um exame de imagem com maior sensibilidade, especificidade e precisão diagnóstica. No entanto, a aquisição combinada de imagens funcionais e anatômicas pode aumentar a exposição à radiação devido à adição do componente *CT* à dose do radiofármaco utilizado na *SPECT* e na *PET*. Dessa forma, é necessário fazer ajustes tanto na fase de planejamento quanto na fase de execução, visando à redução da dose de radiação nos pacientes submetidos aos exames de *SPECT/CT* e *PET/CT*. Com a crescente difusão da *PET/MR* e o avanço das tecnologias híbridas,

ISSN 2176 – 4808

combinados com detectores de estado sólido (CdZnTe) de alta eficiência e novos algoritmos de reconstrução, espera-se que a geração de imagens híbridas desempenhe um papel ainda maior no futuro próximo, realizando exames com a melhor qualidade e com a menor dose de radiação possível.

REFERÊNCIAS

BITENCOURT, A. G. V. et al. Correlação entre resultado do PET/CT e achados histológicos e imuno-histoquímicos em carcinomas mamários. **Radiologia Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 67-73, 2014. Disponível em: <http://www.rb.org.br/detalhe_artigo.asp?id=2504>. Acesso em: 20 abr. 2019.

BOELLAARD, R. et al. FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 1.0. **European Journal Of Nuclear Medicine And Molecular Imaging**, v. 37, n. 1, p. 181, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00259-009-1297-4.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Portaria 453/98** – Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Diário Oficial da União, Brasília, 2 jun. 1998. Disponível em: <<https://saude.es.gov.br/Media/sesa/NEVS/Servi%C3%A7os%20de%20sa%C3%BAde%20de%20interesse/portaria453.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2020.

BRIX, G. et al. Radiation risk and protection of patients in clinical SPECT/CT. **European Journal Of Nuclear Medicine And Molecular Imaging**, v. 41, n. 1, p. 125-136, 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24052089>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

BUCK, A. K. et al. SPECT/CT. **The Journal of Nuclear Medicine**, Reston, v. 49, n.8, p. 1305-1319, 2008. Disponível em: <<http://jnm.snmjournals.org/content/49/8/1305>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

CARDOSO, E. M. et al. **Apostila Educativa – A Energia Nuclear**, CNEN, 2011. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia_aplic.pdf> Acesso em: 29 abr. 2019.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Instalações Autorizadas**. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/index.php/instalacoes-autorizadas-2>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. NN. 3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Rio de Janeiro, Brasil**, 2005. Acesso em: 22 mar. 2019.

COMISSÃO EUROPEIA. Guidance On Diagnostic Reference Levels (Drls) For Medical Exposures. Radiation Protection 109. **Luxembourg: European Communities**. 1999. Acesso

ISSN 2176 – 4808

em: 28 mai. 2019.

COSTA, D. C. et al. PET e SPECT em neurologia e psiquiatria: do básico às aplicações clínicas. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, v. 23, p. 4-5, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-44462001000500003>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SUS. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sia/cnv/qauf.def>> Acesso em: 05 jan. 2021. DELBEKE, D. et al. Procedure guideline for SPECT/CT imaging 1.0. **Journal of Nuclear Medicine**, v. 47, n. 7, p. 1227-1234, 2006. Disponível em: <<http://jnm.snmjournals.org/content/47/7/1227>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

DUVALL, W. L. et al. Reduced isotope dose and imaging time with a high-efficiency CZT SPECT camera. **Journal of Nuclear Cardiology**, v. 18, n. 5, p. 847-857, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12350-011-9379-7>>. Acesso em: 29 mai. 2019.

FERRARI, M. et al. SPECT/CT radiation dosimetry. **Clinical and Translational Imaging**, v. 2, n. 6, p. 557-569, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40336-014-0093-8>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S. Energia Nuclear e Seus Usos na Sociedade. *Ciência Hoje*. Volume 37. n. 220. 2005, pág. 37 a 44. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2005/220/a-energia-nuclear-e-seus-usosna-sociedade/>>. Acesso em: 12 mai. 2019.

HASEGAWA, B. H.; ZAIDI, H. Dual-modality imaging: more than the sum of its components. In: **Quantitative analysis in nuclear medicine imaging**. Springer, Boston, MA, 2006. p. 35-81. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-25444-7_2>. Acesso em: 20 abr. 2019.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. **Safety Series Nº 115**. Vienna, 1996. Acesso em: 20 mai. 2019.

IBALL, G. R. et al. A national survey of computed tomography doses in hybrid PET-CT and SPECT-CT examinations in the UK. **Nuclear Medicine Communications**, v. 38, n. 6, p. 459-470, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1097/MNM.0000000000000672>>. Acesso em: 26 mai. 2019.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1998) **Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals** (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80. Ann. ICRP 28(3). Disponível em: <<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2080>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **The 2007 Recommendations Of The International Commission On Radiological Protection**. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 2007. Acesso em: 20 abr. 2019.

ISSN 2176 – 4808

- MANNHEIM, J. G. et al. PET/MRI hybrid systems. In: **Seminars in nuclear medicine**. WB Saunders, 2018. p. 332-347. Disponível em: <<https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.02.011>>. Acesso em 22 mai. 2019.
- MONTES, C. et al. Estimation of the total effective dose from low-dose CT scans and radiopharmaceutical administrations delivered to patients undergoing SPECT/CT explorations. **Annals of Nuclear Medicine**, v. 27, n. 7, p. 610-617, 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12149-013-0724-6>>. Acesso em: 25 mai. 2019.
- NAKAJIMA, K. et al. IQ- SPECT technology and its clinical applications using multicenter normal databases. **Annals of Nuclear Medicine**, v. 31, n. 9, p. 649-659, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12149-017-1210-3.pdf>>. Acesso em: 31 mai. 2019.
- NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS (2009). **Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States** (NCRP Report No 160). Disponível em: <<https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-report-160/>>. Acesso em: 16 abr. 2019.
- OLIVEIRA, R. et al. Preparações radiofarmacêuticas e suas aplicações. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 2, p. 151-165, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbcf/v42n2/a02v42n2.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2019.
- PATTON, J. A. et al. Hybrid imaging technology: from dreams and vision to clinical devices. In: **Seminars in Nuclear Medicine**. WB Saunders, 2009. p. 247-263. Disponível em: <<https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.03.005>>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- ROBILOTTA, C. C. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 20, p. 134-142, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1020-49892006000800010&script=sci_arttext&tlng=es>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- SALVATORI, M. et al. Radiation dose in nuclear medicine: the hybrid imaging. **La Radiologia Medica**, p. 1-9, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11547-019-00989-y>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- SCHILLACI, O. Functional–anatomical image fusion in neuroendocrine tumors. **Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals**, v. 19, n. 1, p. 129-134, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1089/108497804773391775>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- SIMAL C. J. R. Imagem Molecular. **Revista Médica de Minas Gerais**. Belo Horizonte, v. 21, n. 3, p. 307-318, 2011. Disponível em: <<http://rmmg.org/artigo/detalhes/174>>. Acesso em: 22 mai. 2019.
- VALENTIN, J. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals:(Addendum 2 to ICRP Publication 53) ICRP Publication 80 Approved by the Commission in September 1997. **Annals of the ICRP**, v. 28, n. 3, p. 1-1, 1998. Disponível em: <[https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1016/S0146-6453\(99\)00006-8](https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1016/S0146-6453(99)00006-8)>. Acesso em: 15 mai. 2019.