

# RESUMOS DE TRABALHOS CIENTÍFICOS



# CBFM

29º CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA

SÃO PAULO • 2025

[congressoabfm.com.br](http://congressoabfm.com.br)

SÃO PAULO - OUTUBRO 2025

# 29º CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA

ABFM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA

[abfm.org.br](http://abfm.org.br)

01 – 04 de outubro de 2025

São Paulo, Brasil



# CBFM

29º CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA

SÃO PAULO • 2025

## Comissão organizadora:

Angel da Silva Martinez – Presidente  
Crystian Wilian C. Saraiva – Vice-presidente  
Allan Felipe Fattori Alves – Tesoureiro  
Ana Cristina B. Leoni – Secretária Geral

## Comitê científico:

Simone Coutinho Cardoso – UFRJ  
Juliana Fernandes Pavoni – USP/RP  
Roger Chamas – USP/SP  
Renata Ferranti Leoni – USP/RP

## Comitês Coordenadores de Área:

### *Radioterapia*

William Trinca – Coordenador  
Gabriela Reis  
Lucas Radicchi  
Adriana Flosi  
Marcelo Piciolo

### *Medicina Nuclear*

Renata Camargo – Coordenadora  
Fernando de Amorim Fernandes  
Paula Duarte Correia  
Daniel Coiro

### *Radiodiagnóstico*

Renato Dimenstein – Coordenador  
Ana Paula Rodrigues  
Tiago da Silva Jornada  
Cassio Vilela Komatsu

### *Materiais e Radiações Não Ionizantes*

Renata Ferranti Leoni – Coordenadora  
André Monteiro Paschoal  
Éder Guidelli  
Thatiane Alves Pianoschi Alva  
Theo Zeferino Pavan

### *Desta edição:*

#### *Editores:*

Erika Joselyn Ludeña Maza

### *Apoio e Patrocínio*



## ***Prefácio***

O 29º Congresso Brasileiro de Física Médica (CBFM), promovido pela Associação Brasileira de Física Médica (ABFM), consolida-se como o principal evento científico da área no Brasil e uma referência na América Latina. Realizado entre os dias 01 e 04 de outubro de 2025, no Centro de Convenções Rebouças, o congresso reúne profissionais, pesquisadores, docentes e estudantes para discutir os avanços mais recentes e as principais tendências da Física Médica.

A programação científica foi cuidadosamente estruturada para promover atualização, integração e inovação, contando com palestras, aulas, plenárias, simpósios satélites, sessões interativas na Arena CBFM, atividades de pré-congresso e apresentações de trabalhos científicos. Essas atividades proporcionam um ambiente favorável ao diálogo e à troca de experiências entre especialistas de diferentes áreas e níveis de atuação.

A cidade de São Paulo foi escolhida como sede por sua relevância científica, tecnológica e estratégica. Reconhecida internacionalmente, a capital paulista destacou-se em 2024 como o único polo de ciência e tecnologia da América Latina e do Caribe entre os 100 primeiros do mundo, segundo a Organização Mundial da Propriedade Intelectual, além de oferecer infraestrutura adequada para a realização de um evento de grande porte.

Os Anais do CBFM 2025 refletem a diversidade, a qualidade e o impacto da produção científica apresentada durante o congresso. O evento reafirma o compromisso da ABFM com a valorização dos profissionais e acadêmicos da área, fortalecendo a Física Médica no Brasil e contribuindo para a construção contínua de uma comunidade científica integrada, inovadora e de excelência.

**O conteúdo abordado nos artigos, bem como seus dados, forma, correção e confiabilidade, são de responsabilidade exclusiva dos autores.**

## *Sumário*

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Prefácio</i>  | 3         |
| <i>Sumário</i>   | 4         |
| <b>BIOFÍSICA E FÍSICA MOLECULAR</b>  | <b>12</b> |
| Lipossomas Biomiméticos como Estratégia para Redução da Formação de Coroa Proteica: Influência da Hibridização com Membranas de Hemácias   | 13        |
| Influência da composição lipídica na fluidez e resistência à solubilização de lipossomas   | 14        |
| Efeitos da Hidratação em Supercapacitores com Líquido Iônico Biodegradável: Uma Abordagem via Dinâmica Molecular   | 15        |
| Fluorescência de Raios X na Determinação de Concentrações Traço de Ferro: Avaliação do Limite de Detecção de Ferro com Ferripolimaltose  | 17        |
| <b>BIOMAGNETISMO</b>   | <b>18</b> |
| Avaliação de Desempenho da Magnetocardiografia com Magnetômetros de Bombeamento Óptico em Adultos e Fetos  | 19        |
| Avaliação Farmacomagnetográfica do Efeito Prócínético na Absorção do Metronidazol  | 21        |
| Caracterização do processo de internalização celular em diferentes tempos de nanopartículas magnéticas em células da linhagem queratinócitos via Biosusceptometria de Corrente Alternada | 23        |
| Biosusceptometria de Corrente Alternada para a caracterização do perfil de interação de nanopartículas magnéticas com células da linhagem CaCo2  | 25        |
| Caracterização do Processo de Interação de Diferentes Concentrações de Nanopartículas Magnéticas em Células HaCat via Biosusceptometria AC   | 27        |
| Magnetogastrografia Detectada por Magnetômetros de Bombeamento Óptico  | 29        |
| Nanopartículas magnéticas à base de óxido de ferro para terapia fototérmica guiada por MRI   | 30        |
| Desenvolvimento e implementação de sistemas magnéticos híbridos para a análise da Susceptibilidade AC via Biosusceptometria de Corrente Alternada  | 32        |
| Estudos em Magnetoencefalografia usando Estímulos  | 34        |
| Estudo em Longo Prazo da Biodistribuição e Depuração de Nanopartículas Magnéticas: Resultados Iniciais   | 35        |
| Avaliação biomagnética não invasiva da motilidade gastrointestinal em modelos experimentais de diarreia induzida por lactose.  | 37        |
| Biosusceptometria de Corrente Alternada para o estudo da biodistribuição de Nanopartículas Magnéticas em tecidos hepáticos cirróticos  | 38        |
| <b>ENSINO DE FÍSICA MÉDICA</b>   | <b>40</b> |
| A Inserção da Física Médica no Cenário Tecnológico Nacional: A Experiência da LAFISMED na Campus Party Brasil 2024   | 41        |
| Cenário Atual da Radioterapia no Brasil: Distribuição de equipamentos por região e população   | 43        |
| Ensino experimental inclusivo em Física Médica: integrando teoria, prática e acessibilidade  | 45        |
| Museus Itinerantes como Espaços de Educação Científica: A Física Médica na Exposição do Museu Catavento no Shopping  | 47        |
| Desvendando a Física por trás do radiodiagnóstico e radioterapia: além do que os olhos veem.   | 48        |
| Nuclear Experience - Divulgação de aplicações nucleares  | 49        |

