



**COLEÇÃO CBR**

Radiologia e Diagnóstico por Imagem

VOLUME 6

**MÉTODOS HÍBRIDOS**





**COLEÇÃO CBR**

Radiologia e Diagnóstico por Imagem

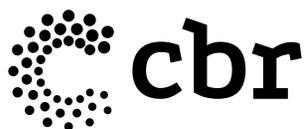
EDITORES DO VOLUME  
MARCELO ARAÚJO QUEIROZ  
SARA DE MELO MACEDO SANTANA

# MÉTODOS HÍBRIDOS

VOLUME 6

EDITOR DA COLEÇÃO  
RONALDO HUEB BARONI

SÃO PAULO – 2024



©TODOS OS DIREITOS RESERVADOS À EDITORA DOS EDITORES LTDA.

©2024 - São Paulo

Produção editorial: *Villa d'Artes*

Capa: *Villa d'Artes*

Imagens da obra pertencem ao acervo pessoal dos autores. Quando necessário, outras fontes foram citadas pontualmente.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Métodos híbridos / editor da coleção Ronaldo Hueb Baroni ; editores do volume Marcelo Araújo Queiroz, Sara de Melo Macedo Santana. -- 1. ed. -- São Paulo : Editora dos Editores, 2024. -- (Coleção CBR : radiologia e diagnóstico por imagem ; 6)

Vários autores.  
Bibliografia.  
ISBN 978-65-6103-028-1

1. Diagnóstico por imagem 2. Inovações médicas 3. Medicina e saúde  
4. Radiologia médica I. Baroni, Ronaldo Hueb. II. Queiroz, Marcelo Araújo. III. Santana, Sara de Melo Macedo.

24-221255

CDD-616.0757  
NLM-WN-110

Índices para catálogo sistemático:

1. Radiologia e diagnóstico por imagem : Medicina  
616.0757

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

RESERVADOS TODOS OS DIREITOS DE CONTEÚDO DESTA PRODUÇÃO.

NENHUMA PARTE DESTA OBRA PODERÁ SER REPRODUZIDA ATRAVÉS DE QUALQUER MÉTODO, NEM SER DISTRIBUÍDA E/OU ARMAZENADA EM SEU TODO OU EM PARTES POR MEIOS ELETRÔNICOS SEM PERMISSÃO EXPRESSA DA EDITORA DOS EDITORES LTDA, DE ACORDO COM A LEI N° 9610, DE 19/02/1998.

Este livro foi criteriosamente selecionado e aprovado por um editor científico da área em que se inclui. A *Editora dos Editores* assume o compromisso de delegar a decisão da publicação de seus livros a professores e formadores de opinião com notório saber em suas respectivas áreas de atuação profissional e acadêmica, sem a interferência de seus controladores e gestores, cujo objetivo é lhe entregar o melhor conteúdo para sua formação e atualização profissional.

*Desejamos-lhe uma boa leitura!*

**eE**  
*editora dos*  
**Editores**

EDITORA DOS EDITORES

Rua Marquês de Itu, 408 — sala 104 — São Paulo/SP

CEP 01223-000

Rua Visconde de Pirajá, 547 — sala 1.121 — Rio de Janeiro/RJ

CEP 22410-900

+55 11 2538-3117

contato@editoradoseditores.com.br

www.editoradoseditores.com.br





## Sobre o Editor da Coleção



### RONALDO HUEB BARONI

Médico Radiologista e Doutor em Ciências pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), com Título de Especialista em Radiologia e Diagnóstico por Imagem. Professor Pleno da Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein (FICSAE). Gerente Médico do Setor de Imagem do Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE). Diretor Científico do Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR).





## Sobre os Editores do Volume



### MARCELO ARAÚJO QUEIROZ

Médico Nuclear e Radiologista do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP), Hospital Sírio-Libanês (HSL) e Grupo Amil. Doutor em Radiologia pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP). Chefe da radiologia do ICESP. Título de Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR).



### SARA DE MELO MACEDO SANTANA

Médica Nuclear. Titulada pela Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN). Supervisora de Radioproteção certificada pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear). Pós-graduada em Radiologia pela Santa Casa de Misericórdia do Rio de Janeiro. Professora de Imaginologia do Curso de Medicina da Universidade Tiradentes. Membro da Câmara técnica de Medicina Nuclear do Conselho Federal de Medicina. Diretora Técnica da Medicina Nuclear, PET/CT e Radiologia da CLIMEDI, Aracaju-Se. Membro titular do Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR). Título de Medicina Nuclear pelo CBR.





## Sobre os Autores

### Adalberto Arão Filho

Médico Nuclear Chefe do setor de Medicina Nuclear da MS Diagnósticos Médicos e CDC Nuclear.

### Dra. Adelina Sanches

MD, MBA. Médica Nuclear. Coordenadora do serviço de Medicina Nuclear da Santa Casa de Misericórdia da Bahia e diretora da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear – SBMN (vice tesoureira).

### Alan Yazaldy Chambi Cotrado

Médico nuclear assistente do Hospital Unimed Rio, no Américas Medical city e no Hospital Pró-cardíaco.

### Aline L. G. Leal

Residência em Medicina Nuclear pela UNICAMP e Título de especialista pela SBMN. Doutora em Ciências Médicas pela UNICAMP. Médica assistente e Supervisora do programa de residência médica do serviço de medicina nuclear e imagem molecular do Real Hospital Português de Beneficência em Pernambuco.

### Aline Oliveira

MD, MSc. Pós-graduada em Medicina Nuclear e Radiologia e Diagnóstico por Imagem. Médica efetiva do Estado do Espírito Santo. André Gustavo Silva Pino, Médico Nuclear dos Departamentos de Medicina Nuclear do Hospital Univ. Prof. Alberto Antunes – UFAL e da Santa Casa de Misericórdia de Maceió.

### André Oliveira

MD, especialista em Radiologia e em Medicina Nuclear, atua na Nuclear Cintilografia em Vitória – ES. Andrea Santos Dumont Costacurta.

MD, M.Sc. Radiologista. Mestre em radiologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, médica radiologista da Rede d'Or São Luiz e Coordenadora da Neurorradiologia do Grupo Fleury-RJ.

### Andrezza Tavares Dambroz

Graduação em Medicina na UFMG. Residência em Medicina Nuclear na UFMG. Título de Especialista em Medicina Nuclear pela SBMN/AMB. Mestre em Ciências da Saúde na UFMG, com ênfase em cardiologia nuclear. Mestre em Imagem Oncológica pela Universidade de Pisa.

### Anna Carolina Borges da Silva

Residência de Medicina Nuclear no Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (InRad-HCFMUSP). Mestrado em Ciências da Saúde com projeto em PSMA PET para câncer de próstata pela Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo (FCMSCSP). *Fellowship* no Ambulatório de Adrenal e de TNE da disciplina de Endocrinologia e Metabologia do Departamento de Medicina da FCMSCSP.

### Anne Caroline Gomes

Residência Médica em Medicina Nuclear pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HCFMUSP). Título de especialista em medicina nuclear pela SBMN/AMB. Médica assistente do serviço de medicina nuclear no Hospital Real e Benemérita Associação Portuguesa de Beneficência – São Paulo (BP).

### Dr. Antonio Eduardo Santos Stroppa

MD, MBA, M.Sc. Médico Nuclear. Mestre em radiologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Coordenador Médico do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital de Câncer (Rede Hospital Casa) e médico nuclear do PET-CT da Clínica Felipe Mattoso (Hospital Samaritano) e do CDPI.

### Artur Martins Coutinho

Residência Médica em Medicina Nuclear e Doutorado em ciências (Radiologia) pela Faculdade Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), com título de especialista em medicina nuclear pelo CBR/AMB. Pós-doutorado no Massachusetts General Hospital/Universidade Harvard, em Boston, EUA. Atua como Pesquisador Assistente ligado ao Laboratório de Medicina Nuclear da FMUSP e como médico assistente pelo Hospital Sírio Libanês-SP e em consultoria pela Multimodal Consultoria Diagnóstica.

### Bárbara Juarez Amorim

Médica Nuclear Coordenadora do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital de Clínicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Doutorado em Ciências Médicas pela Unicamp. Pós-Doutorado em PET/RM em câncer colorretal pela Harvard Medical School.

### Beatriz Arruda

Residência médica em Medicina Nuclear pelo Instituto Nacional do Câncer (INCA). Mestrado em Oncologia (INCA). Médica Nuclear do Real Hospital Português de Beneficência.

### Bruna Kozłowski Andreucci

Residência Médica em Medicina Nuclear na Universidade de São Paulo, HC-FMUSP. Residência Médica em Radiologia e Diagnóstico por Imagem pela UMDI. Atualmente fellow em Medicina Interna pelo Fleury.

### Bruno Galafassi Ghini

Médico pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Especialista em medicina nuclear pelo CBR e CNEN. Autor de capítulos de livros e publicações em medicina nuclear, professor colaborador em programas de residências médicas em Goiás e no DF.

### Bruno Gomes Padilha

Residência Médica em Medicina Nuclear e Doutorado pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP). Médico Nuclear Assistente do Instituto do Coração (InCor) e na Santa Casa de Misericórdia de São Paulo.

### Camila Edith Stachera Stasiak

Médica Nuclear no Hospital Universitário Antônio Pedro/UFF, no Centro de Imagem Copa D'Or e no Centro de Imagem São Vicente (Rio de Janeiro). Mestrado em Medicina (Radiologia) pela UFRJ. *Fellow* em Imagens Híbridas em Medicina

Nuclear e Terapias Radioisotópicas pelo IDOR/RJ. Residência em Medicina Nuclear pelo INCA/RJ.

### Camila Mosci

Especialista em medicina nuclear, mestre e doutora pelo programa de clínica médica da Faculdade de Medicina da Universidade Estadual de Campinas. Médica coordenadora da Medicina Nuclear do Hospital Vila Nova Star -Rede D'Or.

### Carla Rachel Ono

Graduação, Residência Médica em Medicina Nuclear e Doutorado em ciências (programa de Radiologia) pela Faculdade Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), com título de especialista em medicina nuclear pelo CBR/AMB. Atua como médica assistente da Divisão de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da FMUSP e do Hospital do Coração, São Paulo.

### Carlos Henrique dos Anjos

Oncologista clínico do hospital Sírio-Libanês. Membro do comitê executivo do centro de oncologia do hospital Sírio-Libanês.

### Carolina Mautoni

Residente do 3º ano de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HCFMUSP).

### Carolina Perez

Residência médica em Medicina Nuclear pelo Instituto Nacional do Câncer (INCA). Mestrado em Radiologia (UFRJ). Médica Nuclear dos serviços de PET/CT do Américas Serviços Médicos, Hospital São Carlos Saúde Oncológica, CDPI/DASA-RJ e Felipe Mattoso/Fleury-RJ.

### Caroline Sales Figueiredo

Médica Nuclear do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo Octavio Frias de Oliveira do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (ICESP-HCFMUSP), do Hospital da Mulher (HM) e da CEDIMEN, Centro de Diagnósticos em Medicina Nuclear.

### Celso Dario Ramos

Professor Associado de Medicina Nuclear da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

### Chiara Maria Righini

Graduanda do curso de Farmácia da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (FCF-USP) e aluna de Iniciação Científica do Laboratório de Medicina Nuclear (LIM 43) da Faculdade de Medicina da USP (FMUSP).

### Christiane Sacramento Magalhães

Residência médica em Medicina Nuclear pelo Hospital Universitário Pedro Ernesto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (HUPE/UERJ). Especialização em Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo Hospital Federal dos Servidores do Estado (HFSE/MS). Título de Medicina Nuclear e Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR). Membro Titular do CBR.

### Cláudio Tinoco Mesquita

Professor Associado da Faculdade de Medicina – UFF. Coordenador do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital Pró-Cardíaco).

### Clêdison Cunha

Possui graduação em Física. Licenciatura pela Universidade Federal de Sergipe (2003) e mestrado em Física pela Universidade Federal de Sergipe (2006). Supervisor de Radioproteção certificado pela CNEN. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Medicina Nuclear e Dosimetria, atuando principalmente no seguinte tema: Radioproteção.

### Cristina Matushita

Médica Nuclear com título de especialista pelo CBR/AMB e título de supervisora de radioproteção pela CNEN. Pós-graduação na Nuclear MedCenter em Belo Horizonte/MG. Vice-presidente da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. Diretora da Associação Médica do Rio Grande do Sul. Mestre em clínica Médica pela Escola de Medicina da PUCRS. MBA em Gestão. Inovação e Serviços em Saúde pela PUCRS. Responsável Técnica e Médica Nuclear dos Serviços de Medicina Nuclear do InsCer da PUCRS e de Joinville, da São Marcos Diagnósticos. Visiting Research Scholar in Nuclear Medicine in Mallinckrodt Institute of Radiology at Washington University in St. Louis, MO.

### Dalton Alexandre dos Anjos

Coordenador de medicina nuclear e PET/CT na DASA – São Paulo. Graduação em Medicina na FMUSP. Residência em Medicina Nuclear na UNICAMP. Doutorado em Ciências Médicas na UnB. MBA na Fundação Getúlio Vargas. Diretor de Defesa Profissional da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear.

### Daniela Andrade Ferraro

Residência Médica em Medicina Nuclear e Doutorado pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP). Médica Nuclear Assistente do Instituto do Coração (InCor) e médica contratada da DIMEN São Paulo.

### Daniela dos Anjos Oda Monteiro

Médica Nuclear especialista pelo CBR, SBMN e CNEN. Autora de publicações, preceptora de residência médica e professora colaboradora dos cursos de medicina e biomedicina. Médica e Responsável técnica do IMEN-BA e DMA (BA). Diretora da ANAEMN. Atuou como diretora: SBMN (2020/2022), HCMF (2020/2022), HBP-Bauru (2003-2005) e Presidente da comissão de ética da SCMI (2013-2017).

### Daniele de Paula Faria

Professora livre-docente em medicina nuclear, área radiofarmácia, pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP). Doutora na área de imagem molecular pela Universidade de Groningen, Holanda, validado como doutorado em Radiologia pela USP. Pesquisadora do Laboratório de Medicina Nuclear (LIM 43) da FMUSP.

### Danielle Gujanwski

Médica Nuclear formada pelo INCA (Instituto Nacional do Câncer), em 2013, com ampla atuação em todas as modalidades da medicina nuclear: cintilografia, SPECT, PET e terapias com radioisótopos. Coordenadora da Medicina Nuclear do hospital Unimed Rio, desde 2014. MBA em gestão hospitalar pela FGV.

### Diego Bromfman Pianta

Médico Nuclear pela Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN). Médico Nuclear do Instituto do Cérebro do Rio Grande do Sul (InsCer), e da São Marcos Diagnósticos por Imagem, em Joinville. Primeiro secretário da SBMN 2023/2024.

### Dilma Mariko Morita

médica pela pontifícia Universidade de Campinas, residência em clínica médica pela PUCCAMP e em medicina nuclear pela Unicamp. Pós-graduação em direito médico e bioética pela Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. Médica nuclear da DIMEN. Coordenadora da residência médica da DIMEN.

### Eduardo Tinois

Sócio Fundador do Instituto de Segurança e Tecnologia em Radiações – ISTRAD. Doutorando em Biotecnologia Médica pela FMB/UNESP. Mestre em Física Aplicada à Medicina e Biologia pela FFCLRP/USP. Bacharel em Física pela UNICAMP. Especialista em Física da Medicina Nuclear pela Associação Brasileira de Física Médica (ABFM), certificado pela CNEN como Supervisor de Proteção Radiológica nas Áreas de Medicina Nuclear e Radiofarmácia, responsável (atualmente ou no passado) pela formação de Médicos Nucleares nos programas de residência médica da UNICAMP, FMB/UNESP, HOSPITAL DO AMOR e DIMEN, membro ativo da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN) e da ABFM.

### Elba Cristina Sá de Camargo Etchebehere

Professora Livre Docente, Serviço de Medicina Nuclear, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Diretora Administrativa, Grupo MND, Brasil.