|  |           |
|--|-----------|
| Uma abordagem para o aprendizado assistido por IA em disciplinas do curso de física médica   | 50        |
| Escape Room da Física Médica: Estratégia Inovadora e Interativa para Divulgação Científica   | 52        |
| A influência da LAFISMED na escolha profissional: Despertando interesses pela Física Médica  | 54        |
| Física Médica nas Escolas: Estratégias de Divulgação e Popularização da Física Médica  | 55        |
| Detehtor – Board Game científico Física Médica: jogo educativo sobre Física Médica para o ensino médio   | 56        |
| Divulgação Científica nas Redes Sociais: A Estratégia da Liga Acadêmica de Física Médica   | 57        |
| Desenvolvimento de um Procedimento Operacional Padrão para o Uso de Ultrassom Portátil em Práticas Acadêmicas                                      | 58        |
| RadSafe: Capacitação básica em proteção radiológica , RadSafe: Capacitação básica em proteção radiológica  | 60        |
| Disseminação do Conhecimento: Eletrocardiograma (ECG) nas Escolas  | 62        |
| Ações Educativas em Física Médica: Relato de Seminário em Ambiente Hospitalar  | 64        |
| O que é Física Médica? Estratégias para a Popularização da Profissão na Sociedade  | 66        |
| Produção de MANUAL DE ATENDIMENTO ÀS EMERGÊNCIAS COM PRODUTOS RADIOATIVOS para o CBM-GO  | 67        |
| Nuclear Experience - Divulgação de aplicações nucleares  | 69        |
| <b>FOTONICA</b>  | <b>70</b> |
| Fluorescência molecular aplicada ao exame óptico de angiofluoresceinografia.   | 71        |
| Revisão Bibliográfica sobre a Cirurgia Guiada por Fluorescência com 5-ALA no Glioblastoma  | 73        |
| Caracterização fotofísica da porfirina de paládio PdCl(dppp)TpyP4 e sua aplicação na terapia fotodinâmica in vitro em melanoma murino (B16F10).    | 75        |
| Análise da influência da tonalidade da pele no aumento de temperatura durante procedimentos com lasers terapêuticos usando fantomas                | 77        |
| <b>INOVAÇÕES EM PRODUTOS, PROCESSOS E TECNOLOGIAS EM SAÚDE</b>   | <b>79</b> |
| Comparative Analysis of Vision Transformer and EfficientNet B7 Models for Oral Lesion Classification Using Transfer Learning                       | 80        |
| Investigação de propriedades dosimétricas do gel iônico [EMIM][TFSI] aplicado em transistores de porta eletrolítica                                | 81        |
| Aplicação do Algoritmo K-means na Otimização do Planejamento em Radioterapia   | 83        |
| Instruções do Software matRad para o Planejamento do Tratamento do Câncer por Radiação   | 85        |
| Desenvolvimento de simuladores antropomórficos de tórax e abdome para aplicações em diagnóstico por imagem com raios X                             | 87        |
| Projeto impresso em 3D para avaliação da qualidade da imagem em radiologia digital intra oral  | 89        |
| Estudo computacional do uso de feixes de 50 MeV na radioterapia VHEE   | 91        |
| Desenvolvimento de uma ferramenta para garantia da qualidade da imagem em radiologia odontológica intraoral  | 92        |
| Fabricação Digital de Utilitários para o Setor de Medicina Nuclear   | 94        |
| Padronização do Envio de Amostras: Procedimento Operacional Padrão e o Papel da Empresa Júnior SPIN  | 95        |
| Utilização da assinatura isotópica de <sup>13</sup> C, <sup>2</sup> H e <sup>18</sup> O em álcool de cana-de-açúcar para identificar adulterações. | 97        |
| Phantom brônquico para treinamento de broncoscopia guiada por ultrassom  | 99        |
| Estudo Computacional da Focalização de Feixes de Elétrons com Altas Energias (VHEE) no vácuo e em água   | 101       |

|  |     |
|--|-----|
| Manufatura de Phantom 3D de baixo custo para aplicação em Ressonância Magnética              | 103 |
| Desenvolvimento de um phantom ósseo heterogêneo de baixo custo para braquiterapia com Ho-166 | 105 |

## **MATERIAIS E SENSORES** **106**

|   |     |
|---|-----|
| Nanopartículas Multifuncionais de NaGdF <sub>4</sub> Dopadas com Nd <sup>3+</sup> , Yb <sup>3+</sup> e Ho <sup>3+</sup> para Nanotermometria Luminescente | 107 |
| Degradação in situ de nanopartículas metálicas por feixes utilizados em hadronterapia.  | 108 |
| Resina Epóxi Enriquecida com Haletos de Potássio: Aplicação em Radioproteção  | 110 |
| Biosusceptometria de Corrente Alternada para avaliação de matrizes de liberação prolongada  | 112 |
| Desenvolvimento de nanopartículas de ouro recobertas com moléculas contendo anéis aromáticos para carreamento de oxigênio em radioterapia                 | 113 |
| Síntese e caracterização de nanopartículas metálicas de Ag e Au para ampliação de dose em procedimentos radioterápicos                                    | 114 |
| Aumento de emissão azul em nanopartículas SrF <sub>2</sub> :Eu@SrF <sub>2</sub> para aplicação em Terapia Fotodinâmica Ativada por Raios-X (X-TFD)        | 116 |
| Desenvolvimento de Nanopartículas de Fluoreto de Lítio, Cálcio e Alumínio dopado com Samário para Aplicações em Dosimetria por Radiofotoluminescência     | 118 |
| Avaliação Luminescente de compósitos de CaSO <sub>4</sub> :Tm,Li para Dosimetria de Radiação Ionizante  | 120 |
| Estudo dosimétrico de compósitos luminescentes à base de CaSO <sub>4</sub> :Eu,Li   | 121 |
| Caracterização do revestimento de titanato de cálcio sobre substrato de titânio   | 122 |
| Estudo das Propriedades TL e OSL de CaSO <sub>4</sub> :Tb,Li para Aplicações em Dosimetria  | 123 |
| Avaliação das Respostas TL e OSL de CaSO <sub>4</sub> :Yb,Mn para Dosimetria de Radiação  | 124 |

## **MEDICINA NUCLEAR** **125**

|  |     |
|--|-----|
| <i>Avaliação da dose fetal em procedimentos de Medicina Nuclear utilizando simulação Monte Carlo</i>   | 126 |
| <i>Dispositivos celulares como ferramentas para detecção de radiação ionizante: revisão da literatura e perspectivas de uso na medicina nuclear</i>              | 131 |
| Imagem de PET/CT no Carcinoma Hepatocelular: Comparando o Desempenho entre 18F-FDG e 18F-PSMA.   | 135 |
| Comparação de Métodos de Segmentação para Avaliação da Captação Hepática de 18F-FDG em Imagens PET/CT  | 137 |
| Análise da Exposição Ocupacional em Medicina Nuclear Frente ao Aumento de Exames e Estratégias de Radioproteção Adotadas   | 138 |
| Uso de Detectores Geiger-Müller na Estimativa Preliminar de Contaminação Interna em Serviço de Medicina Nuclear  | 139 |
| Avaliação da Inteligência Artificial na Resposta às Principais Dúvidas de Pacientes em um Serviço de Medicina Nuclear  | 140 |
| <b>SIMULAÇÃO MONTE CARLO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL EM PROCEDIMENTOS ROLL COM <sup>99m</sup>Tc</b>   | 142 |
| Análise da Produção de Molibdênio-99 via Detecção de Fótons com Energias Características   | 143 |
| Proposta de protocolo de controle de qualidade em câmaras com detectores CZT modelo D-SPECT, fabricante Spectrum Dynamics  | 144 |
| Terapia Alfa Direcionada para Glioblastoma: Simulações de Monte Carlo utilizando phantom cerebral para <sup>213</sup> Bi, <sup>211</sup> At e <sup>225</sup> Ac. | 145 |
| Parâmetros-Chave para Determinação dos Níveis de Referência Diagnóstico (NRD) Locais em Medicina Nuclear   | 146 |
| Comparação de Métodos de Segmentação para Avaliação da Medidas de Atividade Metabólica da Aorta  |     |

|  |            |
|--|------------|
| Descendente em Imagens 18F-FDG PET/CT  | 147        |
| Desenvolvimento e validação de um simulador educacional para cálculo de ângulos sólidos em física médica   | 148        |
| <b>PROCESSAMENTO DE SINAIS E IMAGENS</b>   | <b>149</b> |
| <i>Análise da Qualidade de Imagens PET/CT: Abordagem Quantitativa com Componentes Principais</i>   | 150        |
| Neuroimagem em Física Médica: Estudo Volumétrico da Amígdala em Pacientes com Neuralgia do Trigêmeo  | 158        |
| Técnicas computacionais de análise de sinais de EEG para a classificação de idosos em diferentes estágios da doença de Alzheimer                               | 159        |
| Framework Multicanal em R para Decomposição de Sinais via Matching Pursuit   | 161        |
| Métodos de visão computacional para classificação de radiografias de pacientes com e sem tuberculose.  | 162        |
| O uso de redes neurais para a segmentação e extração da densidade mamária a partir de imagens mamográficas   | 164        |
| Entropia em imagens de ressonância magnética funcional   | 166        |
| Geração de Imagens Mamográficas Sintetizadas: Um Novo Framework para Aumento de Dados com Ray Tracing, Simulação de Monte Carlo e Deep Learning                | 167        |
| Determinação do número atômico efetivo e densidade eletrônica por tomografia computadorizada com resolução energética: simulações Monte Carlo.                 | 169        |
| Avaliação de Técnicas de Inteligência Artificial para Detecção e Segmentação em Scratch Assay de Células Endoteliais   | 171        |
| Subtração por Dupla Energia em Técnicas Radiográficas: Desenvolvimento e Avaliação de Código Computacional   | 173        |
| Métodos de segmentação de regiões cerebrais em Imagens por Ressonância Magnética de pacientes com glioma   | 174        |
| Comparação de Modelos CNNs para Segmentação de Tumores Encefálicos   | 175        |
| Neuromelanina: Correlação com Técnicas Quantitativas por RM e Espectroscopia   | 176        |
| Alterações morfológicas em pacientes com Parkinson de novo: um estudo de imagens por ressonância magnética   | 178        |
| Comparação de monitores médicos de 8MP e 3MP segundo normativa TG270 da AAPM   | 179        |
| Vantagens das Chirplets na Decomposição de Fusos do Sono   | 180        |
| Redes de Recorrência em EEG: Comparativo entre Estímulos Visuais   | 181        |
| Análise observacional comparativa entre nódulos pulmonares reais e sintéticos  | 182        |
| Classificação da doença de Alzheimer utilizando Redes Neurais Convolucionais   | 184        |
| Detecção de nanopartícula em células no roboflow   | 185        |
| <b>PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E DOSIMETRIA</b>   | <b>187</b> |
| <i>Uso de dosímetros de BeO na avaliação da influência do posicionamento da bandeja de compressão em medições de Kerma no ar em mamografia</i>                 | 188        |
| Estimativa de dose de radiação em cenário de exposição de radiodiagnóstico utilizando o método de Monte Carlo e simulador antropomórfico virtual personalizado | 194        |
| Avaliação do Uso de Biomassa de Conchas Marinhas para Dosimetria de Altas Doses por TL e OSL   | 196        |
| Avaliação da Dose Glandular em Modalidades Tridimensionais de imageamento da Mama  | 197        |
| Avaliação da Distribuição de Dose Glandular em Modalidades Avançadas de Imagem de Mama   | 198        |
| Dosimetria de Raios X com Microfones de Eletreto   | 200        |
| <b>ANÁLISE COMPARATIVA DE CURVAS DE BRAGG EM MATERIAIS TECIDO-EQUIVALENTES</b>   |            |