### Fabiana Lucas Bueno

Médica nuclear responsável técnica do serviço de PET/CT do Hospital Samaritano Higienópolis e assistente da UDDO unidades Samaritano e IBCC. Residência Médica no Serviço de Medicina Nuclear do HCFMUSP. Residência Médica em Cardiologia na PUC-RS. Título de Especialista em Medicina Nuclear pela SBMN/AMB. Título de Especialista em Cardiologia pela SBC/AMB.

### Fabio F. Ribeiro

Médico pela UFSC. Residência médica em cardiologia no ICSC e especialização em medicina nuclear pelo CMN/HC- USP. Diretor da Bionuclear- Florianópolis SC.

### Fabio Luiz Navarro Marques

Doutor em Ciências com Concentração em Oncologia pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Mestre em Química Orgânica pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Químico do Laboratório de Medicina Nuclear (LIM 43) da FMUSP.

### Felipe H. Villela Pedras

MD, médico nuclear, especialista pela Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. Diretor Médico da Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras.

### Felipe Piccarone Gonçalves Ribeiro

Médico Nuclear, Residência em Medicina Nuclear pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

### Fernando Fernandes

Chefe da Unidade de Diagnóstico por Imagem no HUAP/UFF/EBSERH. Físico Médico e SPR em Medicina Nuclear no HUAP/UFF/EBSERH. Atuação como físico médico e supervisor de proteção radiológica em medicina nuclear e produção de radiofármacos, com foco em qualidade, produtividade e inovação, fundamentados na filosofia de segurança radiológica. Experiência no projeto e licenciamento de novas instalações, aceite e qualificação de equipamentos, garantia da qualidade na produção e manipulação de radiofármacos, procedimentos de medicina nuclear e processamento de imagens.

### Flávia Dornelas Kurkowski

Médica nuclear do Instituto do Cérebro do Rio Grande do Sul (Inscer). Residência médica em medicina nuclear pelo Instituto de Medicina de Brasília (IMEB). Título de Especialista em Medicina Nuclear pela SBMN/AMB. Mestranda em Medicina e Ciências da Saúde pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC) na área de imagem molecular e funcional.

### Francisco de Assis Romeiro Figueiroa Benício Coelho

Residência médica em Medicina Nuclear no Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro (HUCCFF-UFRJ). Fellowship em Imagens Híbridas e Terapias Radioisotópicas no Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino (IDOR).

### Gabriela El Haje Lobo Rochalsabella Caterina Palazzo

Fellow em teranóstico e PET-CT Clínica Núcleos (Brasília/DF); Médica Nuclear do Hospital HOME (Brasília/DF).

### George Barberio Coura Filho

MD, PhD. Médico Nuclear, Doutor em radiologia pela Universidade de São Paulo. Médico Nuclear do Instituto de Câncer do Estado de São Paulo e da DIMEN Medicina Nuclear.

### Giovanna Sawaya Torre

Médica Radiologista do Grupo de Radiologia Abdominal do Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE) e do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo Octavio Frias de Oliveira do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (ICESP-HCFMUSP). Membro Titular do Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR), com título de Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo CBR.

### Guilherme de Carvalho Campos Neto

Graduação em Medicina pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP. Residência Médica em Medicina Nuclear na Universidade de São Paulo, HC-FMUSP. Mestrado em Ciências da Saúde pela Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein, FICSAE. Médico do Departamento de Imagem do Hospital Israelita Albert Einstein.

### Gustavo do Vale Gomes

Membro titular da SBMN. Doutorando em Biotecnologia Médica pela UNESP (Botucatu/SP). Médico Nuclear da Clínica Núcleos (Brasília/DF).

### Isabella Caterina Palazzo

Médica Nuclear pela Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN). Médica Nuclear do Hospital Pró-Cardíaco, Rede D'or São Luiz, e Fleury Medicina e Saúde.

### Jader Cunha de Azevedo

Mestre e Doutor em Ciências Cardiovasculares pela Universidade Federal Fluminense. Especialista em Cardiologia e Medicina Nuclear. Professor Adjunto do Departamento de Radiologia da Universidade Federal Fluminense. Médico do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho – UFRJ. Coordenador do Serviço de PET-CT do Hospital Unimed Volta Redonda.

### João Antonio Macedo Santana

Médico nuclear e endocrinologista, Post- graduated Research Fellow Upstate Medical Center Hospital, State University of New York, Membro da SNM (Society of Nuclear Medicine-USA). Professor adjunto de fisiologia da Universidade Federal de Sergipe e diretor médico da Clínica de Medicina Nuclear (Climedi) em Sergipe

### José Leite Godim Cavalcanti Filho

Médico nuclear e coordenador médico da modalidade PET-CT do DASA, Rio de Janeiro-RJ.

### Júlio César Silveira de Oliveira

Membro titular da SBMN. Médico Nuclear do Serviço de Medicina Nuclear, PET/CT e PET/RM Hospital Israelita Albert Einstein (São Paulo/SP).

### Júlio Marcus Sousa Correia

Membro titular da SBMN. Médico Nuclear da Clínica Sonimagem, Clínica São Carlos Imagem e do Hospital Haroldo Juaçaba (Fortaleza/CE).

### Karina Yuri Seito

Médica nuclear assistente do Centro de Medicina Nuclear do INRAD HCFMUSP e da Nuclimagem. Medicina Nuclear da Santa Casa de São Paulo. Graduada em Medicina pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP USP). Residência médica em Medicina Nuclear e especialização em Métodos Híbridos pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP).

### Larissa Bastos Costa

Médica Nuclear pela FMUSP. Membro do corpo clínico do Hospital Sírio-Libanês e do Grupo Américas/Amil, São Paulo-SP.

### Larissa Fernanda Medeiros Vieira

Médica nuclear e radiologista responsável técnica da LM Medicina de Imagem e médica no serviço de PET/CT do IMEN Instituto de Medicina Nuclear – GO. Residência Médica no Serviço de Medicina Nuclear do HCFMUSP. Título de Especialista em Medicina Nuclear pela SBMN/AMB. Título de Especialista em Ultrassonografia pelo CBR/AMB. Título de Especialista em Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo CBR/AMB.

### Leandro Tinagero Hyppolito

Graduado em Medicina pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo em 2017. Residência Médica em Medicina Nuclear no Hospital das Clínicas em 28 de fevereiro de 2022. Médico preceptor no Programa de Residência Médica em Medicina Nuclear da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

### Lilian Yuri Itaya Yamaga

Mestre e doutora em Radiologia pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Médica nuclear do Departamento de Imagem do Hospital Israelita Albert Einstein.

### Lucas Cronemberger Maia Mendes

Cardiologista e Médico Nuclear. Atua no HCBr, Núcleos e Hospital de Base – Brasília-DF. Membro das diretorias da SBMN 2023-2024 e SBC-DF 2024-2025.

### Marcelo Mamede

MD, DMSc – médico nuclear, especialista pelo CBR. Doutor em Ciências Médicas pela Universidade de Kyoto. Pós-Doutorado em Medicina Nuclear no National Institutes of Health (NIH-USA) e Brigham and Womens Hospital, Harvard Medical School. Foi pesquisador sênior do Centro de Pesquisa Clínica do Instituto Nacional de Câncer (INCA). Atualmente, encontra-se como professor titular da UFMG e pesquisador nível 2 do CNPq.

### Dr. Marcelo Tatit Sapienza

MD, PhD. Professor associado na Disciplina de Medicina Nuclear – Departamento de Radiologia e Oncologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

### Marco Antônio de Oliveira Conde

Especialista em medicina nuclear. Médico nuclear do grupo Fleury, do Hospital Vila Nova Star-Rede D'Or, do Hospital Alemão Oswaldo Cruz e do Instituto Dante Pazzanesi de Cardiologia.

### Marcos Santos Lima

Especialista em medicina nuclear, em radiologia e diagnóstico por imagem e em clínica médica. Médico assistente do serviço de medicina nuclear do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo e do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

XV

### Maria Fernanda Rezende

Médica nuclear, com título de especialista pela SBMN. Mestre em ciências cardiovasculares pela UFF.

### Maria Isabel Cancio Rodrigues

Graduação em Medicina pela UNIGRANRIO – Universidade do Grande Rio – 2013. Residência Médica em Medicina Nuclear no INCA – Instituto Nacional do Câncer – 2021. *Fellowship* em PET/CT no Centro de imagens do Copa D’Or – 2023. Médica nuclear no Hospital Unimed Rio, na Clínica São Carlos Saúde Oncológica e no CDPI – Centro de Diagnósticos por Imagem.

### Marian Beatrice Lourenço Martins

Membro titular da SBMN. *Fellow* em teranóstico e PET-CT Clínica Núcleos (Brasília/DF). Mestranda em Biotecnologia Médica pela UNESP (Botucatu/SP). Médica Nuclear da Clínica Núcleos e do Hospital Forças Armadas (Brasília/DF).

### Mateos Bogoni

Médico nuclear e radiologista no DAPI, Hospital Erasto Gaertner e Hospital Cardiológico Costantini (Curitiba). Mestre em Medicina Interna e Ciências da Saúde pela UFPR.

### Mateus Rozalem Aranha

Médico com graduação e residência médica em Radiologia pela Faculdade Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), com *Fellowship* em neurorradiologia e neuroimagem molecular pela mesma Instituição. Doutorado com dupla titulação pelo programa de Radiologia da FMUSP e de Medicina pela Universidade Autônoma de Barcelona, Espanha.

### Mayara Aguilas Dias de Brito

MD, M.Sc. – Médica Nuclear, especialista pela Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. Médica assistente do Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP).

### Murilo Ferraz de Holanda

Médico nuclear. Radiologista e coordenador médico de PET-CT, Ressonância e Tomografia do Centro de Medicina do grupo Fleury, Rio de Janeiro-RJ.

### Nelisa Helena Rocha

Médica nuclear do ICESP, do CMN InRad-HCFMUSP e do DASA SP. Doutorado em Radiologia pela Universidade de São Paulo, com pesquisa focada em PET/CT. Residência Médica no Serviço de Medicina Nuclear do HCFMUSP. Título de Especialista em Medicina Nuclear pela SBMN/AMB.

### Paulo Henrique Rosado de Castro

Médico Nuclear e chefe do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro (HUCFF-UFRJ). Professor adjunto do Instituto de Ciências Biomédicas da UFRJ. Mestrado em Medicina (Radiologia) pela UFRJ. Doutorado em Medicina (Radiologia) pela UFRJ. Membro titular do Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR), título de Medicina Nuclear e Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo CBR.

### Paulo José de Almeida Filho

Residência em Medicina Nuclear pela Faculdade de medicina da Universidade de São Paulo (USP). Título de especialista pela Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN). Professor de medicina nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Responsável técnico e coordenador médico do serviço de medicina nuclear e imagem molecular do Real Hospital Português de Beneficência em Pernambuco. Preceptor do programa de residência médica em medicina nuclear do Real Hospital Português de Beneficência de Pernambuco.

### **Poliana Fonseca Zampieri**

Médica Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HCFMUSP) e do Instituto Brasileiro de Controle do Câncer (IBCC).

### **Priscilla Romano Gaspar**

Residência médica em Medicina Nuclear na Fundação Antônio Prudente (A.C.Camargo Cancer Center) e em métodos híbridos de imagem com ênfase em PET/CT na Universidade de São Paulo (USP). Coordenadora e Responsável Técnica do serviço de PET/CT do Américas Serviços Médicos/Amil – RJ.

### **Rafael Midlej Brito**

Médico nuclear e coordenador médico adjunto do serviço de diagnóstico por imagem da CLIMEDI, Aracaju-SE.

### **Rafael Willain Lopes**

Cardiologista e Médico Nuclear do HCOR-SP, PhD, MBA, FASNC, presidente da SBMN 2023-2024.

### **Raphael Abegão de Camargo**

Residência Médica em Medicina Nuclear e Infectologia. Doutorado e Pós doutorado pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP). Médico Nuclear Assistente do Hospital São Rafael – Rede D’or São Luiz, Hospital Português, Hospital Santa Izabel – Santa Casa Bahia, Clínica Diagnoson a+ – Grupo Fleury e Hospital Aristides Maltez – Salvador – BA.

### **Raquel de Paula Mendes de Oliveira**

Residência em Medicina Nuclear no Hospital de Clínicas da Universidade Estadual de Campinas (HC-Unicamp). Ano adicional em PET/CT e SPECT-CT no Hospital Sírio-Libanês (HSL). Especialização em Radiologia e Diagnóstico por Imagem no Hospital Universitário Antônio Pedro (HUAP) da Universidade Federal Fluminense (UFF). Membro titular do Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR), título de Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo CBR.

### **Regis Oquendo Nogueira**

Médico Nuclear das Clínicas Cintipraxis, Sonimagem, Omnimagem e São Carlos Cintilografia em Fortaleza/CE.

### **Renata Fockink dos Anjos**

Médica nuclear e radiologista responsável técnica pelo serviço de Medicina Nuclear e PET/CT do Delboni/Hospital Santa Paula – DASA SP. Residência Médica no Serviço de Medicina Nuclear da UNICAMP. Residência Médica no Serviço de Radiologia e Diagnóstico por Imagem do Hospital Universitário de Brasília (HUB/UnB). Título de Especialista em Medicina Nuclear pelo CBR/AMB. Título de Especialista em Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo CBR/AMB. Mestrado em Ciências da Saúde pela Universidade de Brasília (UnB) na área de PET/CT.

### **Renata Moreira**

Médica Nuclear do Grupo Aliança Saúde – RJ e do Hospital Porto Dias (HPD).

### **Rinaldo Focaccia Siciliano**

Residência Médica em Infectologia. Doutorado e Pós Doutorado pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP). Professor Colaborador do Departamento de Cardiopneumologia da FMUSP. Médico Assistente da Unidade de Controle de Infecção Hospitalar do InCor HCFMUSP.

### Roberta Birchall Bicudo Queiroz

Residência Médica em Medicina Nuclear: Hospital de Câncer de Barretos, Barretos-SP. Especialização Médica em PET/CT e SPECT/CT: Hospital Sírio Libanês, São Paulo-SP. Especialização Médica em Ultrassonografia: Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo, São Paulo-SP.

### Rosana Souza Rodrigues

Médica Radiologista do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro (HUCFF-UFRJ) e da Rede D'or São Luiz. Membro titular do Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR), título de Radiologia e Diagnóstico por Imagem pelo CBR.

### Simone Cristina Soares Brandão

Cardiologista e Médica Nuclear. Especialista em patologias cardiovasculares pela Universidade Paul Sabatier, França. Mestrado em Medicina Interna, UFPE. Doutorado em cardiologia pela FMUSP. Professora Associada de Medicina, UFPE. Chefe do Serviço de Medicina Nuclear – HC/UFPE/EBSEH.

### Thais Menezes do Nascimento

Especialista em medicina nuclear, médica da Clínica Manoel Florencio – Caruaru/PE.

### Vicente Sanchez Aznar Lajarin

Médico radiologista do grupo de tórax do Fleury Medicina Diagnóstica e do grupo de PET-CT da Cedimen, São Paulo-SP.

### Vinicius Capistrano Ferreira

MD, médico nuclear e radiologista, Especialista em medicina nuclear e radiologia do sistema musculoesquelético pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FMB-UNESP).



## Agradecimentos

Gostaria de expressar nossa profunda gratidão aos autores que contribuíram com seus conhecimentos e experiências para tornar este livro uma realidade. Suas contribuições foram inestimáveis e fundamentais para enriquecer o conteúdo e a qualidade desta obra.

Que este livro seja uma homenagem ao trabalho árduo, colaboração e paixão de todos os envolvidos, e que seu impacto perdure para as futuras gerações de leitores e profissionais.

Com sinceros agradecimentos,

**Sara de Melo Macedo Santana  
e Marcelo Araújo Queiroz**





## Dedicatória

Dedico esse livro aos meus pais João e Gilza, fonte inesgotável de inspiração na medicina e na vida, ao meu marido, Thiago, meu grande companheiro, e as minhas filhas Natália e Gabriela que tornam minha jornada sempre mais leve.