|   |            |
|---|------------|
| UTILIZANDO SIMULAÇÕES MONTE CARLO NO TOPAS  | 201        |
| Estudo das incertezas e calibração dos filmes radiocrômicos EBT2, EBT3, EBT4 e RTQA2 para doses de radioterapia   | 203        |
| Avaliação da exatidão e precisão na volumetria de nódulos pulmonares usando CT convencional e PCCT  | 204        |
| Comparação entre níveis de referência diagnóstica nacional com um Hospital Universitário  | 206        |
| Implantação de um Laboratório de Calibração de Dosímetros Clínicos (LCDC) no LCR/UERJ: Um Padrão Secundário para Radioterapia                               | 207        |
| Instrumentação e Desenvolvimento de Leitora de Sinal OSL: integração Hardware-Software  | 208        |
| Avaliação computacional da dose associada à radioterapia em pacientes pediátricos com uso do código MCNPX: o caso do tumor de Wilms                         | 209        |
| Comparativo das taxas de equivalente de dose ambiente obtidas por dois modos de operação de uma câmara de ionização   | 210        |
| Propriedades dosimétricas de detectores nanoDot OSL para controle da qualidade em radioterapia: uma caracterização inicial e análise de incerteza           | 211        |
| Manufatura aditiva para confecção de simuladores: uma análise com Monte Carlo PENELOPE  | 212        |
| Modelagem computacional do MgB4O7 dopado com íons lantanídeos: conexões com a área de dosimetria das radiações ionizantes                                   | 214        |
| Análise Comparativa de Modelos de Cálculo de Dose Efetiva em Exames Abdominais de Tomografia Computadorizada  | 215        |
| In vivo measurements in pediatric computed tomography with TLD: A correlation between CDTIvol values  | 217        |
| Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para cálculo dinâmico de blindagens em radioterapia segundo NCRP 151: aplicação à realidade brasileira      | 218        |
| Desenvolvimento de um sistema dosimétrico com Alanina para altas doses  | 219        |
| <b>RADIODIAGNÓSTICO</b>   | <b>220</b> |
| <i>Desenvolvimento e Caracterização de Fantoma Pediatrico Multipropósito para Imagens de Ressonância Magnética e Tomografia Computadorizada</i>             | 221        |
| Eficiência Relativa de Sistemas de Mamografia: Uma Abordagem com CNR e FOM Normalizadas   | 231        |
| <b>SIMULAÇÃO DE IMAGENS DE ESPALHAMENTO DE RAIOS X PARA AVALIAÇÃO DA DIFERENCIAÇÃO TECIDUAL E DO BORRAMENTO ESPACIAL</b>                                    | 232        |
| Avaliação da influência dos parâmetros de seleção e do observador em métricas de controle de qualidade em sistemas de Ultrassonografia (US)                 | 233        |
| Valores Típicos de Dose de Radiação por Indicação Clínica em Procedimentos de Angiografia Cerebral  | 235        |
| IA no Rastreamento de Câncer de Pulmão: A Influência do Balanceamento de Dados no Desempenho do Modelo  | 237        |
| DRL em Radiologia Intervencionista: Valores típicos de PKA em Colangiografia Transparieto-Hepática Percutânea   | 238        |
| Valores típicos de dose para procedimentos pediátricos de colocação de cateter venoso central guiados por fluoroscopia em um hospital universitário público | 240        |
| Teste de zona focal da imagem para controle de qualidade de ultrassom: uma revisão de literatura  | 242        |
| Controle de Qualidade em RM: Análise da Frequência de Não Conformidades nos Testes de Geometria e Corte   | 244        |
| Avaliação da Rejeição de Imagens em Mamografia Digital: Conformidade com Recomendações de Controle de Qualidade e Proteção Radiológica                      | 246        |
| Dose glandular média em mamografia digital no Brasil: comparação entre diferentes métodos de  |            |

|  |            |
|--|------------|
| estimativas de dose  | 247        |
| Avaliação da otimização em mamografia digital através de diferentes formulações da Figura de Mérito  | 249        |
| Skull stripping em imagens cerebrais ponderadas em T1 utilizando Inteligência Artificial   | 251        |
| Desenvolvimento de um tomógrafo híbrido com detectores contador de fótons e integrador de energia  | 252        |
| Implementação de uma ferramenta computacional para análise quantitativa de uniformidade e da integridade de canais em equipamentos de ultrassonografia médica  | 254        |
| <b>PROTOCOLOS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE BAIXA DOSE EM PACIENTES COM UROLITÍASE: UMA REVISÃO INTEGRATIVA</b>   | <b>256</b> |
| Aplicação da tomografia de dupla energia na geração de mapas de iodo para avaliação de TEP: Protocolo de PósProcessamento.   | 258        |
| Desenvolvimento e validação de objetos simuladores antropomórficos para aplicações em diagnóstico por imagem do cérebro  | 260        |
| Avaliação da Rejeição de Imagens em Mamografia Digital: Conformidade com Recomendações de Controle de Qualidade e Proteção Radiológica   | 262        |
| Simulação de Contrastes Radiológicos em MicroCT  | 264        |
| Estudo comparativo da qualidade de imagem da Mamografia Digital e da Mamografia Sintética obtida através da Tomossíntese Digital Mamária   | 265        |
| Uso de software livre para auxílio no gerenciamento de protocolos de imagem  | 267        |
| Ultrassonografia Doppler: Análise de Protocolos de Controle de Qualidade.  | 269        |
| Metodologia Aprimorada de Calibração de Detectores PKA com Monte Carlo e Espectrometria de Raios X com detectores CdTe   | 271        |
| Gerenciamento de Doses em Procedimento de Implante de Marcapasso em Paciente Adulto: Procedimento guiado por Fluoroscopia em um Hospital Universitário no Brasil Uma análise e comparação dos VTD e dos descritores de dose dos equipamentos utilizados. | 272        |
| Avaliação quantitativa da qualidade da imagem de TC do crânio utilizando diferentes métodos de reconstrução: um estudo com phantom   | 273        |
| Avaliação dosimétrica de material utilizado em impressora 3d em feixe de radiodiagnóstico  | 275        |
| Caracterização de um Fotoresistor de Sulfeto de Cádmio como Detector Alternativo para Radiodiagnóstico   | 277        |
| A Importância da Compressão Correta em Testes de CNR em Mamografia segundo Protocolos Internacionais   | 279        |
| Teste de limiar de sensibilidade a baixo contraste: levantamento das abordagens propostas pelos fabricantes de phantoms de ultrassom   | 281        |
| A Relação entre a Carga de Trabalho e o Número de Canais nos Tomógrafos Computadorizados: Impactos na Eficiência e Operação  | 283        |
| Padronização de ROIs e sua Importância na Reprodutibilidade da CNR   | 284        |
| <b>RADIOTERAPIA</b>  | <b>286</b> |
| <i>Avaliação do Procedimento de Medição de Modelagem de Lâminas Aprimorado (ELM) para determinação do DLG no Eclipse versão 18.0</i>   | 287        |
| <i>Validação de feixes de fótons 6MV FF e FFF utilizando o código TOPAS MC</i>   | 292        |
| <i>Controle de Qualidade da Técnica VMAT em Simulador 3D Utilizando a Metodologia do Relatório TG 119 da AAPM</i>  | 297        |
| <i>Implementação e comparação de modelos KBP-RapidPlan em radioterapia do câncer de mama</i>   | 304        |
| Nanopartículas cintilantes de LiCaAlF <sub>6</sub> :Eu para aplicações em terapia fotodinâmica ativada por raios X (X-PDT)   | 312        |

|   |     |
|---|-----|
| IMPLEMENTAÇÃO DE PROTOCOLO DOSIMÉTRICO PARA TBI UTILIZANDO O SISTEMA IVDTM 2 DA SUN NUCLEAR   | 313 |
| RAPHYDUS-AI: Modelos Preditivos de Toxicidade em Radioterapia de Próstata Hipofracionada — Um Estudo no Sistema Público de Saúde Brasileiro                     | 314 |
| Proposta de Novos Limites de Dose para Subestruturas Cardíacas Avaliadas em Radioterapia de Câncer de Mama  | 316 |
| INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO DA GRADE DE CÁLCULO NA DISTRIBUIÇÃO DE DOSE EM SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE RADIOTERAPIA   | 318 |
| Nanotecnologia na radioterapia: nanoclusters de prata (DNA-AgNCs) como agentes radiosensibilizantes em câncer de pulmão.  | 320 |
| Modelo de Otimização para Distribuição de Dose em Terapia com Prótons: Resultados Preliminares  | 322 |
| Análise da Resposta Celular à Radioterapia com Nanopartículas   | 324 |
| Avaliação Comparativa de Ferramentas de Automatização para Análise de Testes no Programa de Garantia da Qualidade em Radioterapia                               | 325 |
| Otimização no Planejamento de Tratamento do Câncer por Radiação por Prótons Utilizando o Software MatRad  | 328 |
| Avaliação de controle de qualidade de planejamento de Radioterapia com Arco dinâmico para CLINAC CX   | 330 |
| Avaliação da dose absorvida na glândula tireoide em radioterapia para câncer de mama com irradiação da região nodal   | 332 |
| Avaliação de distribuição de doses em radioterapia de linfoma conjuntival ocular  | 333 |
| Comparação de Funções dos Modelos de Otimização Integradas ao Software matRad   | 334 |
| Memético e Programação Linear para auxílio no Planejamento Otimizado da Radioterapia  | 336 |
| Deteção de Anomalias usando séries temporais de métricas de complexidade de arcos modulados para controle de qualidade em radioterapia                          | 337 |
| Revisão de Escopo para Resposta de Dosímetro de DNA à Radiação Ionizante  | 338 |
| Desenvolvimento de uma Configuração Experimental para a Irradiação de Células Neoplásicas In Vitro utilizando o código Monte Carlo PENELOPE                     | 339 |
| Avaliação da resposta tumoral e ativação do sistema imune frente à radioterapia espacialmente fracionada (SFRT)   | 341 |
| IMPACTO DO TAMANHO DA GRADE NOS CÁLCULOS DE DOSE PARA TUMORES CRANIANOS   | 342 |
| AUTOMATIZAÇÃO DE CONTROLES DE QUALIDADE NO ACELERADOR LINEAR TRUEBEAM STx ATRAVÉS DO MODO DE DESENVOLVIMENTO  | 344 |
| Desenvolvimento de ferramenta computacional para ajuste automatizado de curvas de sobrevivência celular com nanopartículas de ouro                              | 346 |
| Impacto da variação do protocolo de TC nas curvas de calibração de unidades de Hounsfield por densidade eletrônica relativa em pacientes adultos e pediátricos. | 347 |
| Caracterização dos Perfis de Dose do Acelerador Halcyon™ via Simulação Monte Carlo  | 349 |
| ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM ARRANJO EXPERIMENTAL DE RADIOTERAPIA ESPACIALMENTE FRACIONADA UTILIZANDO SIMULAÇÃO MONTE CARLO                                   | 351 |
| Validação de Simulador Antropomórfico de Olho Impresso em 3D para Controle de Qualidade em Radioterapia de Feixe Externo  | 353 |
| Simulação de difusão de nanopartículas metálicas na pele utilizando técnica Random Walk   | 355 |
| Influência do Ângulo de Colimador na verificação de dose em PSQA com Portal Dosimetry.  | 356 |
| Teste de Winston-Lutz de múltiplos focos para casos de metástases cerebrais com isocentro único   | 357 |
| Desenvolvimento de ferramenta computacional para ajuste automatizado de curvas de sobrevivência celular com nanopartículas de ouro                              | 359 |