***Sara de Melo Macedo Santana***

Dedico aos meus pais, Luiz e Helena, pelas lições de humildade, honestidade e perseverança. À minha amada esposa Roberta, pelo amor verdadeiro, pelo incentivo incondicional e por ser a base da nossa família. Aos meus filhos Isadora, Gustavo e João, fonte de inspiração.

***Marcelo Araújo Queiroz***

xxi





## Prefácio

Em tempos em que a qualidade da formação médica está sendo cada vez mais questionada; em que o número de faculdades de Medicina se multiplica a cada dia, levando a um número crescente de profissionais médicos entrando no mercado de trabalho; e quando a inteligência artificial ameaça substituir a inteligência humana, nunca foi tão importante investir na Educação Permanente.

É neste contexto desafiador, de necessidade da qualificação contínua do médico radiologista e do diagnóstico por imagem, que o Colégio Brasileiro de Radiologia (CBR) lança sua nova coleção de livros abordando suas diversas subespecialidades, somando, ao todo, 15 volumes. Seus editores e autores detêm grande *expertise* no diagnóstico por meio da imagem, e nos honram com a benevolência de compartilhar altruisticamente este importante conhecimento.

Em nome de toda a diretoria do CBR, agradeço aos autores e editores de volume e, em especial, ao nosso diretor científico, Ronaldo Hueb Baroni, editor da Coleção CBR.

Agradeço a todo o time CBR, principalmente o da Educação, e a todos os membros da nossa Comissão Científica, que orquestraram com maestria mais um projeto do CBR em prol da Excelência da Radiologia Brasileira, que este ano completa 76 anos.

Esperamos que este material, cuidadosamente preparado, seja muito bem aproveitado por todos.

**Cibele Alves de Carvalho**  
Presidente do CBR





## Apresentação da Coleção

O Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem (CBR), em seus 76 anos de história, sempre atuou fortemente na defesa da nossa especialidade perante outras entidades médicas, promovendo ações de melhoria de qualidade, zelando pela formação e titulação de especialistas, e mantendo intensa atuação científica, a partir da produção e difusão de conhecimento atualizado em Radiologia. Nesse sentido, é fundamental que tenhamos um material didático e científico próprio do CBR, com conteúdo amplo e atualizado, produzido por colegas que atuam na vanguarda da nossa especialidade.

A nova **Coleção CBR** foi idealizada como uma continuidade da antiga Série CBR, porém, desta vez, com o lançamento simultâneo de 15 volumes que englobam todas as subespecialidades e áreas de interesse da Radiologia e do Diagnóstico por Imagem. Os editores de volumes são todos membros da Comissão Científica do CBR ou de outras sociedades parceiras, enquanto as centenas de autores foram convidados por serem referências nacionais e internacionais em suas áreas do conhecimento.

O conteúdo temático estruturante da **Coleção CBR**, desenvolvido em conjunto pelas áreas científica, de titulação e de ensino e aperfeiçoamento do CBR, baseou-se no Protocolo Brasileiro de Treinamento em Radiologia e Diagnóstico por Imagem, documento que rege o programa das residências médicas em Radiologia e Diagnóstico por Imagem vinculadas ao CBR. Desta forma, a **Coleção CBR** será adotada como material de consulta e de busca de conhecimento atualizado nos diversos centros formadores em Radiologia no Brasil, bem como será indicada como recomendação de leitura e bibliografia oficial do CBR para aqueles que realizarão prova para obtenção de título de especialista em Radiologia e Diagnóstico por Imagem ou outras áreas de atuação relativas a Imagem.

A **Coleção CBR** é uma grande conquista para a Radiologia brasileira. O CBR, como órgão representativo dos radiologistas de todo o Brasil, tem orgulho de promover este conteúdo tão importante para o crescimento contínuo da nossa especialidade.

Esta obra só foi possível graças ao apoio da Diretoria e de todas as áreas envolvidas do CBR, particularmente da equipe de Educação, a quem agradeço por toda a dedicação. E, claro, não poderia deixar de fazer um agradecimento especial aos autores e à Comissão Científica do CBR, que abraçaram de imediato e se envolveram profundamente neste tão relevante projeto.

Desejo a todos uma ótima leitura!

**Ronaldo Hueb Baroni**  
Editor da Coleção CBR

XXV





## Apresentação do Volume

A Medicina Nuclear tem uma história fascinante que remonta ao início do século XX, com os primeiros experimentos de uso de elementos radioativos para diagnóstico e tratamento médico.

A introdução de técnicas como a cintilografia, que permite a visualização de órgãos e sistemas do corpo através da detecção de radiação emitida por radiofármacos têm sido amplamente utilizada para diagnosticar uma variedade de condições médicas, desde doenças cardíacas, neurológicas, renais até o câncer.

A Medicina Nuclear está em constante evolução. Os avanços nos métodos híbridos, como a Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) combinada com Tomografia Computadorizada (TC) ou Ressonância Magnética (RM), como também a Cintilografia com SPECT-CT têm permitido uma imagem mais precisa e detalhada do corpo humano, auxiliando no diagnóstico e planejamento terapêutico de várias doenças.

O PET/CT, em particular, juntamente com o surgimento de novos radiotraçadores específicos vem revolucionando a prática clínica permitindo uma melhor caracterização de diferentes processos neoplásicos no organismo ao fornecer imagens moleculares altamente sensíveis, permitindo a detecção precoce de câncer, a avaliação da resposta ao tratamento e planejamento terapêutico.

Esse crescimento da medicina nuclear fomenta a era do teranóstico, que já existia desde a época do iodo 131 para o diagnóstico e tratamento de Graves e Câncer de tireoide em que utiliza o mesmo radiotraçador e vem ganhando destaque em novos diagnósticos e tratamentos como no Câncer de próstata e nos tumores neuroendócrinos

Esse livro busca oferecer uma compreensão abrangente dos métodos híbridos em Medicina Nuclear, abordando tanto os princípios básicos quanto as aplicações clínicas avançadas na cintilografia e PET/CT em diversas áreas da medicina, como oncologia, cardiologia, neurologia, entre outras. Isso inclui estudos de caso, protocolos de imagem e diretrizes de interpretação para ajudar os profissionais a utilizar essas técnicas de forma eficaz no diagnóstico e tratamento de pacientes.

**Sara de Melo Macedo Santana**

**Marcelo Araújo Queiroz**

xxvii





## Siglas

- **[11C]PIB:** Composto de Pittsburgh B marcado com  $^{11}\text{C}$
- **[18F]DOPA:** 6-Fluor-L-dopa-18F
- **[ $^{18}\text{F}$ ]Fal:** Flúor alumínio
- **$^{11}\text{C}$ :** Carbono-11
- **$^{11}\text{C}$ -METL:** Methyl-11C-metionina
- **$^{123}\text{I}$ -IMT:** Iodo-alfa-metil-tirosina marcado com iodo-123
- **$^{18}\text{F}$ :** Flúor-18
- **$^{18}\text{F}$ -DOPA:** Di-hidroxi fluorofenilalanina marcada com flúor-18
- **$^{18}\text{F}$ -FAZA:** Fluoroazomycin-arabinofluranoside marcada com flúor-18
- **$^{18}\text{F}$ -FDG:** Fluorodeoxiglicose marcada com flúor-18
- **$^{18}\text{F}$ -FET:** Fluoroethyl-L-tirosina marcada com flúor-18
- **$^{18}\text{F}$ -FLT:** Fluortimidina marcada com flúor-18
- **$^{18}\text{F}$ -FMISO:** Fluoromisonidazole marcado com flúor-18
- **$^{68}\text{Ga}$ :** Gálio-68
- **$^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC:** Edotreotide marcado com gálio-68
- **$^{68}\text{Ga}$ -FAPI:** Inibidor da proteína de ativação de fibroblastos marcado com gálio-68
- **$^{82}\text{Rb}$ :** Rubídio-82
- **$^{99\text{m}}\text{Tc}$ :** Tecnécio-99 metaestável (pertechnetato de sódio)
- **$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO:** Hexamethylpropyleneamine oxime
- **A:** Número de massa
- **ACR:** Colégio Americano de Radiologia
- **AC-TTR:** Amiloidose cardíaca subtipo transtirretina
- **ADT:** Terapia de privação androgênica
- **AFP:** Alfafetoproteína
- **AGA:** Anticorpos antigranulócitos
- **AHA/ACC:** American Heart Association
- **AJCC:** Comitê Conjunto Americano de Câncer (American Joint Committee on Cancer)
- **ALARA:** As low as reasonably achievable
- **AIF-NOTA-Octreotide- $^{18}\text{F}$ :** Análogo da somatostatina marcado com flúor-18
- **AMS:** Artéria mesentérica superior
- **AngioTC:** Angiotomografia computadorizada
- **Anti-CCP:** Anticorpos anti-peptídeo citrulinado cíclico
- **ANVISA:** Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- **AR:** Artrite reumatoide
- **ASCO:** Sociedade Americana de Oncologia Clínica (American Society of Clinical Oncology)
- **ASL:** Arterial spin labelling
- **AUC:** Área sob a curva
- **AVC:** Acidente vascular encefálico
- **Bq:** Becquerel
- **CA:** Correção de atenuação
- **Car-T-cell:** Receptor de antígeno quimérico de células T
- **CD:** Coronária direita
- **CDI:** Carcinomas ductais invasivos
- **CEC:** Carcinoma escamo-celular

- **C-GCA:** Arterite de células gigantes em vasos cranianos (*Cranial-giant cells arterites*)
- **CHC:** Carcinoma hepatocelular
- **CIA:** Comunicação interatrial
- **CIV:** Comunicação interventricular
- **CLI:** Carcinomas lobulares invasivos
- **CMR:** Resposta metabólica completa (*Complete metabolic response*)
- **CNEN:** Comissão Nacional de Energia Nuclear
- **CNEs:** Carcinomas neuroendócrinos
- **CO:** Cintilografia óssea
- **COT:** Cintilografia óssea trifásica
- **CPM:** Cintilografia de perfusão miocárdica
- **CQ:** Controle de qualidade
- **CRAB:** Hipercalcemia, insuficiência renal, anemia ou lesão óssea
- **CT:** Tomografia computadorizada (*Computerized tomography*).
- **CTE:** Enterografia por tomografia computadorizada
- **CTLA-4:** *Cytotoxic T-lymphocyte antigen 4*
- **CUP:** Câncer de sítio primário oculto (*Cancer of unknown primary*)
- **CX:** Circunflexa
- **CXCR4:** *C-X-C Motif chemokine receptor 4*
- **CZT:** Cádmio-zinco-telúrio
- **DA:** Descendente anterior
- **DA:** Doença de Alzheimer
- **DAC:** Doença arterial coronariana
- **DAT:** Transportadores dopaminérgicos
- **DECI:** Dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis
- **DFT:** Demência frontotemporal
- **DLFT:** Degeneração lobar frontotemporal
- **DOTA:** *Dose reference level*
- **DOTATATE, DOTATOC e DOTANOC:** Peptídeos análogos da somatostatina
- **DOTATATO-<sup>68</sup>Ga:** Análogo da somatostatina marcado com gálio-68
- **DP:** Doença de Parkinson
- **DRL:** *Dose reference level*
- **DRM:** Doença residual mínima
- **DTI:** *Diffusion tensor imaging*
- **DTPA:** Ácido dietileno triamino pentacético
- **EACTS:** *Endorsed by the European Association for Cardio-Thoracic Surgery*
- **EANM:** *European Association of Nuclear Medicine*
- **EAU:** Associação Europeia de Urologia (*European Association of Urology*)
- **EBV:** Vírus Epstein-Barr
- **EC:** Escore de cálcio
- **EC:** Estádios clínicos
- **ECD- <sup>99m</sup>Tc:** Etilcisteinato dímero
- **ECG:** Eletrocardiograma
- **EDTMP:** Ácido etilenodiaminotetrametileno-fosfônico
- **EHRA:** *European Heart Rhythm Association*
- **EI:** Endocardite infecciosa
- **EI-DCEI:** *Endocardite infecciosa em dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis*
- **EIPV:** Endocardite infecciosa de prótese valvar
- **EIVN:** Endocardite infecciosa em válvula nativa
- **EORTC:** *European Organisation for Research and Treatment of Cancer*
- **EP:** Embolia pulmonar
- **ESC:** *European Society of Cardiology*
- **ESMO:** Sociedade Europeia de Oncologia (*European Society for Medical Oncology*)
- **FAP:** Proteína de ativação de fibroblastos
- **FAPI:** Inibidor de proteína de ativação de fibroblastos
- **FBB:** <sup>18</sup>F-Florbetabeno
- **FDA:** *Food and Drug Administration*
- **FDG:** <sup>18</sup>F-Fluorodeoxiglicose
- **FES:** <sup>18</sup>F-Fluoroestradiol
- **FEVE:** Fração de ejeção do ventrículo esquerdo
- **FLIPI:** *Follicular Lymphoma International Prognostic Index*
- **FO:** Fator de ocupação
- **FOI:** Febre de origem indeterminada
- **FOO:** Febre de origem obscura
- **FOV:** Campo de visão
- **FR:** Fator reumatoide
- **FSE:** Fluxo sanguíneo no estresse
- **FSM:** Fluxo sanguíneo miocárdico
- **FSR:** Fluxo sanguíneo no repouso
- **GH:** Hormônio do crescimento

XXX

- **GHSG:** *German Hodgkin`s Lymphoma Study Group*
- **GLUT:** *Glucose transporters*
- **GTV:** Volume tumoral visível/grosseiro (*Gross tumor volume*)
- **HCC:** Hepatocarcinoma
- **HCL:** Histiocitose de células de Langerhans
- **HDP:** Hidroxidifosfonado
- **HMPAO:** Hexametilpropilenoaminooxima
- **HNCUP:** Câncer de cabeça e pescoço de origem oculta (*Head and neck cancer of unknown primary*)
- **HPV:** Papiloma vírus humano
- **IAEA:** Agência Internacional de Energia Atômica (*International Atomic Energy Agency*)
- **IAM:** Infarto agudo do miocárdio
- **ICFEP:** Insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada
- **ICFER:** Insuficiência cardíaca com fração de ejeção reduzida
- **Ig:** Imunoglobulina
- **imPERCIST:** *Modified PET response criteria in immunotherapy*
- **IMPETUs:** *Italian myeloma criteria for PET*
- **IMWG:** *International Myeloma Working Group*
- **IN:** Instrução normativa
- **INOCA:** Isquemia com artérias coronárias sem obstrução
- **IOD:** Inflamação de origem desconhecida
- **IOE:** Indivíduo ocupacionalmente exposto
- **iPERCIST:** *Modified PET Response Criteria in Immunotherapy*
- **iPET:** PET/CT ínterim
- **IPI:** Índice de prognóstico internacional
- **IPMN:** Neoplasias mucinosas papilares intraductais
- **irAEs:** Eventos adversos relacionados à imunoterapia (*Immune-related adverse events*)
- **ISCHEMIA:** *International Study of Comparative Health Effectiveness With Medical and Invasive Approaches*
- **ISCVID:** *International Society of Cardiovascular Infectious Diseases*
- **JACC:** *Journal of American College of Cardiology*
- **keV:** Quilo elétron-volt
- **KV:** Quilovolt
- **LDGCB:** Linfoma difuso de grandes células B
- **LDH:** Desidrogenase láctica
- **LF:** Linfoma folicular
- **LH:** Linfoma de Hodgkin
- **LHC:** Linfoma de Hodgkin clássico
- **LM:** Leucócitos marcados
- **LNH:** Linfoma não-Hodgkin
- **LS:** Linfonodo sentinela
- **LV-GCA:** Arterite de células gigantes em grandes vasos (*Large vessels-giant cells arterites*)
- **mA:** Milliampere
- **MAA:** Macroagregado de albumina
- **MAGIC:** Colaboração para manejo de infecção de enxertos aórticos
- **MALT:** Tecido linfoide associado à mucosa
- **mAs:** Milliampere-segundo
- **MBq:** Megabecquerel
- **mCi:** Millicurie
- **MDP:** Difosfonato de metileno
- **MDP-99mTc:** Tecnécio-99m metileno difosfonato
- **MDTC:** Tomografia computadorizada de múltiplos detectores
- **MeV:** Mega-elétron-volt
- **MGUS:** Gamopatia de significado indeterminado
- **MIP:** Projeção de intensidade máxima (*Maximum intensity projection*)
- **MM:** Mieloma múltiplo
- **MN:** Medicina nuclear
- **MO:** Medula óssea
- **MTV:** Volume tumoral metabólico (*Metabolic tumor volume*)
- **N:** Número de nêutrons
- **Na<sup>18</sup>FJF:** Fluoreto de sódio
- **NANETS:** Sociedade Norte Americana de Tumores Neuroendócrinos
- **NCCN:** *National Comprehensive Cancer*
- **NGIS:** Neoplasia de célula germinativa *in situ*
- **NEMA:** *National Electrical Manufacturerers Association*
- **NI-RADS:** Sistema de laudos e dados de imagem do pescoço (*Neck imaging reporting and data system*)
- **NK:** *Natural killer*