|   |     |
|---|-----|
| Aplicação da Braquiterapia em Equinos: Avaliação da Distribuição de Dose com o Uso do Código Monte Carlo MCNPX2.7.0   | 361 |
| Caracterização e Controle de Qualidade da Fonte de Raios-X de um Irradiador de Sangue de um Hemocentro  | 363 |
| Simulações da técnica radioterápica VMAT utilizando TOPAS MC: Metodologia e Perspectivas para Aplicações Clínicas   | 365 |
| Comparação de DVH obtido no TPS Eclipse com Simulação de Monte Carlo para um Campo de IMRT  | 367 |
| Comparação de planos VMAT para colo de útero entre Trilogy, TrueBeam e Halcyon, com feixes de 6 MV e 6 FFF  | 369 |
| Margens de PTV em câncer de próstata utilizando IGRT: Rotação, inclinação e rolagem são parâmetros relevantes no cálculo das margens?   | 370 |
| Análise do Risco de Câncer Secundário Após Radioterapia Conformacional e Modulada na Ablação Ovariana   | 371 |
| Tratamentos VMAT em mama ultra hipofracionados DIBH com feixes FFF  | 372 |
| Estudo in silico dos Efeitos do Vidro Bioativo com 166- Ho em Braquiterapia Óssea   | 374 |
| Análise da distribuição de dose em microplacas de culturas de carcinoma escamoso bucal: Uma simulação Monte Carlo utilizando TOPAS.   | 376 |
| Análise da relação de entrega de dose com feixes 6FF e 6FFF com diferentes volumes de PTV   | 378 |
| Desenvolvimento e validação de algoritmo de rede neural para cálculo de fator bloco em radioterapia com feixe de elétrons   | 379 |
| Estudo da Distribuição de Dose em Equinos Submetidos à Teleterapia Utilizando o Código Monte Carlo MCNPX2.7.0   | 381 |
| Comparação Dosimétrica Entre Feixes De Fótons Com e Sem Filtro Aplainador em Casos de Radiocirurgia De Lesões Únicas (SRS)  | 383 |
| Consequências dosimétricas da aplicação da técnica de retenção de fôlego (DIBH) nas doses cardíaca e pulmonar em pacientes em tratamento de Radioterapia para a mama esquerda | 385 |
| Investigação da dosimetria de campos pequenos para Varian Clinac iX Trilogy aplicada à radiocirurgia  | 386 |
| Avaliação da dose no esôfago na radioterapia para câncer de mama com irradiação da fossa supraclavicular em diferentes técnicas: 3D-CRT, IMRT E VMAT                          | 388 |
| Mapeamento de Centros e Tecnologias   | 390 |
| Nanodispositivos Teranósticos: Explorando a viabilidade de agentes de contraste clínicos para Terapia Fotodinâmica Combinada à Radioterapia                                   | 391 |
| UTILIZAÇÃO DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA COM CONTRASTE NO PLANEJAMENTO DE RADIOTERAPIA SBRT DE TÓRAX: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA  | 393 |
| Estudo da dose fora do campo: cuidados na radioterapia pediátrica   | 394 |
| Dosimetria acustoelástica da dose absorvida em phantoms de gel equivalentes a tecido mole   | 396 |



**BIOFÍSICA E  
FÍSICA  
MOLECULAR**

## **Lipossomas Biomiméticos como Estratégia para Redução da Formação de Coroa Proteica: Influência da Hibridização com Membranas de Hemácias**

Moraes G.<sup>1</sup>, Vaz H.<sup>1</sup>, De Sousa L.<sup>1</sup>, Lima E.<sup>1</sup>, Neto S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás (Ufg)

**Resumo:** A formação da coroa proteica é inevitável quando nanopartículas entram em contato com fluidos biológicos, afetando sua biodistribuição e reconhecimento celular. Em sistemas lipossomais para liberação de fármacos, reduzir a adsorção de proteínas plasmáticas é crucial para estabilidade e imunocompatibilidade. Lipossomas biomiméticos, com fragmentos de membranas celulares como as de eritrócitos (RBC), surgem como estratégia promissora. Este estudo analisa o impacto da hibridização com membranas de hemácias na formação da coroa proteica, por meio de caracterizações físico-químicas e bioquímicas.

**Materiais e métodos:** Lipossomas convencionais (cLP) foram preparados por evaporação rotativa e hidratação de filme fino, enquanto os lipossomas híbridos (hLP) foram obtidos por ciclos de congelamento-descongelamento seguidos de extrusão, incorporando fragmentos de membrana de hemácias. As nanopartículas foram caracterizadas quanto ao tamanho, potencial zeta e concentração por DLS-ZETA e NTA. A dinâmica de membrana foi avaliada por espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (RPE). A formação da coroa proteica foi quantificada pelo ensaio colorimétrico BCA, após incubação com soro fetal bovino (FBS) e subsequente isolamento dos lipossomas.

**Resultados e discussões:** Os lipossomas híbridos apresentaram tamanhos maiores (175–250 nm) que os convencionais (~100 nm), com potencial zeta entre -20 e -30 mV. Houve menor adsorção de proteínas séricas nos híbridos, atribuída à presença de componentes da membrana de eritrócitos, que conferem características de “self” e reduzem a formação da coroa proteica.

**Conclusões:** A incorporação de membranas de eritrócitos em lipossomas reduziu a adsorção de proteínas plasmáticas, destacando seu potencial como sistemas biomiméticos. Essa camuflagem pode prolongar a circulação, reduzir a depuração por fagócitos e aumentar a eficiência na entrega de fármacos, evidenciando a relevância da engenharia de superfície.

### **Referências::**

[1] Kopac, T. (2021). Protein corona, understanding the nanoparticle–protein interactions and future perspectives: A critical review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 290–301. Barz, M., Parak, W. J., & Zentel, R. (2024). Concepts and approaches to reduce or avoid protein corona formation on nanoparticles: Challenges and opportunities. *Advanced Science*, 11(15), 202402935.

## **Influência da composição lipídica na fluidez e resistência à solubilização de lipossomas**

Vaz H.<sup>1</sup>, Moraes G.<sup>1</sup>, De Sousa L.<sup>1</sup>, Lima E.<sup>1</sup>, Neto S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás (Ufg)

**Resumo:** Lipossomas são sistemas de liberação de fármacos valorizados por sua biocompatibilidade, versatilidade e capacidade de encapsular várias moléculas. A composição lipídica influencia propriedades como tamanho, carga, fluidez e estabilidade, impactando seu desempenho in vivo. A fluidez da bicamada está ligada à estabilidade estrutural e à resistência a surfactantes como o Triton X-100, usado para estudar permeabilização. Este trabalho avaliou formulações com diferentes composições lipídicas, focando na relação entre fluidez de membrana e resistência à solubilização por detergente.

**Materiais e métodos:** Os lipossomas foram preparados usando o método convencional onde um filme fino foi preparado e posteriormente hidratado e extrusado. O tamanho, potencial zeta e concentração de partículas foram medidos por espalhamento dinâmico de luz (DLS), potencial zeta e rastreamento de partículas (NTA), respectivamente. A estabilidade e resistência ao detergente TX-100 foi medida pela técnica de microcalorimetria de titulação isotérmica (ITC) e a fluidez de membrana foi avaliada usando a ressonância paramagnética eletrônica (RPE).