- **NOTA-<sup>18</sup>F**: Octreotida-NOTA-alumínio(<sup>18</sup>F)
- **NRD**: Nível de referência de dose
- **OctreoScan®**: Octreotídeo marcado com índio-111
- **ON**: Osteonecrose
- **OS**: Sobrevida global
- **PAAF**: Punção aspirativa por agulha fina
- **PARR-2**: PET and recovery following revascularization
- **PCI**: Pesquisa de corpo inteiro
- **PD**: Progressão de doença
- **PD1**: Programmed death-1
- **PDL1**: Programmed death-ligand 1
- **PERCIST**: Positron emission tomography response criteria in solid tumors
- **PET/CT**: Tomografia computadorizada por emissão de pósitron
- **PET/CTA**: Angiotomografia cardíaca acoplados ao PET
- **PET/RM**: Tomografia computadorizada por emissão de pósitron/ressonância magnética
- **PET**: Tomografia por emissão de pósitrons
- **PET-FDG**: Tomografia por emissão de pósitrons com fluordesoxiglicose marcada com <sup>18</sup>Flúor e Tomografia computadorizada (PET/CT com FDG-<sup>18</sup>F)
- **PET-FES**: Tomografia por emissão de pósitrons com fluoroestradiol marcada com <sup>18</sup>Flúor e Tomografia computadorizada (PET/CT com FES-<sup>18</sup>F)
- **PET-Her2**: Tomografia por emissão de pósitrons com anticorpo monoclonal marcado com <sup>89</sup>Zircônio e tomografia computadorizada (PET/CT com transtuzumab-<sup>89</sup>Zr)
- **PET-MR**: Positron emission tomography and magnetic resonance
- **PIB**: <sup>11</sup>C-Composto B de Pittsburgh
- **PMD**: Doença metabólica progressiva (Progressive metabolic disease)
- **PMN**: Células polimorfonucleares
- **PMR**: Resposta metabólica parcial (Partial metabolic response)
- **PPGL/Feo**: Paragangliomas/feocromocitomas
- **PRIMA-PI**: PRIMA – Prognostic index
- **PRRT**: Radioterapia com receptor peptídico
- **PSMA**: Antígeno de membrana específico da próstata
- **PTH**: Paratormônio
- **QRT**: Quimiorradioterapia
- **RDC**: Resolução da diretoria colegiada
- **RE**: Radioembolização
- **RECIST**: Response evaluation criteria in solid tumors
- **REVIVED-BCIS2**: Revascularization for ischemic ventricular dysfunction – The British Cardiovascular Intervention Society 2
- **RM**: Ressonância magnética
- **RMf**: RM funcional
- **RMP**: Resposta metabólica parcial
- **RNM**: Ressonância nuclear magnética
- **ROLL**: Radioguided occult lesion localization
- **RT**: Radiotraçador
- **Rx**: Radiografia
- **SC**: Sarcoidose cardíaca
- **SDRC**: Síndrome da dor regional complexa
- **SESTAMIBI-<sup>99m</sup>Tc**: Metoxi isobutil isonitrila marcado com tecnécio-99 metaestável
- **SG**: Sobrevida global
- **SHBG**: Globulina ligadora de hormônios sexuais
- **SLP**: Sobrevida livre de progressão
- **SLR**: Sobrevida livre de recorrência
- **SM**: Smoldering mieloma
- **SMD**: Doença metabólica estável (Stable metabolic disease)
- **SNc**: Pars compacta da substância nigra
- **SNMMI**: Sociedade Americana de Medicina Nuclear e Imagem Molecular
- **SNOLL**: Sentinel node and occult lesion localization
- **SO**: Sarcomas ósseos
- **SPECT/CT**: Tomografia computadorizada por emissão de fóton único/Tomografia computadorizada
- **SPECT**: Tomografia computadorizada por emissão de fóton único (Single photon emission computed tomography)
- **SPM**: Sarcomas de partes moles
- **SRM**: Sem resposta metabólica
- **SSA**: Análogos da somatostatina
- **SSTR**: Receptores da somatostatina
- **Sstr2**: Receptor de somatostatina do tipo 2
- **STICH**: Surgical Treatment for Ischemic Heart Failure
- **SUL-peak**: Valor de captação máxima dentro da lesão, corrigido pela massa corporal magra do paciente (Peak lean body mass corrected standardized uptake value)

- **SUV:** Valor de captação padronizada (*Standard uptake value*)
- **TAD:** *Targeted axillary dissection*
- **TAVI:** *Transcatheter aortic valve implantation*
- **TC:** Tomografia computadorizada
- **TCG:** Tumores de células germinativas
- **TCGNS:** Tumores de células germinativas não-seminomatosos
- **TEP:** Tromboembolismo pulmonar
- **TID:** Dilatação isquêmica transitória
- **TLG:** Glicólise total da lesão (*Total lesion glycolysis*)
- **TNEs:** Tumores neuroendócrinos
- **TSH:** Hormônio de estimulação da tireoide (*Thyroid stimulating hormone*)
- **US:** Ultrassom
- **USG:** Ultrassonografia
- **V/P:** Cintilografia de ventilação/perfusão
- **VEF:** Volume expiratório forçado
- **VHB:** Vírus da hepatite B
- **VHC:** Vírus da hepatite C
- **VHS:** Velocidade de hemossedimentação
- **VJI:** Veia jugular interna
- **VPN:** Valor preditivo negativo
- **VPP:** Valor preditivo positivo
- **Xe-133:** Xenônio 133
- **Z:** Número de prótons
- **$\beta$ -HCG:** Fração  $\beta$  da gonadotrofina coriônica humana





## Sumário

### SEÇÃO I – CONCEITOS BÁSICOS

- 1 Aspectos Físicos e Radioproteção do PET, 3**  
EDUARDO TINOIS | CLÉDISON CUNHA | FERNANDO FERNANDES
- 2 Preparo e Protocolo de Aquisição dos Exames de PET/CT, 17**  
PRISCILLA ROMANO GASPAR | BEATRIZ ARRUDA | CAROLINA PEREZ | MARIA FERNANDA REZENDE
- 3 Traçadores de PET: FDG e Outros, 31**  
DANIELE DE PAULA FARIA | CHIARA MARIA RIGHINI | JADER CUNHA DE AZEVEDO | FABIO LUIZ NAVARRO MARQUES

### SEÇÃO II – APLICAÇÕES ONCOLÓGICAS

- 4 Métodos Híbridos em Tumores da Região de Cabeça e Pescoço, 43**  
ANTONIO EDUARDO SANTOS STROPPA | GEORGE BARBERIO COURA FILHO | ADELINA SANCHES | ANDREA SANTOS DUMONT COSTACURTA
- 5 PET/CT no Câncer de Pulmão, 59**  
RAFAEL MIDLEJ BRITO | SARA DE MELO MACEDO SANTANA | JOSÉ LEITE GODIM CAVALCANTI FILHO  
MURILO FERRAZ DE HOLANDA | VICENTE SANCHEZ AZNAR LAJARIN

XXXV

- 6 PET/CT em Tumores Hepatopancreatobiliares, 73**  
DALTON ALEXANDRE DOS ANJOS | LILIAN YURI ITAYA YAMAGA | ANDREZZA TAVARES DAMBROZ | NELISA HELENA ROCHA
- 7 PET/CT em Tumores Esofagogástricos e Colorretais, 83**  
POLIANA FONSECA ZAMPIERI | BÁRBARA JUAREZ AMORIM | CAROLINA MAUTONI | ADALBERTO ARÃO FILHO
- 8 PET/CT em Tumores do Trato Urinário (Adrenal, Rim, Bexiga e Testículos), 95**  
PAULO HENRIQUE ROSADO DE CASTRO | ANNA CAROLINA BORGES DA SILVA | CHRISTIANE SACRAMENTO MAGALHÃES  
FRANCISCO DE ASSIS ROMEIRO FIGUEIROA BENÍCIO COELHO | RAQUEL DE PAULA MENDES DE OLIVEIRA
- 9 PET/CT na Avaliação dos Tumores Ginecológicos, 107**  
RENATA MOREIRA | CAROLINE SALES FIGUEIREDO | GIOVANNA SAWAYA TORRE
- 10 PET/CT em Melanoma, Sarcomas e Tumores Ósseos, 121**  
NELISA HELENA ROCHA | FABIANA LUCAS BUENO | FLÁVIA DORNELAS KURKOWSKI | LARISSA FERNANDA MEDEIROS VIEIRA | RENATA FOCKINK DOS ANJOS
- 11 PET/CT em Linfomas, 133**  
CELSE DARIO RAMOS | CAROLINA PEREZ | FELIPE PICCARONE GONÇALVES RIBEIRO | CARMINO ANTONIO DE SOUZA
- 12 PET/CT no Mieloma Múltiplo, 147**  
CAMILA MOSCI | MARCO ANTÔNIO DE OLIVEIRA CONDE | THAIS MENEZES DO NASCIMENTO | MARCOS SANTOS LIMA
- 13 Imagem Molecular no Câncer de Mama, 161**  
LARISSA BASTOS COSTA | REGIS OQUENDO NOGUEIRA | ROBERTA BIRCHALL BICUDO QUEIROZ | CARLOS HENRIQUE DOS ANJOS  
ELBA CRISTINA SÁ DE CAMARGO ETCHEBEHERE
- 14 PET/CT PSMA para Tumores de Próstata, 175**  
MATEOS BOGONI | CAMILA EDITH STACHERA STASIAK | ELBA ETCHEBEHERE
- 15 PET/CT com Análogo da Somatostatina, 187**  
GUSTAVO DO VALE GOMES | JÚLIO CÉSAR SILVEIRA DE OLIVEIRA | JÚLIO MARCUS SOUSA CORREIA  
MARIAN BEATRICE LOURENÇO MARTINS | GABRIELA EL HAJE LOBO ROCHA

**16 Avaliação de Resposta Terapêutica, 197**

GUILHERME DE CARVALHO CAMPOS NETO | BRUNA KOZLOWSKI ANDREUCCI

**17 PET/CT em Pediatria, 209**

PAULO JOSÉ DE ALMEIDA FILHO | ALINE LOPES GARCIA LEAL

**SEÇÃO III – APLICAÇÕES CLÍNICAS NÃO ONCOLÓGICAS****18 Imagem Molecular e Medicina Nuclear em Neurologia, 223**

ARTUR MARTINS COUTINHO | ANNE CAROLINE GOMES | CRISTINA MATUSHITA | MATEUS ROZALEM ARANHA | CARLA RACHEL ONO

**19 PET/CT em Cardiologia (Ênfase em Processos Inflamatórios/Infecciosos), 241**

RAPHAEL ABEGÃO DE CAMARGO | BRUNO GOMES PADILHA | DANIELA ANDRADE FERRARO | RINALDO FOCACCIA SICILIANO | SIMONE CRISTINA SOARES BRANDÃO

**20 Imagem Molecular nos Processos Inflamatórios Sistêmicos, 259**

DIEGO BROMFMAN PIANTA | ISABELLA CATERINA PALAZZO | ROSANA SOUZA RODRIGUES

**SEÇÃO IV – MEDICINA NUCLEAR CONVENCIONAL****21 Medicina Nuclear em Cardiologia, 273**

LUCAS CRONEMBERGER MAIA MENDES | CLÁUDIO TINOCO MESQUITA | RAFAEL WILLAIN LOPES | BRUNO PADILHA

**22 Medicina Nuclear nas Doenças Gastrointestinais, 285**

DANIELLE GUJANWSKI | MARIA ISABEL CANCIO RODRIGUES | LEANDRO TINAGERO HYPPOLITO | ALAN YAZALDY CHAMBI COTRADO | KARINA YURI SEITO

**23 Medicina Nuclear nas Doenças Pulmonares, 303**FELIPE H. VILLELA PEDRAS | MAYARA AGUILAR DIAS DE BRITO | VINICIUS CAPISTRANO FERREIRA  
MARCELO MAMEDE | JOÃO ANTONIO MACEDO SANTANA



**24 Medicina Nuclear nas Doenças Musculoesqueléticas, 313**

DANIELA DOS ANJOS ODA MONTEIRO | ANDRÉ GUSTAVO SILVA PINO | BRUNO GALAFASSI GHINI | DILMA MARIKO MORITA | FABIO F. RIBEIRO

**25 Medicina Nuclear nas Doenças do Trato Urinário, 327**

MARCELO TATIT SAPIENZA | ALINE OLIVEIRA | ANDRÉ OLIVEIRA | GEORGE BARBÉRIO COURA FILHO





# Seção I – Conceitos Básicos





# Aspectos Físicos e Radioproteção do PET

## INTRODUÇÃO

### Medicina nuclear

A medicina nuclear é uma especialidade médica que utiliza substâncias radioativas para fins diagnósticos, terapêuticos e pesquisas. Sua aplicação na Medicina procura avaliar o comportamento da biodistribuição *in vivo* dos radionuclídeos, a fim de estudar a fisiologia dos órgãos.

O procedimento geral básico na medicina nuclear envolve a administração de radiofármacos nos pacientes, que pode ser por via oral, intravenosa ou inalatória, dependendo do órgão que será avaliado, e a posterior aquisição das imagens.

As principais técnicas no diagnóstico por imagem na medicina nuclear são a tomografia computadorizada por emissão de fóton único (SPECT) e a tomografia por emissão de pósitrons (PET). Essas técnicas são associadas à Tomografia Computadorizada (TC) para melhor visualização da anatomia dos órgãos. Na SPECT/CT, os radionuclídeos administrados nos pacientes emitem radiação gama que são capazes de interagir com o detector da câmara cintilográfica e formar imagens tridimensionais, mostrando a distribuição da substância radioativa nos órgãos, o que permite avaliar sua função. Já no *positron emission tomography computed tomography* (PET/CT), utilizam-se radionuclídeos emissores de pósitrons, os quais são aniquilados ao encontrar elétrons, fornecendo imagens detalhadas da atividade metabólica. São normalmente usados em oncologia, para detecção de tumores, planejamento e avaliação da resposta ao tratamento.

Na terapia em medicina nuclear, são utilizados radionuclídeos emissores de radiação alfa ou beta, a depender do tipo de câncer a ser tratado. Alguns radionuclídeos, por

emitirem radiação alfa e/ou beta e radiação gama, estão associados ao tratamento e diagnóstico (teranóstico) simultaneamente.

### Sistemas híbridos de imagens

Os sistemas híbridos possuem essa denominação porque se trata de equipamentos de diagnóstico por imagem que combinam duas tecnologias de imagens num único modelo. Na medicina nuclear, os principais são a SPECT/CT, PET/CT e PET/RM. Os sistemas híbridos fornecem informações mais abrangentes e precisas, já que é feita a fusão das imagens de cada modalidade, e assim, dados sobre a anatomia e a fisiologia dos órgãos do paciente são avaliados simultaneamente.

## FÍSICA DAS RADIAÇÕES PET

### Átomo

#### Modelos atômicos

Ao longo da história, vários modelos atômicos foram propostos para representar a estrutura da matéria e seu comportamento.

Em 1803, John Dalton propôs uma das primeiras teorias sobre a natureza do átomo. Para Dalton, os átomos eram esferas indivisíveis e indestrutíveis, sendo a menor unidade da matéria. Além disso, átomos de elementos diferentes teriam massa e tamanhos diferentes. Em 1897, Joseph John Thomson descobriu os elétrons e propôs que o átomo era formado por uma esfera maciça de carga positiva com elétrons distribuídos em sua superfície. Em 1911, o modelo atômico de Ernest Rutherford propôs que o átomo era formado por um núcleo positivo e elétrons ao seu redor. Em 1913, Niels Bohr desenvolveu um modelo atômico em

que os elétrons ocupavam órbitas circulares com energia definida ao redor do núcleo, e com isso, para a transição dos elétrons entre as órbitas era preciso absorver ou liberar energia. Em 1926, com o desenvolvimento da equação de onda por Erwin Schrödinger, o modelo atômico passou a considerar o comportamento probabilístico dos elétrons ao redor no núcleo, ou seja, a probabilidade em que os elétrons são encontrados com maior frequência.

### Núcleo

O núcleo é a região central do átomo, formado por prótons e nêutrons. Ao redor do núcleo temos a eletrosfera, na qual orbitam os elétrons. Prótons, nêutrons e elétrons são as principais partículas que constituem o átomo.

Os prótons possuem carga elétrica positiva e os nêutrons não possuem carga, no entanto, se assemelham em relação à massa. Já os elétrons, possuem carga negativa e sua massa é extremamente pequena. O número de prótons também identificado como o número atômico, representado por  $Z$ , determina as propriedades químicas do elemento. O número de massa do átomo, representado por  $A$ , é formado pela soma do número de prótons ( $Z$ ) e o número de nêutrons, representado por  $N$ . Dessa forma, a representação de um elemento químico pode ser dada como  ${}^A_ZX$ .

### Estabilidade nuclear

No núcleo, as principais forças que atuam são a força nuclear forte, que possui curto alcance e é responsável pela atração entre prótons e nêutrons, e a repulsão eletromagnética (fraca), que é a força de repulsão entre os prótons. O equilíbrio entre estas forças mantém a estabilidade no núcleo. Caso o número de prótons seja muito grande, a força de re-

pulsão pode superar a força nuclear forte e levar à instabilidade nuclear, e conseqüentemente, a desintegração radioativa, a fim de buscar a estabilidade. Dessa forma, a estabilidade de um núcleo atômico também pode estar relacionada com a razão entre o número de nêutrons ( $N$ ) e prótons ( $Z$ ).

### Decaimento radioativo

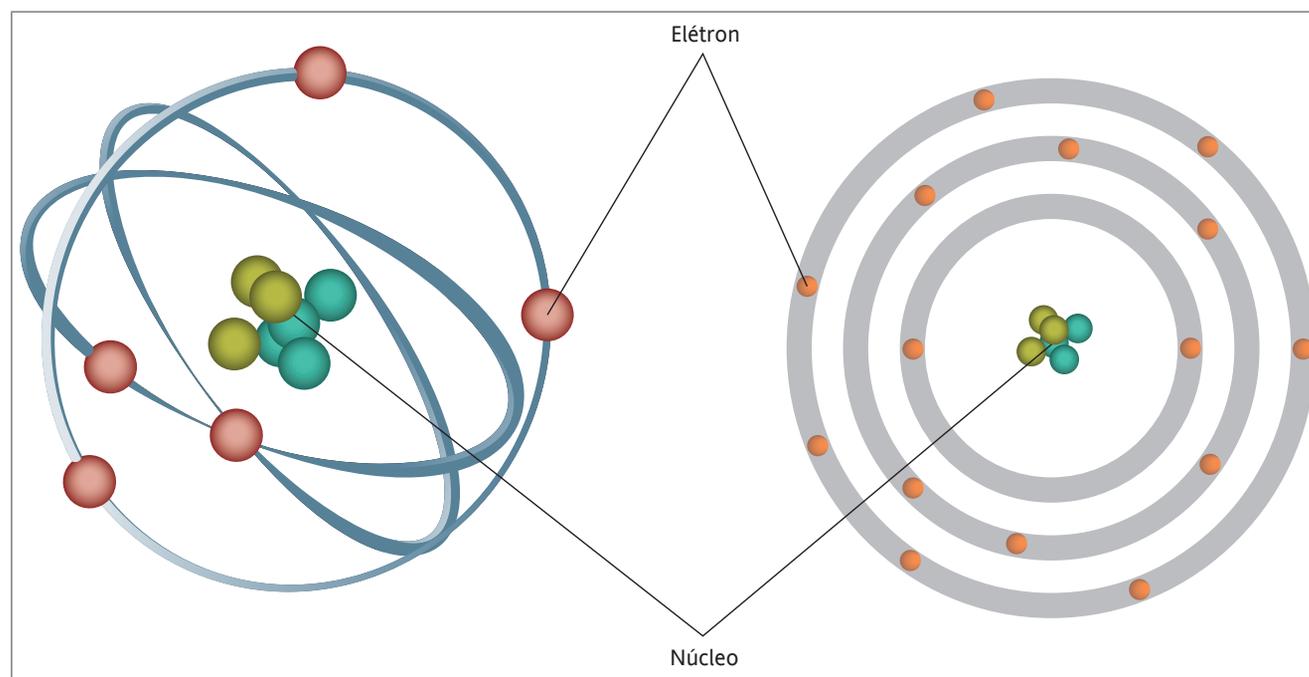
O decaimento radioativo ocorre quando um núcleo instável libera energia na forma de partículas ou radiação eletromagnética para atingir uma configuração mais estável. Esta energia emitida pelo núcleo do átomo é denominada radiação ionizante, e as principais formas de radiação nuclear emitidas são alfa, beta e gama.

### Fissão nuclear

A fissão nuclear está relacionada à divisão de um átomo pesado, como, por exemplo, o  ${}^{235}\text{U}$ , em fragmentos menores, normalmente a partir da colisão de nêutrons com o núcleo, liberando uma quantidade significativa de energia. Esse processo ocorre de forma segura em reatores nucleares e os radionuclídeos gerados podem ser utilizados, principalmente, na medicina nuclear.

### Radiação alfa

A radiação alfa é composta por dois prótons e dois nêutrons, ou seja, são núcleos de hélio. São eletricamente carregadas e por serem partículas, possuem massa e são consideradas pesadas em relação aos outros tipos de radiação corpuscular. Por conta dessas características, possui baixa capacidade de penetração, podendo ser barrada por uma folha de papel. No entanto, em razão de seu alto poder de ionização, interage intensamente com a maté-



**FIGURA 1.1** – Representação do modelo atômico atual na forma geométrica (esquerda) e na forma quântica (direita).

Fonte: Acervo ISTRAD/Eduardo Tinois.

ria, depositando toda sua energia em uma pequena região. A desintegração alfa tem maior probabilidade de ocorrer com elementos químicos de números atômicos mais altos.

### Radiação beta (-)

A radiação beta também é composta por partículas e sua emissão ocorre quando o núcleo do átomo possui excesso de nêutrons ou prótons. Para manter a estabilidade, acontecem desintegrações para equilibrar essa relação.

Na desintegração beta (-), o núcleo possui excesso de nêutrons, com isso, um nêutron é convertido em um próton e uma partícula beta negativa é emitida. A radiação beta negativa tem as mesmas características do elétron.

### Radiação beta (+)

Na desintegração beta (+), o núcleo possui excesso de prótons, com isso, um próton é convertido em um nêutron e uma partícula beta positiva é emitida. A radiação beta positiva possui massa igual à do elétron, mas com carga positiva, chamada de pósitron. Na medicina nuclear, radionuclídeos emissores de pósitrons, como o  $^{18}\text{F}$  são utilizados para imagem de PET/CT, pois a radiação beta (+) interage com os elétrons do tecido humano, resultando na aniquilação e produção de dois fótons de energia 511 keV cada, em sentidos opostos.

Em comparação com a alfa, a partícula beta é menor, mais leve e mais rápida, com capacidade de penetração maior.

### Captura eletrônica

Na captura eletrônica, assim como na desintegração beta (+), o núcleo atômico instável possui excesso de prótons em relação aos nêutrons. Com isso, um elétron da câmara orbital mais próxima do núcleo (camada K) é capturado por um próton, transformando-se em um nêutron e liberando um neutrino. A vacância deixada no orbital pode ser ocupada por um elétron de camadas mais externas, gerando emissão de raios-X característicos.

### Radiação gama

A emissão de radiação gama não ocorre como um processo primário, está normalmente associada a núcleos instáveis que emitem partículas alfa e/ou beta, e para alcançar um estado mais estável, ainda emite radiação gama. Os raios gama são radiações eletromagnéticas, ou seja, não possuem massa nem carga elétrica, por isso, tem alto poder de penetração. Por essas características, são utilizados na formação de imagens em exames de medicina nuclear, pois conseguem chegar até o detector das câmaras cintilográficas.

## Quantificação da radioatividade

### Meia-vida

A meia-vida física de um elemento radioativo corresponde ao tempo necessário para que metade dos átomos de uma amostra se desintegre, ou seja, após cada

período correspondente à meia-vida do radionuclídeo, a quantidade de material radioativo é reduzida pela metade. Cada radionuclídeo tem sua própria meia-vida característica. A equação que corresponde à meia-vida física ( $T_{1/2}$ ) é dada por:

$$T_{1/2} = 0,693/\lambda$$

Em que:  $\lambda$  corresponde à constante de decaimento radioativo do elemento.

Quando o material radioativo está no interior do corpo, como no caso de exames da medicina nuclear, é preciso levar em consideração a meia-vida biológica, pois se refere ao tempo necessário para que metade do material radioativo seja excretado pelo organismo por meios biológicos naturais e depende de alguns fatores, como afinidade por órgãos específicos, eliminação pelo organismo e outros processos metabólicos. Com isso, a meia-vida efetiva ( $T_{1/2(\text{Ef})}$ ) leva em consideração a meia-vida física ( $T_{1/2(\text{Fis})}$ ) e a meia-vida biológica ( $T_{1/2(\text{Bio})}$ ) e pode ser representada por:

$$1/T_{1/2(\text{Efetiva})} = 1/T_{1/2(\text{Física})} + 1/T_{1/2(\text{Biológica})}$$

### Constante de desintegração

A constante de desintegração ( $\lambda$ ) é a medida da probabilidade por unidade de tempo para que um núcleo radioativo se desintegre, ou seja, corresponde à taxa com que um radionuclídeo decai e é inversamente proporcional à meia-vida física, já que quanto maior for a constante de desintegração, mais rápida será a taxa de decaimento, e consequentemente, menor a meia-vida. Essa constante é uma característica específica para cada radionuclídeo.

A equação que representa a probabilidade de desintegração radioativa ao longo do tempo é dada por:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Onde  $N(t)$  é a quantidade do radionuclídeo no tempo  $t$ ;  $N_0$  é a quantidade inicial;  $\lambda$  é a constante de desintegração.

### Equação de decaimento

A atividade ( $A$ ) é uma grandeza utilizada para medir a taxa de desintegração radioativa, ou seja, corresponde ao número de átomos que se desintegram por unidade de tempo e sua unidade é expressa em Becquerel (Bq). Outra unidade para atividade ( $A$ ) muito utilizada no dia a dia dos serviços de medicina nuclear é o Curie (Ci) que corresponde a  $3,7 \times 10^{10}$  Becquerel (Bq).

A equação da atividade ( $A$ ) de um radionuclídeo pode ser representada por:

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Em que:  $A(t)$  é a atividade do radionuclídeo em função do tempo e  $A_0$  é a atividade inicial.

## INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

A interação da radiação com a matéria é um processo que envolve a transferência de energia das radiações para átomos e moléculas que estejam em seu trajeto, no meio irradiado. Com isso, são muito utilizados em medicina nuclear, tanto para a formação de imagens diagnósticas, quanto para terapia com radionuclídeos.

### Interação das partículas alfa

Como descrito anteriormente, as partículas alfas são constituídas de dois prótons e dois nêutrons; por isso, são muito pesadas e possuem carga elétrica positiva. Essas características fazem com que seu poder de ionização seja muito alto e tenha uma interação muito intensa com a matéria, depositando toda sua energia em poucos milímetros. Como possui baixo poder de penetração, sua utilidade está voltada para a terapia.

Na medicina nuclear, sua principal aplicação ocorre através do radionuclídeo Ra-223, utilizado em tratamento de pacientes com câncer de próstata resistente à castração com metástase óssea. Como o Ra-223 possui afinidade química pelos ossos, ao ser administrado no paciente, será absorvido em regiões com atividade osteoblástica aumentada, e assim, a energia proveniente da radiação alfa agirá nas células cancerígenas.

### Interação das partículas beta

Por possuir massa bem menor em comparação com a radiação alfa e carga elétrica menor, a radiação beta tem poder de ionização mais baixo, com isso, seu poder de penetração é maior em relação à alfa e acaba depositando sua energia ao longo de uma trajetória pouco maior. Ainda assim, interage por poucos milímetros, e consequentemente, como as partículas alfas, também é utilizada apenas para fins terapêuticos na medicina nuclear. No entanto, alguns radionuclídeos podem emitir radiação beta e gama, por isso, podem ser utilizados no teranóstico, ou seja, a radiação beta terá ação terapêutica e a radiação gama na formação da imagem diagnóstica.

O Iodo-131 é um exemplo de radionuclídeo que emite radiação beta e gama, e é utilizado para tratar hipertireoidismo, câncer de tireoide e metástases relacionadas ao Ca de tireoide, além de ser usado no diagnóstico com a pesquisa de corpo inteiro com I-131.

Atualmente, no teranóstico, tem se usado o Lu-177 – *prostate-specific membrane antige* (PSMA) e o Lu-177 – *dose reference level* (DOTA), que atendem nas terapias de câncer de próstata e tumores neuroendócrinos, respectivamente, além de obter imagens diagnósticas para o acompanhamento do tratamento.

## Interação dos raios gama e X

Por não possuírem carga elétrica e massa, as radiações eletromagnéticas podem percorrer grandes trajetos antes de interagir. São consideradas indiretamente ionizantes, pois interagem individualmente com os elétrons, gerando novas ionizações. Nesse processo, os fótons incidentes transferem parte ou toda sua energia para os elétrons do meio, resultando no desaparecimento do fóton ou na alteração de sua trajetória para diferentes ângulos.

Os principais efeitos da interação da radiação gama e X com a matéria são: efeito fotoelétrico, espalhamento Compton e a produção de pares.

### Efeito fotoelétrico

No efeito fotoelétrico, a energia total do fóton incidente é transferida para um único elétron orbital, geralmente da camada K, por ser mais fortemente ligado ao núcleo, o qual é ejetado de sua camada eletrônica. Para que o efeito fotoelétrico ocorra, a energia do fóton incidente deve ser maior que a energia de ligação do elétron. Sua direção de saída em relação ao fóton incidente depende da energia, já que para altas energias, a maior probabilidade é que o elétron seja ejetado no sentido do fóton incidente e para baixas energias, a maior probabilidade é que o elétron tenha a direção de sua trajetória alterada. A predominância do efeito ocorre para fótons de baixas energia e elementos químicos de número atômico elevado.