**Resultados e discussões:** As formulações tiveram tamanhos de 100–150 nm e potencial zeta entre -10 e -20 mV, exceto a com lipídio catiônico, que foi +34 mV. A fluidez da membrana variou com a composição: SPC gerou maior fluidez, enquanto lipídios insaturados foram mais rígidos. Observou-se que a resistência ao detergente é inversamente proporcional à fluidez.

**Conclusões:** A composição lipídica afeta a fluidez da membrana e a resistência dos lipossomas a detergentes. Formulações mais fluídas, como as com fosfatidilcolina de soja, foram menos resistentes, enquanto as mais rígidas, com lipídios insaturados ou catiônicos, mostraram maior estabilidade. Controlar a fluidez é essencial para sistemas lipossomais estáveis.

### **Referências:**

[1] Lichtenberg, D., Ahyayauch, H., & Goñi, F. M. (2013). The mechanism of detergent solubilization of lipid bilayers. *Biophysical Journal*, 105(2), 289–299. Heerklotz, H. (2008). Interactions of surfactants with lipid membranes. *Quarterly reviews of biophysics*, 41(3-4), 205-264.

## Efeitos da Hidratação em Supercapacitores com Líquido Iônico Biodegradável: Uma Abordagem via Dinâmica Molecular

Dias M.<sup>1</sup>, Chagas H.<sup>1</sup>, De Oliveira G.<sup>2</sup>, Cardoso W.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto De Física, Universidade Federal De Goiás, <sup>2</sup>Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** A busca por soluções sustentáveis no armazenamento de energia tem impulsionado o desenvolvimento de supercapacitores com materiais ecológicos. Líquidos iônicos biodegradáveis, como o [EMIM][PHE], surgem como candidatos promissores, apesar de seu alto custo. Esta pesquisa investiga, por meio de simulações de dinâmica molecular, o impacto da substituição parcial do [EMIM][PHE] por água no desempenho de supercapacitores. Foram analisadas propriedades estruturais e elétricas, com foco na capacitância e na densidade de energia armazenada. Os resultados indicam que a adição de água pode aumentar a eficiência energética, reduzir o custo e diminuir o peso dos dispositivos, promovendo um avanço sustentável na área.

**Materiais e métodos:** Foram realizadas simulações de dinâmica molecular utilizando o pacote GROMACS. Os sistemas consistem em supercapacitores com eletrodos de grafeno e o líquido iônico biodegradável [EMIM][PHE], com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de água. As simulações foram conduzidas em ensemble NVT com densidade de carga superficial variando de 0,00 a 0,30 e/nm<sup>2</sup>. As propriedades analisadas incluem perfil de potencial eletrostático, capacitância total, densidade de número e energia armazenada. As curvas de energia foram ajustadas por regressão polinomial e os resultados normalizados por massa para permitir comparações diretas entre os sistemas simulados.

**Resultados e discussões:** Os resultados mostraram que o potencial eletrostático nos supercapacitores aumenta com a densidade de carga nos eletrodos, caracterizando a formação de uma dupla camada elétrica. A capacitância total cresce com a adição de água, devido à maior constante dielétrica e mobilidade iônica. A substituição de LI por água melhora a energia armazenada, reduzindo peso e custo do dispositivo.

**Conclusões:** As simulações de dinâmica molecular evidenciam que a adição de água aos supercapacitores aumenta a capacitância devido à maior constante dielétrica e mobilidade iônica. A substituição de líquido iônico por água não só melhora a energia armazenada, mas também reduz peso e custo, destacando os líquidos iônicos biodegradáveis como alternativas sustentáveis e eficientes para armazenamento de energia.

### Referências:

- [1] Chaban VV, Fileti EE. J Phys Chem B. 2015;119(9):3824–8.
- [2] Chevrot G, Fileti EE, Chaban VV. J Mol Model. 2016;22(11).
- [3] Fileti EE, Chaban VV. Chem Phys Lett. 2014;616-617:205–11.
- [4] Chaban VV, Fileti EE. J Mol Model. 2015;21(9).
- [5] Jorgensen WL et al. J Chem Phys. 1983;79:926–35.
- [6] Best RB et al. J Chem Theory Comput. 2012;8:3257–73.
- [7] Morgon NH, Coutinho KR. Mét Quím Teórica. Livraria da Física; 2007.

- [8] Allen MP, Tildesley DJ. *Comput Simulation Liquids*. Oxford Univ Press; 2017.
- [9] Darden T et al. *J Chem Phys*. 1993;98:10089–92.
- [10] Bussi G et al. *J Chem Phys*. 2007;126:014101.
- [11] Hess B et al. *J Comput Chem*. 1997;18:1463–72.
- [12] Abraham MJ et al. *SoftwareX*. 2015;1–2:19–25.

## **Fluorescência de Raios X na Determinação de Concentrações Traço de Ferro: Avaliação do Limite de Detecção de Ferro com Ferripolimaltose**

Azeredo J.<sup>1</sup>, Guimarães V.<sup>2</sup>, Marvila H.<sup>2</sup>, De Figueiredo J.<sup>3</sup>, Da Silva Junior A.<sup>3</sup>, Santos J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Não Possui, <sup>2</sup> Universidade Federal D, <sup>3</sup> Joana Angélica Amorim De Figueiredo

**Resumo:** A análise da composição elementar de materiais desempenha um papel importante na ciência, fornecendo informações valiosas para diversas aplicações, desde a caracterização de substâncias até a investigação de amostras biológicas. Nesse contexto, técnicas baseadas em fluorescência de raios X são muito utilizadas e se destacam por permitir a identificação e quantificação de elementos presentes em uma amostra. Este estudo tem como objetivo analisar diferentes concentrações de ferripolimaltose diluída em água, empregando a técnica de fluorescência de raios X, com o propósito de determinar a menor concentração detectável pelo sistema de detecção utilizado. Tem-se como perspectiva a otimização setup experimental para detecção de ferro em níveis traço em culturas celulares e tecidos tumorais.