### Efeito compton

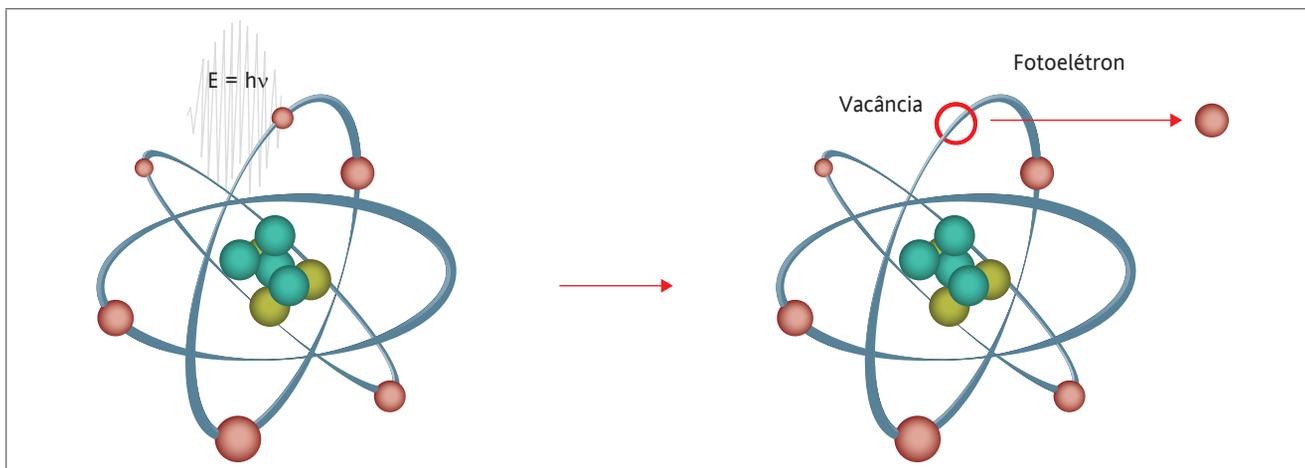
No efeito Compton, o fóton interage com um elétron periférico do átomo, que possui baixa energia de ligação, cedendo parte de sua energia, o que resulta na emissão de um fóton com menor energia, mas com direção da trajetória alterada. O espalhamento Compton tem maior probabilidade de ocorrer quando a energia de ligação dos elétrons orbitais é desprezível em relação à energia do fóton incidente. A predominância desse espalhamento acontece para fótons que incidem com energia intermediária (100 keV a 1 MeV).

### Produção de pares

A produção de pares ocorre quando o fóton incidente tem energia superior a 1,022 MeV, que corresponde a duas vezes a energia do elétron em repouso. Quando esses fótons de alta energia interagem com o campo elétrico nuclear de elevado número atômico, há formação de um par elétron-pósitron. O pósitron logo interage com o elétron do meio material, ocorrendo aniquilação, que dá origem a dois fótons de 0,511 meV cada.

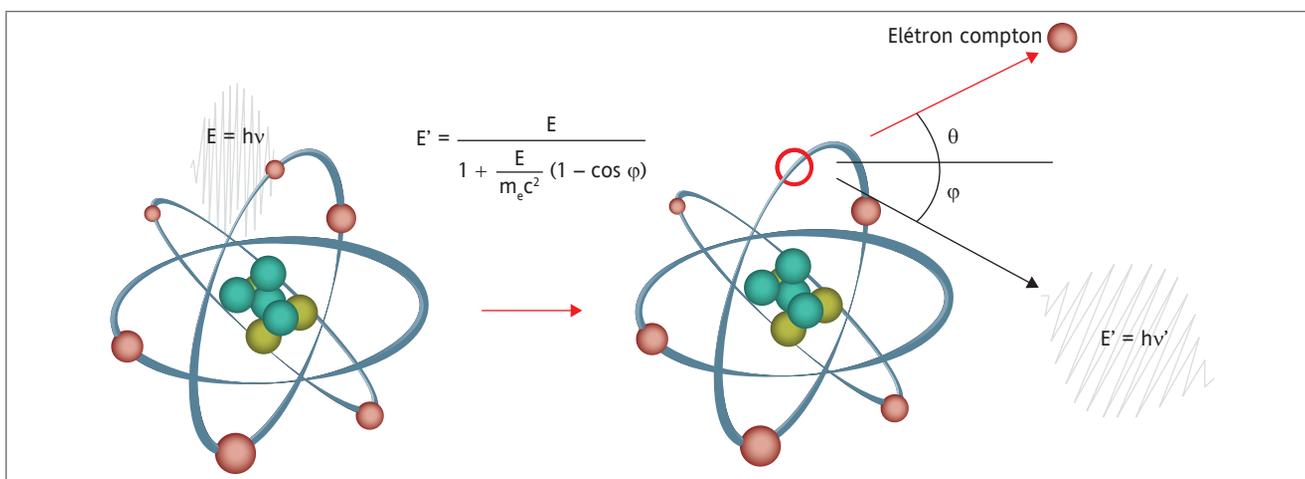
### Aplicação na medicina nuclear

Na medicina nuclear, as radiações eletromagnéticas são responsáveis pela formação da imagem diagnóstica, pois suas características permitem que as interações ocorram no detector do equipamento. Como possuem grande poder de penetração, as radiações eletromagnéticas conseguem atravessar



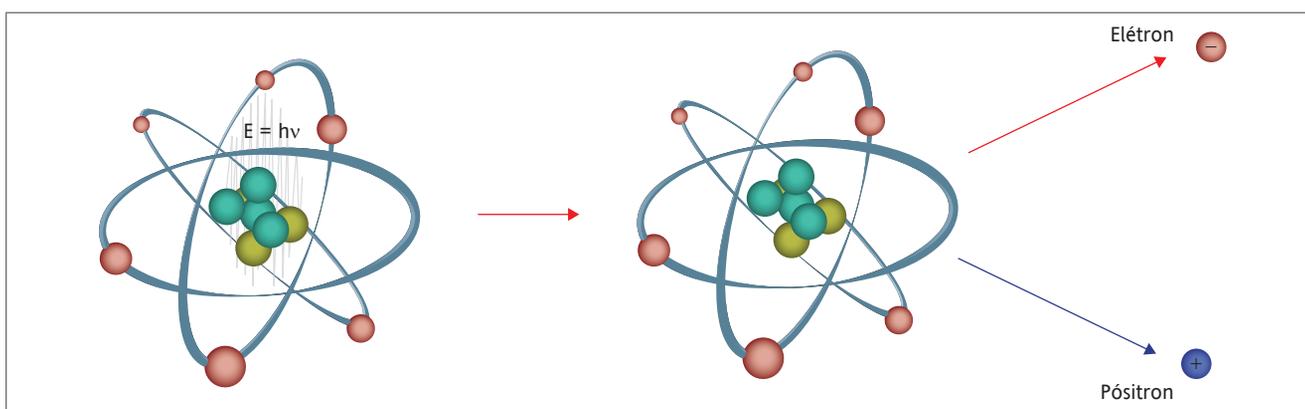
**FIGURA 1.2** – Representação do efeito fotoelétrico.

Fonte: Acervo ISTRAD/Eduardo Tinois.



**FIGURA 1.3** – Representação do efeito Compton.

Acervo ISTRAD/Eduardo Tinois.



**FIGURA 1.4** – Representação da produção de pares.

Acervo ISTRAD/Eduardo Tinois.

o corpo do paciente e ter energia suficiente para chegar até a região do equipamento que detecta as interações, e assim, formar as imagens. Um dos radionuclídeos mais utilizados na medicina nuclear é o  $^{99m}\text{Tc}$ , pois é um emissor gama, com fotópico de energia de 140 keV, suficiente para obter imagens

na câmara cintilográfica. Já no PET/CT, são usados radionuclídeos emissores de pósitrons que ao interagir com elétrons da matéria, serão aniquilados, produzindo dois fótons de 511 keV emitidos em sentidos opostos, os quais serão detectados pelo equipamento para formação da imagem.

## FÍSICA DAS RADIAÇÕES – TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

### Produção de raios-X

#### *Raios-X característico e elétrons Auger*

Quando partículas carregadas atravessam a matéria, interagem com os elétrons do átomo, perdendo energia por meio dos processos de excitação e ionização. A excitação ocorre quando há uma transferência de parte da energia da partícula incidente para os elétrons no material absorvente, deslocando-os para níveis ou camadas de energia mais elevadas da eletrosfera e criando uma lacuna no nível original. Se a energia transferida ultrapassa a energia de ligação do elétron ocorre ejeção do elétron do átomo, a ionização.

O chamado par iônico é composto pelo elétron ejetado (carga negativa) e o átomo ionizado (carga positiva). Sempre que uma lacuna é criada em uma camada eletrônica interna, seja por excitação ou ionização, ela é preenchida por um elétron de uma camada mais distante (externa). Isso resulta em uma nova lacuna na segunda camada externa, que, por sua vez, é preenchida por um elétron (se disponível) de uma camada externa ainda mais distante, e assim o processo se repete, gerando uma cascata de transições. A maioria das interações que elétrons rápidos têm ao atravessar a matéria ocorre na eletrosfera.

A energia liberada em cada transição é carregada pela emissão de radiação eletromagnética ou por um elétron ejetado de outra camada externa, definido como elétron Auger. O número atômico do material e as camadas eletrônicas envolvidas está relacionado ao tipo de radiação eletromagnética resultante: visível, ultravioleta ou de raios-X.

A energia dessa radiação é característica do átomo em questão, pois é igual à diferença nas energias de ligação do elétron dos estados inicial e final para a transição específica, dependendo do número atômico. Os raios-X emitidos são conhecidos como raios-X característicos.

#### *Raios-X de freamento/Bremsstrahlung*

Os elétrons rápidos podem também ter interações com os núcleos atômicos por conta das forças atrativas de Coulomb, que causam uma mudança na trajetória do elétron. Nessas interações, a trajetória do elétron é desviada e a energia é transferida para um fóton, que é, então, emitido. Por conta da associação entre a desaceleração do elétron com a emissão da radiação, o fóton é conhecido como bremsstrahlung ou radiação de freamento. A energia do fóton emitido pode variar de zero até a energia do elétron inicial, de modo que a passagem de um feixe de elétrons pela matéria é acompanhada pela emissão de um espectro de fótons que cobre essa faixa de energia. Os raios-X de freamento são o componente principal do espectro de raios-X emitido por tubos de raios-X.

### Tube de raios-X

No tubo de raios-X, a produção de fótons envolve o bombardeio de um alvo espesso por elétrons energéticos que ao desacelerarem resultarão na geração de radiação de freamento e radiação característica.

A produção tanto da radiação de freamento quanto da radiação característica requer a colisão de elétrons energéticos em um alvo. Conseqüentemente, os principais componentes de um tubo de raios-X são uma fonte de elétrons (usualmente, filamento de tungstênio aquecido) com uma área de focalização servindo como cátodo do tubo, um ânodo (alvo) e um invólucro do tubo para manter um vácuo interno. O filamento é aquecido por uma corrente que controla a emissão termiônica de elétrons, que, por sua vez, determina a corrente eletrônica fluindo do cátodo para o ânodo.

A trajetória dos elétrons é desacelerada ou interrompida no alvo, dentro de uma faixa de algumas dezenas de micrômetros, dependendo da voltagem do tubo. Essa diferença de potencial de aceleração aplicada entre o cátodo e o ânodo controla tanto a energia quanto a produção dos raios-X. Assim, dois circuitos principais operam dentro do tubo de raios-X – o circuito do filamento e o circuito de tensão do tubo.

Quanto maior a voltagem de pico aplicada (em quilovolts – kVp) entre o filamento e o alvo no tubo de raios-X, maior a energia máxima do raio-X de freamento e maior o número de raios-X criados. A quantidade de eletricidade ou corrente (em miliamperes – mA) usada para aquecer o filamento e liberar elétrons, e a duração dessa corrente (em segundos), afetam o número total de raios-X emitidos. A corrente e o tempo de exposição são frequentemente combinados como um produto definido como mAs (miliamperes-segundos). Tipicamente, a corrente é menor que 10 mA em fluoroscopia e variam de 100 mA a mais de 1.000 mA em exposições únicas. A faixa típica de voltagens do tubo é de 40 kV a 150 kV para radiologia diagnóstica geral e de 25 a 40 kV em mamografia.

O gerador de raios-X controla as condições operacionais da produção de raios-X e a sequência de exposição durante um exame, fornecendo a energia elétrica e sinais necessários para a operação do tubo de raios-X. O controle da temperatura do ânodo a partir da potência aplicada ao tubo e dos tempos de resfriamento necessários é uma relevante característica dos geradores atuais, uma vez que a maior parte da energia dos elétrons acelerados é convertida em calor. Apenas uma pequena porcentagem dos elétrons que atingem o alvo, aproximadamente 0,2% deles, provoca a emissão de um raio-X, seja por radiação característica ou por freamento.

Em geral, quanto maior a corrente e a tensão aplicadas, melhor a qualidade da imagem, porém com maior dose de radiação para o paciente. Considerando o princípio do *as low as reasonably achievable* (ALARA), a seleção dos parâmetros de kVp e mAs é, portanto, parte obrigatória do protocolo de aquisição, devendo-se alcançar um equilíbrio entre a qualidade de imagem necessária para o diagnóstico clínico e entregar a dose de radiação mais baixa possível ao paciente.

## EXAME PET

### Radiofármaco

Os radiofármacos retratam a fisiologia, bioquímica ou patologia no corpo praticamente sem causar efeito fisiológico e são administrados em doses subfarmacológicas. A maioria dos radiofármacos é uma combinação de um radionuclídeo, que permite a detecção externa, e uma molécula ou medicamento biologicamente ativo que atua como transportador e determina a localização e biodistribuição.

Diversos radiofármacos já foram apresentados para uso com PET. O F-18 tem a vantagem de meia-vida mais longa do que outros emissores de pósitron e tem sido usado como marcador para o análogo de glicose fluorodesoxiglicose (FDG). O F-18 FDG é amplamente utilizado na clínica por sua capacidade nas imagens de tumores de corpo inteiro e, em menor medida, nas imagens do cérebro e do coração. A captação de F-18 FDG é um indicador do metabolismo e viabilidade do tumor, não sendo, portanto, específica para malignidade. Recentemente, outros marcadores foram aprovados para uso clínico, ampliando as capacidades diagnósticas do PET.

### Sistema de formação das imagens PET

As câmeras de tomografia por emissão de pósitrons (PET) são projetadas para detectar “quase” simultaneamente dois fótons de 511 keV gerados a partir do evento de aniquilação de um par pósitron e elétron. Após a emissão por um núcleo atômico, qualquer pósitron percorre uma curta distância antes de colidir com elétrons na matéria circundante e emitir o par de fótons. Quando a detecção do par ocorre, o sistema forma a chamada Linha de Resposta entre os detectores.

Um detector de PET comumente consiste em anéis de cristais. Cada detector individual contém um ou mais cristais grandes e segmentados ou uma coleção de pequenos cristais. Uma unidade padrão do detector, ou bloco, consiste em um grupo de pequenos cristais monitorados por tubos fotomultiplicadores. O sistema deve então determinar quais sinais vieram de fótons coincidentes de 511 keV, resultantes de um evento de aniquilação, e que geraram uma linha de resposta entre um par de detectores opostos. Isso é realizado principalmente medindo o tamanho de cada sinal, que é proporcional à energia do fóton que atinge o cristal, e registrando o tempo de detecção do sinal. O analisador de altura de pulso determina se o sinal tem a amplitude correta (altura de pulso) para ter origem em uma interação de fótons de 511 keV dentro do cristal. O discriminador de tempo registra o tempo em que o sinal foi gerado. O circuito de coincidência então examina os sinais de amplitude adequada provenientes de detectores opostos e determina se o *timing* dos sinais ocorreu dentro da janela de coincidência de tempo.

Após a aquisição de imagens das emissões de pósitrons, na forma de linhas de resposta, diversas correções são aplicadas durante o processo de reconstrução tomográfica e

imagem final é gerada. Os coeficientes de atenuação obtidos pela tomografia computadorizada (TC) são fundamentais para o método.

## EXAME TC

### Logística de realização do exame TC

A falta de detalhes anatômicos é um dos grandes pontos negativos dos sistemas de imagem SPECT e PET, contudo a incorporando a TC no processo de aquisição e reconstrução de imagens minimiza essa dificuldade além de melhorar a qualidade da imagem. A TC fornece imagens de alta qualidade e alta resolução espacial (< 1 mm) da anatomia em cortes transversais e, portanto, contribui significativamente para as imagens anatômicas adquiridas em aplicações oncológicas.

As imagens de TC funcionam como mapas de transmissão obtidas por meio de um fluxo alto de fótons e representam a atenuação dos tecidos, servindo de base para a correção de atenuação. Para isso, um tubo de raios-X de alta potência e um conjunto de detectores com geometria fixa giram ao redor do paciente adquirindo imagens transversais em diferentes ângulos.

A tecnologia atual, usando conjuntos de detectores múltiplos e varreduras helicoidais (espirais), permite a aquisição simultânea de 64 cortes muito finos (por exemplo, 0,625 mm) em tempos de rotação menores do que meio segundo. A maioria dos fabricantes de TC atualmente oferecem opções de detectores com 128 ou mais cortes. As TC de terceira geração resultam na aquisição de dados de transmissão em uma geometria de feixe em leque. Até 600 conjuntos de projeções são adquiridos dessa maneira para produzir uma medida de transmissão de alta qualidade de cada fatia de tecido. O resultado são imagens de alta qualidade da atenuação do corpo e, portanto, representativas da anatomia do corpo. Padronizações são aplicadas para o fornecer escalas de cinza suficiente para exibição, assim como conversão dos dados para os chamados números de TC (unidades de Hounsfield).

Todos os sistemas PET atuais têm integrado uma TC, sendo que geralmente são adquiridos com capacidade de 16, 64 ou mais cortes, proporcionando imagens de qualidade diagnóstica suficiente para serem utilizadas na prática clínica. A TC é posicionada à frente ao PET e a mesa de imagem é compartilhada. Diferentes protocolos de TC podem ser aplicados.

- **TC para correção de atenuação:** um mapa de transmissão adequado pode ser obtido com corrente muito baixa (aproximadamente 10 mA).
- **TC para localização anatômica:** correntes de TC baixas (aproximadamente 80 mA) para reduzir a dose de radiação para os pacientes. A corrente de TC pode ser ajustada conforme o peso do paciente.
- **TC para fins diagnósticos:** envolvem geralmente a administração de agentes de contraste intravenoso (IV) ou

oral. Se essas imagens de TC forem usadas para correção de atenuação, artefatos podem ocorrer por conta da “supercorreção” de regiões com contraste. Como as imagens de emissão de FDG devem ser adquiridas durante a respiração normal, existe controvérsia sobre o uso de mapas de atenuação obtidos com a técnica de apneia.

## PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

A história do uso da radiação ionizante para aplicações na área da Medicina teve início no século XIX com os primeiros estudos de Roentgen em seus ensaios com o tubo de raios-X (raios catódicos).

### Efeitos biológicos das radiações

A percepção que a energia existente nas radiações interage com a matéria e em especial produz efeitos nos tecidos biológicos foi paralela ao desenvolvimento e entendimento das radiações ionizantes.

Especificamente na Segunda Guerra Mundial com o advento da bomba atômica, houve um avanço e empenho nessa área, decorrente dos efeitos causados tanto nos profissionais que trabalharam no projeto Manhattan quanto nas vítimas japonesas.

A Proteção Radiológica consolida-se como uma frente de estudo importante.

### Como se mede a exposição à radiação

Há diversas grandezas físicas para medição da exposição à radiação. Seus conceitos são estabelecidos a partir dos fenômenos físicos de interação da radiação ionizante com a matéria. O conceito prático empregado nos serviços de PET/CT, que correspondem à medida realizada pelos monitores Gëiger-Müller, é o de taxa de dose, que é uma medida da quantidade de energia depositada em uma massa de tecido por unidade de tempo. A unidade usual dessa grandeza, a taxa de dose, nos equipamentos Gëiger-Müller, que são dispositivos obrigatórios para Proteção Radiológica, é o  $\mu\text{Sv/h}$  (microSievert por hora).

Quando queremos medir a dose recebida em um intervalo de tempo, então devemos integrar a dose em cada intervalo de tempo menor, definindo a dose acumulada naquele intervalo. A dose acumulada em um intervalo é expressa pela unidade  $\mu\text{Sv}$  (microSievert) ou mais usualmente,  $\text{mSv}$  (miliSievert).

### Efeitos estocásticos

O termo “estocástico” nesse contexto significa um estado aleatório possível como consequência da interação da radiação com as células do corpo humano. Especificamente, esse estado corresponde à ocorrência de câncer. Trata-se de evento possível, provável, isto é, com probabilidade de ocorrência não nula, tendo como única manifestação algum tipo de câncer. No moldeamento desse tipo de efeito, a probabilidade de ocorrência

aumenta com a exposição à radiação, porém, a gravidade do efeito não está associada com nível de exposição.

Nas práticas diagnósticas que utilizam a radiação ionizante com meio para formação da imagem, os níveis de exposição encontram-se nessa faixa.

O resultado desse conceito é que não existe um nível de exposição abaixo do qual a probabilidade de ocorrência do efeito é nula. Por isso, a sociedade realiza movimentos constantes de “otimização”, isto é, reduzir a exposição à radiação sem perder o poder diagnóstico, ou até mesmo, ampliando-o.

### Efeitos determinísticos

São efeitos decorrentes de uma quantidade de exposição que gera danos celulares em quantidade suficiente para produzir redução significativa na função do tecido, gerando consequências ao sujeito exposto.

A produção dos danos pressupõe exposição suficiente, logo existe um limiar inferior de dose para a ocorrência do efeito determinístico. O aumento da exposição tende a aumentar o dano causado.

### Indivíduos ocupacionalmente expostos, público e paciente

Indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) são os profissionais que atuam em atividades profissionais em que há risco de exposição à radiação. Biomédicos, técnicos e tecnólogos de radiologia, médicos radiologistas, médicos nucleares, físicos, enfermeiros e profissionais que necessariamente exerçam seu trabalho dentro de Áreas denominadas Área Controlada.

Pessoas do público, isto é, pessoas que por algum motivo estejam nas proximidades das fontes radiativas, também estão sujeitas a efeitos estocásticos se forem expostas, isto é, terão risco aumentado de câncer no longo prazo. Casos típicos de exposição ocorrem quando estão na condição de acompanhantes dos pacientes.

Pacientes que estejam utilizando métodos diagnósticos que utilizam a radiação ionizante como meio para produção de imagens, são expostos a quantidades de radiação com poder de produção de efeitos estocásticos, isto é, ao se submeterem a um procedimento, terão um risco aumentado de câncer no longo prazo.

### Princípios conceituais

A Proteção Radiológica, enquanto frente de trabalho com função de garantir proteção da população contra os riscos associados ao uso da radiação ionizante, fundamenta-se em uma trilogia de princípios aplicáveis.

#### Justificativa

Este princípio fundamenta o emprego de qualquer prática que utilize a radiação ionizante. Seu conceito es-

tabelece que o uso da radiação ionizante é aceitável se o benefício líquido trazido com seu uso é maior que o risco associado. Especificamente para as aplicações na área da saúde, esse princípio é aplicável ao paciente, à medida que o resultado trazido pela prática, traga a solução do seu problema de saúde frente a um risco aumentado, em intensidade mínima, de câncer.

### Limitação da dose

As pessoas que estejam associadas à prática, sejam através do trabalho diretamente executado dentro da Área Controlada (área onde concentra-se a radiação ionizante) ou trabalho e/ou atividades nas imediações a Área Controlada, não têm benefício líquido mediante o risco. Nesse caso, limita-se o risco a valores comparáveis ao risco de outras atividades profissionais ou de rotina das pessoas. Isso é feito limitando-se a dose à que essas pessoas podem ser expostas.

### Otimização

O conceito da otimização surgiu posteriormente e baseia-se na ideia que a evolução da sociedade possibilita a realização de ações e investimentos que podem reduzir a exposição à radiação sem reduzir os resultados desejados pelo seu uso. Nesse caso, sempre que possível realizar a otimização, ela deve resultar em redução dos limites de dose. O entendimento desse princípio e surgimento de modelos para sua aplicação têm aumentado a aplicação desse princípio nas práticas que utilizam a radiação ionizante. Especificamente no PET/CT, o estabelecimento de níveis de dose de referência (NDR ou DRL – *Dose Reference Level*) tem sido a técnica empregada para otimização da dose que o paciente é exposto.

### Princípios operacionais

Todos os textos que abordam proteção radiológica apresentam esses princípios que devem permear o pensamento dos profissionais que atuam em atividades com risco de exposição à radiação ionizante. Trata-se do TEMPO, DISTÂNCIA e BLINDAGEM. Especificamente, na prática do PET/CT, principalmente na execução da modalidade PET do exame, esses princípios são fortemente aplicáveis, pois há manipulação da fonte radioativa fora da blindagem para o preparo e administração do radiofármaco no paciente, além do próprio paciente após a administração do radiofármaco se tornar uma fonte radioativa.

### Tempo

As fontes radioativas que possuem átomos radioativos emitem a radiação de maneira ininterrupta, ao contrário dos tubos de raio-X que precisam estar ligados e acionados para realizem a emissão da radiação. No segundo caso, temos o controle da emissão, no primeiro não, por isso, reduzir o tempo em que se permanecerá exposto à radiação é muito importante para essa prática. O planejamento das atividades previamente à sua execução é uma maneira de reduzir o TEMPO de exposição e deve ser realizado. De

maneira geral, quanto menor for o tempo de exposição, menor será a dose recebida.

### Distância

A distância consiste no princípio mais eficiente, à medida que a exposição diminui com o inverso do quadrado da distância, isto é, se a um metro de uma fonte sua taxa de dose é de 10  $\mu\text{Sv/h}$ , a dois metros será 2,5  $\mu\text{Sv/h}$  e não 5  $\mu\text{Sv/h}$ . Na prática de PET/CT, um modo de se utilizar esse princípio é não permanecer nas proximidades ou dentro de uma dependência que contenha fontes radioativas, ainda que estejam dentro da blindagem; em geral, locais onde existem fontes, mesmo dentro de blindagem, têm um risco aumentado de terem taxas de doses maiores que ambientes sem fontes. Então, a menos que seja necessário realizar alguma tarefa nessas dependências ou em suas proximidades, deve-se estar o mais distante possível delas.

### Aspectos regulatórios e normas aplicáveis

Como toda atividade da Área da Saúde, o PET/CT é uma modalidade regulada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). A Anvisa possui normas regulatórias aplicáveis a ambas as modalidades, ao CT e ao PET. No que tange à Proteção Radiológica, o CT é regulado unicamente pela Anvisa, pois a Radiologia Médica não está entre as práticas reguladas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). A CNEN regulamenta a prática da Medicina Nuclear, que utiliza substâncias com átomos radioativos ligados (fontes não seladas) metabolizados preferencialmente no órgão em estudo.

### CNEN

A CNEN é um órgão federal que regula e fiscaliza práticas que utilizam a Radiação Ionizante para fins nobres, como ensaios não destrutivos na indústria, geração da energia nuclear nas Usinas Geradoras de Energia Elétrica a partir da Energia Nuclear e as aplicações médicas, como Medicina Nuclear e Radioterapia.

As Normas da CNEN aplicam-se a uma ampla gama de práticas. Especificamente para o PET, as normas aplicáveis são:

- **CNEN-NN-3.01:** Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.
- **CNEN-NN-3.05:** Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear.
- **CNEN-NN-5.01:** Regulamento para o Transporte Seguro de Materiais Radioativos.
- **CNEN-NN-6.02:** Licenciamento de Instalações Radioativas.
- **CNEN-NN-7.01:** Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica.
- **CNEN-NN-8.01 –** Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação.

## Anvisa

A Anvisa é um órgão federal, que juntamente com as Vigilâncias Sanitárias Estaduais e Municipais regulamentam e fiscalizam as instalações de Medicina Nuclear e Radiologia. Também possuem um conjunto de Normas regulamentadoras relacionadas a seguir.

### Medicina Nuclear:

- **RDC50/2002:** Regulamento Técnico para Planejamento, Programação, Elaboração e Avaliação de Projetos Físicos de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde.
- **RDC38/2008:** Dispõe sobre a Instalação e o Funcionamento de Serviços de Medicina Nuclear “in vivo”.

### Radiologia

- **RDC611/2022:** Requisitos Sanitários para a Organização de Serviços de Radiologia Diagnóstica ou Intervencionista.
- **IN93:** Requisitos Sanitários para a Garantia da Qualidade e da Segurança em Sistemas de Tomografia Computadorizada Médica.

Considerando que ambos regulam as atividades, todo serviço de PET/CT deve contemplar os aspectos normativos exigidos pelos dois órgãos.

## Limites de dose

O ponto fundamental é realizarmos a prática monitorando a exposição e controlando-a de modo que os envolvidos não sejam expostos a riscos mais significativos do seriam exercendo qualquer outra atividade profissional. Por isso a CNEN estabelece os limites de dose para IOE e Indivíduo do Público. Esses limites estão estabelecidos na NORMA-CNEN-NN-3.01 e são seguidos pela Anvisa na sua regulamentação da prática da radiologia médica e odontológica.

A seguir a Tabela 1.1 com os valores limites.

Tabela 1.1 – Limites de dose – CNEN-NN-3.01.			
Limites de dose anuais <sup>[a]</sup>			
Grandeza	Órgão	IOE	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv <sup>[b]</sup>	1 mSv <sup>[c]</sup>
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv <sup>[b]</sup>	15 mSv
	Pele <sup>[d]</sup>	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

<sup>[a]</sup> Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

<sup>[b]</sup> Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

<sup>[c]</sup> 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.

<sup>[d]</sup> Valor médio em 1 cm<sup>2</sup> de área, na região mais irradiada.

- Para mulheres grávidas ocupacionalmente expostas, suas tarefas devem ser controladas de maneira que seja improvável que, a partir da notificação da gravidez, o

feto receba dose efetiva superior a 1 mSv durante o resto do período de gestação.

- Indivíduos com idade inferior a 18 anos não podem estar sujeitos a exposições ocupacionais.
- Os limites de doses 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. A dose para crianças em visita a pacientes em que foram administrados materiais radioativos deve ser restrita de forma que seja improvável exceder a 1 mSv.

## Planejamento do site

A CNEN através de sua Norma CNEN-NN-3.05 estabelece as dependências necessárias para um serviço que tenha a prática de PET, as quais são relacionadas a seguir:

- Laboratório de Manipulação e Armazenamento de Fontes em Uso (Sala Quente).
- Salas de Repouso individualizadas para administração e espera pela captação de radiofármacos para PET.
- Sanitário exclusivo para pacientes injetados.
- Sala de Exames.
- Local destinado ao armazenamento provisório de rejeitos radioativos (pode ser no interior do Laboratório de Manipulação e Armazenamento de Fontes em Uso).

Considerando o exame PET após a administração do radiofármaco, o paciente torna-se uma fonte radioativa, cuja contenção da radiação emitida a partir de seu corpo, só pode ser contida pelas paredes das dependências ocupadas por ele, por isso, a estimativa da dose gerada por esses pacientes e a blindagem necessária para promover níveis de dose adequados no entorno das dependências é necessário, sendo obrigatório pelas Normas da CNEN (referente ao PET) e Anvisa (referente à dose gerada no espaço no entorno da Sala de Exames por conta do tomógrafo).

## Cálculo de blindagem das dependências PET

Para realizar o cálculo de blindagem para proteção contra a radiação ionizante em qualquer prática, deve-se calcular a Carga de Trabalho no Alvo. A Carga de Trabalho consiste na estimativa da dose acumulada no Alvo no período de uma semana. Essa Carga de Trabalho deve ser comparada com o Limite de Dose para o Alvo no período de uma semana. Toda vez que essa dose ultrapassar o Limite, a blindagem será necessária.

Fatores como o tempo de permanência do paciente na dependência, a atividade administrada ao paciente, o decaimento da fonte radioativa no paciente (os isótopos utilizados no PET possuem meia-vida curta e os tempos de permanência nas dependências são comparáveis a essas meia-vidas), a eliminação biológica pelo paciente durante o exame, o decaimento radioativo quando o paciente troca de

dependência e o número de pacientes que farão o exame na semana são considerados no cálculo da Carga de Trabalho.

No Alvo, a Classificação em ÁREA LIVRE e ÁREA CONTROLADA determina o Limite de Dose do Alvo. O Fator de Ocupação, correspondente à fração semanal que haverá pessoas no Alvo considerado, altera esse limite quando a ocupação for uma fração menor que 1. O limite derivado semanal para ÁREA LIVRE é de 20  $\mu\text{Sv}$  e para ÁREA CONTROLADA é de 100  $\mu\text{Sv}$ , esse último considerado como Limite Otimizado, pois corresponde a um máximo anual de 5 mSv. Essa restrição é muito importante na realização dos cálculos, pois há muitos momentos do processo de realização dos exames que não possível interpor blindagem entre a fonte e o IOE, como no momento de posicionar o paciente no equipamento ou mesmo no momento de administrar o radiofármaco no paciente.

A Tabela 1.2 apresenta os fatores de ocupação a serem adotados para os alvos conforme a dependência que se localizam, sugeridos pela CNEN.

### Cálculo de blindagem das dependências CT

Em geral, a TC gera uma dose no espaço muito maior que as fontes PET, porém, o espectro possui energia máxima muito menor, o que torna as barreiras de PET muitas vezes suficientes para atenuar a radiação proveniente da Tomografia.

De qualquer modo, essa condição deve sempre ser confirmada. É comum não ser necessária blindagem nas portas da sala de exames devido às fontes PET, mas quando se considera a fonte da TC, é necessária blindagem.

Cuidado deve ser dedicado quando além das aquisições de Tomografia dos pacientes de PET/CT, a instalação realiza exames somente de tomografia. Nesse caso, essa carga de trabalho adicional deve ser considerada e preferencialmente o *site* deve ser planejado de modo que a entrada na

sala de exames para realização somente de exames de TC esteja fora da ÁREA CONTROLADA de PET.

### Cuidados no manejo das fontes radioativas do PET

Os isótopos utilizados para a modalidade PET decaem por emissão de pósitrons e a imagem é formada a partir da aniquilação desse pósitron ao se combinar com um elétron, dando origem a dois fótons de 511 KeV cada. Assim, toda imagem é formada a partir desse processo. Esses fótons possuem energia relativamente alta, o que os torna penetrantes e exigem cuidados para reduzir a exposição de IOE, Público e Pacientes. Os cálculos de blindagem discutidos anteriormente são necessários pelos mesmos motivos.

### Proteção do IOE

A proteção dos IOE é feita sempre mantendo as fontes dentro de blindagens eficientes quando possível. Existem dispositivos adequados para o acondicionamento das fontes, como o dispositivo fracionador que acondiciona o frasco que contém a solução radioativa, protetores de seringa para o transporte das fontes do laboratório até o local de administração, biombos plumbíferos para serem interpostos entre o IOE e o paciente sempre que possível, reservatórios blindados para acondicionamento do rejeito radioativo entre outros.

A proteção do IOE quando não há a possibilidade da interposição da blindagem entre a fonte e o IOE deve ser feita minimizando o tempo próximo à fonte e guardando-se a maior distância possível.

O planejamento prévio do trabalho a ser realizado é fundamental para apoiar o IOE na minimização do tempo de exposição. O cálculo do volume a ser retirado para se ter a atividade que será administrada ao paciente é um recurso útil e eficaz para minimização do tempo de exposição às fontes.

**Tabela 1.2 – Fatores de ocupação – CNEN-Licenciamento de Instalações de Medicina Nuclear – V2023.**

DEPENDÊNCIA	F0
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Postos de trabalho com ocupação permanente (escritórios, laboratórios, farmácias hospitalares, consultórios, recepções, postos de espera, guarda da enfermagem, espaço para atendentes etc.)</li> <li>■ Áreas para guarda/cuidados de crianças</li> <li>■ Nas vizinhanças fora do controle do SMN</li> </ul>	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Postos de trabalho com ocupação parcial (devem estar devidamente justificadas)</li> <li>■ Leitos hospitalares</li> <li>■ Corredores</li> <li>■ Salas de descanso para os trabalhadores</li> <li>■ Copa</li> </ul>	1/5
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Portas com acesso aos corredores</li> </ul>	1/8
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sanitários</li> <li>■ Depósitos e almoxarifados</li> <li>■ Áreas externas com local para espera</li> <li>■ Salas de espera para acompanhantes</li> </ul>	1/20
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Áreas externas de trânsito (sem ocupação fixa)</li> <li>■ Estacionamentos</li> </ul>	1/40

### Proteção do público

Os indivíduos do Público são protegidos principalmente com a blindagem das paredes das dependências, haja vista que não exercem atividades de nenhuma natureza em áreas controladas e a exposição vem por estar nas adjacências de uma Área Controlada.

### Cuidados com relação ao paciente

Após injetados, os pacientes tornam-se fontes radioativas. Os cuidados a serem destinados ao paciente, no entanto, estão acima dessa condição. Assim, é importante ter processos de manejo do paciente muito bem definidos para minimizar o tempo em que estarão muito próximos e ele e sem barreiras de proteção.

### Proteção do IOE

Há atividades que o IOE tem que realizar envolvendo o paciente injetado, portanto na condição de fonte radioativa, que são inevitáveis, como administrar a dose no paciente, conduzi-lo ao sanitário antes da aquisição das imagens e posicioná-lo e retirá-lo da mesa de exames. A proteção nessas atividades se dá reduzindo-se ao máximo o tempo de proximidade e guardando distância máxima sempre que possível. Em geral, o paciente do PET é um paciente oncológico e pode estar debilitado, o que é um elemento adverso para execução de tempo mínimo e distância máxima, mas sempre que possível deve-se aplicá-los. O rodízio da atividade em um número maior de profissionais também é um elemento que pode reduzir as exposições individuais e sempre deve ser considerado conforme o quadro dosimétrico da instalação.

### Proteção do público

O público mais comum quando consideramos o paciente é o acompanhante de um paciente. Nesse caso, manter-se próximo o mínimo de tempo necessário é a melhor medida de proteção para o acompanhante. Familiares, paciente e IOE do serviço devem conversar e avaliar a necessidade do acompanhante permanecer na Sala de Repouso enquanto ocorre a captação do radiofármaco. Se houver o entendimento consensual de que o paciente pode permanecer sozinho durante a execução do exame, essa medida deve ser adotada.

### Cuidados com o paciente

O paciente de PET em geral está em uma condição pesadamente muito adversa e o acolhimento por parte do serviço de PET é fundamental para uma experiência em que se minimize o sofrimento. Esse acolhimento pode e deve ser feito sem que signifique exposição desnecessária de IOE e Público.

### Otimização da dose de PET

Mesmo que o paciente tenha sua dose justificada, deve-se observar o princípio da otimização aplicável ao paciente, isto é, deve-se avaliar a administração de atividade suficien-

te para realização de uma imagem com qualidade suficiente para a realização de um laudo seguro.

### Otimização da dose de CT

No exame de TC deve-se aplicar o mesmo princípio. Adotar um protocolo de aquisição que garanta a relação sina/ruído e a resolução espacial adequadas; a partir desse ponto, as melhorias na imagem não acrescentam informação e não alteram o laudo, portanto, seria uma dose não justificada. O princípio da otimização aplicado ao paciente direciona o serviço a encontrar esse protocolo de aquisição.

### Método dos níveis de referência de dose (NRD)

A heterogeneidade dos protocolos adotados tanto na realização da TC bem como no PET, somada à compreensão melhor dos efeitos estocásticos associados à prática do PET/CT tem gerado reflexões na sociedade sobre as possibilidades de redução da exposição à radiação sem prejuízo diagnóstico.

Frente a essa questão, surgiu a proposta de que os centros registrem seus protocolos utilizados com os pacientes, coletando um conjunto de informações sobre o equipamento, os protocolos de aquisição de TC, da administração da dose de PET no paciente e do próprio paciente.

Com um volume significativo de informações, a ideia é agrupar os dados por similaridade de características de equipamento (marca/modelo, por exemplo) e pacientes e compartilhar entre os participantes essas informações, fornecendo informações para que possam revisar seus protocolos adotando os valores medianos dos parâmetros de aquisição, isto é, todos que estiverem com protocolos que geram maior dose em condições equivalentes de realização de exames, devem avaliar a mudança para os valores medianos, sem perda de poder diagnóstico, e como consequência, reduzir a exposição dos pacientes.

Esse método conhecido como DRL é considerado como um método de otimização.

## PROGRAMA DE GARANTIA DE QUALIDADE

O Programa de Garantia de Qualidade tem impacto na proteção radiológica à medida que avalia a estabilidade das calibrações do equipamento e, portanto, sua aptidão para os protocolos utilizados. Os controles de qualidade mais importantes são os de frequência diária, pois verificam o funcionamento do *hardware* e *software*, além de fornecerem parâmetros para aquisições de padrões, que devem ser estáveis. Pode-se citar o exemplo da calibração do número de TC. Caso não esteja adequada, pode interferir na correção de atenuação da imagem PET, promovendo alterações nas quantificações. No caso do dispositivo de imagem PET, o teste diário de *Blank Scan* e do fator de

conversão de contagem em atividade a partir de fontes emissoras de pósitrons com atividade conhecidas são extremamente importantes e devem ser realizados antes da administração do primeiro paciente. Caso haja problema em algum bloco que não seja resolvido, a aquisição de imagens pode não ser possível. Nesse caso, se foi administrado o radiofármaco no paciente, o paciente receberá essa dose sem, no entanto, obter nenhum benefício. Já a estabilidade do fator de conversão de contagem para atividade é fun-

damental para aferição da captação *standard uptake value* (SUV). Esse parâmetro é utilizado para avaliar a evolução da atividade tumoral, usualmente pós-processos terapêuticos, portanto, a aferição correta é importante para poder comparar os valores ao longo do tempo.

Para a TC, o seguinte conjunto de testes com as respectivas frequências deve integrar o Programa de Garantia da Qualidade, estabelecidos pela Anvisa (RDC611/2022 – IN93):

<b>Tabela 1.3 – Testes de controle de qualidade para tomografia computadorizada.</b>			
<b>Teste TC</b>	<b>Frequência</b>	<b>Teste PET</b>	<b>Frequência</b>
Exatidão do Indicador da Tensão do Tubo	Aceitação e após reparos	Inspeção visual	Aceitação e diária
Exatidão do número de TC	Aceitação, semanal e após reparos	Verificação da estabilidade do sistema de detectores – <i>Blank Scan</i>	Aceitação e diária
Uniformidade do número de TC	Aceitação, semanal e após reparos	Resolução Temporal para sistemas com dispositivo TOF	Aceitação e diária
Ruído	Aceitação, semanal e após reparos	Uniformidade	Aceitação e semanal
Valores representativos de dose	Aceitação, anual e após reparos	Normalização	Aceitação e trimestral
Resolução espacial	Aceitação, anual e após reparos	Verificação da calibração do sistema	Aceitação e trimestral
Exatidão da espessura do corte	Aceitação, anual e após reparos	Corregistro PET/CT	Aceitação e trimestral
Exatidão do indicador do deslocamento da mesa	Aceitação, anual e após reparos	Calibração da concentração radioativa (SUV)	Aceitação e trimestral
Exatidão do indicador do posicionamento da mesa	Aceitação, anual e após reparos	Resolução energética	Aceitação e semestral
Luminância do monitor para diagnóstico ou laudo	Aceitação, anual e após reparos	Resolução espacial nas direções transversal e axial	Aceitação e semestral
Luminância do negatoscópio para diagnóstico ou laudo	Aceitação, anual e após reparos	Sensibilidade	Aceitação e anual
Iluminância da sala de laudos	Aceitação, anual e após reparos	Fração de espalhamento	Aceitação e anual
Integridade dos acessórios e equipamentos de proteção individual	Aceitação, anual e após reparos	Largura da janela de coincidência temporal	Aceitação e anual
Coincidência entre os indicadores luminosos do plano externo e interno do plano irradiado	Aceitação, anual e após reparos	Espessura de corte	Aceitação e anual
Uniformidade da luminância dos monitores e negatoscópios para diagnóstico	Aceitação, anual e após reparos	Desempenho da taxa de contagem	Aceitação e anual
Verificação de ausência de artefatos na imagem	Aceitação, anual e após reparos	Taxa de eventos verdadeiros	Aceitação e anual
Exatidão do Indicador de Dose em TC (quando aplicável)	Aceitação, anual e após reparos	Taxa de eventos aleatórios	Aceitação e anual
Compensação do Sistema de Modulação de corrente para diferentes espessuras (quando aplicável)	Aceitação, anual e após reparos	Desempenho geral PET/CT	Aceitação e anual
Levantamento radiométrico	Aceitação, quadrienal e após modificações nas salas, equipamentos ou procedimentos	Partes mecânicas do equipamento	Aceitação e anual

Para o sistema de formação de imagem do sistema PET, o seguinte conjunto de testes com as respectivas frequências deve integrar o Programa de Garantia de Qualidade estabelecido pela CNEN (Norma-NN-3.05, com referência de uso dos protocolos internacionais recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) – e pela Associação de Fabricantes de Equipamentos Elétricos – NEMA).

## PONTOS-CHAVE

- A energia nuclear é proveniente do núcleo que tem o poder de armazenar muita energia através das forças nucleares.
- A Medicina Nuclear utiliza isótopos radioativos com propriedades químicas que permitam ligá-los a moléculas que entram no metabolismo humano, permitindo observar o funcionamento de alguma fisiologia humana.
- As partículas que carregam a energia proveniente do núcleo, alfa, beta, pósitron e gama, e decorrentes das interações com a matéria, raio-X, possuem características que permitem utilizá-las para inferir como uma variável está distribuída espacialmente no interior do corpo humano. Essas partículas são denominadas radiação ionizante.
- Essas características das partículas possibilitam interagir com a matéria entregando sua energia, bem como atravessar a matéria sem interagir. Esse fato permite a utilização em contextos distintos, alguns que a interação é desejável (terapia com radiação ionizante) e outros onde não é desejável (imagens de Medicina Nuclear).
- Os métodos híbridos permitem obter a distribuição espacial de alguma fisiologia do corpo humano de interesse, através da Medicina Nuclear, realizada com utilização de radiofármacos e a anatomia através da distribuição espacial da densidade, com imagens fortemente correlacionadas espacialmente.
- A interação da radiação com a matéria em seres vivos produz um aumento de risco de câncer ou se ocorrer em elevadas intensidades pode causar danos imediatos. Como não é possível controlar se a radiação atravessará a matéria sem interação ou com interação, a Proteção Radiológica é uma ciência que provê conhecimento e métodos de trabalho para reduzir os riscos de câncer ou danos imediatos, promovendo segurança no uso da radiação ionizante.
- Os métodos híbridos aumentam de importância constantemente, devido ao enorme valor que demonstram nas aplicações oncológicas.

## Bibliografia

1. Magill J, Galy J. Radioactivity, radionuclides, radiation. Karlsruhe. Germany. Ed Springer. 2005:3-11.
2. Biersack HJ, Freeman LM. Clinical nuclear medicine. Germany. Ed Springer. 2007:1-3.
3. Tauhata L, Salati IPA, Di Prinzio R, Di Prinzio MARR. Radioproteção e dosimetria: fundamentos. 9. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN. 2013.
4. AAPM Task Group 108 – PET and PET-CT shielding requirements. Med. Phys. 2006;33(1).
5. Madsen MT, Ponto JL. Medical physics handbook of nuclear medicine. Medical Physics Publishing. Madison, Wisconsin. 1992. ISBN: 0-944838-14-6.
6. Goldstone KE, Jackson PC, Myers MJ, Simpson AE. Radiation protection in nuclear medicine and pathology. The Institute of Physical Sciences in Medicine. York. England. 1991. ISBN: 0-904181-62-6.
7. Thomaz B. Dosimetria e higiene das radiações. São Paulo, Grêmio Politécnico, 1982.
8. Benjamin RA, Joel EG, Robert LD, Eric EK, et al. Structural shielding design for Medical X-RAY Imaging Facilities. NCRP REPORT N. 147 ISBN 0-929600-83-5 OCT 2004.
9. Simon RC, James AS, Michael EP. Physics in nuclear medicine. 3. ed. 2003.
10. Bailey DL, Humm JL, Todd-Pokropek A, van Asegen A. Nuclear medicine physics. A handbook for teachers and students. Technical Editors, IAEA-Vienna, 2014. ISBN 978-92-0-143810-2.
11. Okuno E, Yoshimura E. Física das radiações. Oficina de Textos, 2010. ISBN 978-85-7975-005-2.
12. Buschong SC. Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. ISBN 978-85-352-3732-0.