**Materiais e métodos:** O aparato empregado consiste em um tubo de raios X industrial, em conjunto com um detector de silício modelo X-123-SiPIN da AMPTEK. O detector e a amostra foram posicionados a um ângulo de 45 graus em relação ao feixe primário de raios X. Realizamos análises de fluorescência em diferentes concentrações de ferripolimaltose (50 mg/ml) e água, respectivamente: 0,05ml/5ml, 0,25/5ml, 0,2ml/2 ml, 0,4ml/2ml, 0,6ml/2 ml, 1ml/2 ml, 1,2ml/2ml e a gota pura da substância. Foram aplicadas duas gotas de cada mistura em papel, e todas as amostras foram irradiadas com uma tensão de 10 kV, corrente de 10 mA e tempo de 120 segundos. Os espectros de fluorescência foram registrados pelo software DppMCA.

**Resultados e discussões:** Identificamos a relação linear entre o número de contagens e a concentração de ferripolimaltose, ou seja, o aumento da concentração é proporcional à altura dos picos característicos do ferro (Fig. 1). A menor concentração na qual foram observados os picos foi de 0,25 em 5mL de água, indicando que essa constitui o limite mínimo de detecção alcançado com as configurações deste aparato experimental.

**Conclusões:** Apesar da eficácia do experimento, enfrentamos desafios na detecção de concentrações muito baixas de ferro, em razão da presença de picos pouco definidos, decorrentes do elevado fundo espectral. Futuramente, almejamos otimizar o experimento para detecção de oligoelementos, como o ferro, em amostras celulares, objetivando analisar as diferenças de concentração em células saudáveis e cancerosas.

### **Referências:**

- [1] THOMPSON, Albert. X-ray Data Booklet. University Of California: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001. AMPTEK, inc. Overview of X-Ray Fluorescence Analysis. Bedford, Massachusetts. 2020.
- [2] BECKHOFF, B. et al. (Ed.). Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis. Berlin: Springer, 2006. ISBN 978-3-540-28603-5.



# **BIOMAGNETISMO**

## Avaliação de Desempenho da Magnetocardiografia com Magnetômetros de Bombeamento Óptico em Adultos e Fetos

De Souza D.<sup>1</sup>, Tardelli G.<sup>2</sup>, Rezende R.<sup>1</sup>, Wakai R.<sup>2</sup>, Baffa O.<sup>1</sup>

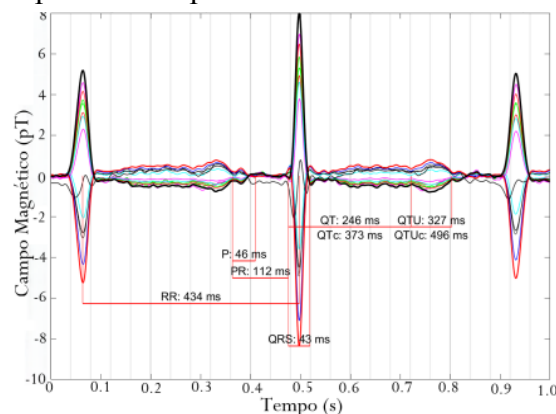
<sup>1</sup>Universidade De São Paulo

<sup>2</sup>University Of Wisconsin-Madison

**Resumo:** A magnetocardiografia (MCG) é uma técnica não invasiva que mede os campos magnéticos gerados pela atividade elétrica do coração, facilitando a detecção de anomalias cardíacas. Até há pouco tempo a MCG utilizava sensores supercondutores (SQUIDs), que exigem refrigeração criogênica uma blindagem magnética volumosa. A introdução dos Magnetômetros de Bombeamento Óptico (OPMs) tornou a técnica mais acessível, pois esses sensores operam em temperatura ambiente requerem apenas uma blindagem reduzida, localizada ao redor do paciente [1]. Este projeto visa avaliar o desempenho dos OPMs em medições de MCG, incluindo a MCG fetal, contribuindo para tornar a MCG mais acessível e eficaz na detecção de arritmias e outras patologias cardíacas, o que pode aprimorar o diagnóstico e o tratamento precoce.

**Materiais e métodos:** A medição foi feita com blindagem magnética de u-metal e alumínio para reduzir ruído de 60 Hz. Usaram-se sete sensores OPM (QuSpin Inc.) com resolução de 10–15 fT/Hz<sup>1/2</sup>. Participantes deitaram em posição prona, com tórax sobre os sensores. Foram analisados adultos saudáveis (18-70 anos) e 4 mulheres grávidas (25-31 semanas). Todos assinaram o termo de consentimento e o estudo foi aprovado pelo comitê de ética\*. Sinais foram processados com filtros passa-banda (1–100 Hz) e notch (60 Hz), e intervalos cardíacos foram determinados após a média da onda e seleção manual. A técnica de Análise de Componente Independente (ICA) foi usada para separar sinais maternos e fetais a partir da 25ª semana.

**Resultados e discussões:** Os sinais de MCG apresentaram uma média de Sinal-Ruído (SNR) de  $9,31 \pm 4,41$ , enquanto para fMCG a média foi de  $3,51 \pm 0,59$ . Na Figura 1 são apresentados a onda cardíaca média e os intervalos cardíacos de um feto saudável [2]. Esses resultados mostram o potencial da técnica para monitorar sinais cardíacos, apesar dos desafios como interferência de ruídos e a precisão do posicionamento dos sensores.



**Figure 1-** Onda cardíaca fetal obtida por fMCG em uma voluntária saudável com 27 semanas e 2 dias de gestação.

**Conclusões:** A tecnologia OPM-MCG mostrou-se uma alternativa versátil e acessível às técnicas convencionais, tornando a MCG mais econômica e viável. Por operarem em temperatura ambiente, ao contrário dos SQUIDS, e não sofrerem atenuação pelos tecidos do corpo, oferecem vantagens, principalmente na detecção cardíaca fetal, ampliando possibilidades para o monitoramento cardíaco em áreas clínicas e de pesquisa.

**References:**

- [1] Strand S., et al: Low-Cost Fetal Magnetocardiography. J Am Heart Assoc., 2019.
- [2] Strand S., et al: Fetal magnetocardiogram waveform characteristics. Physiol Meas. 40 035002 DOI 10.1088/1361-6579/ab0a2c. 2019.

## Avaliação Farmacomagnetográfica do Efeito Prócínético na Absorção do Metronidazol

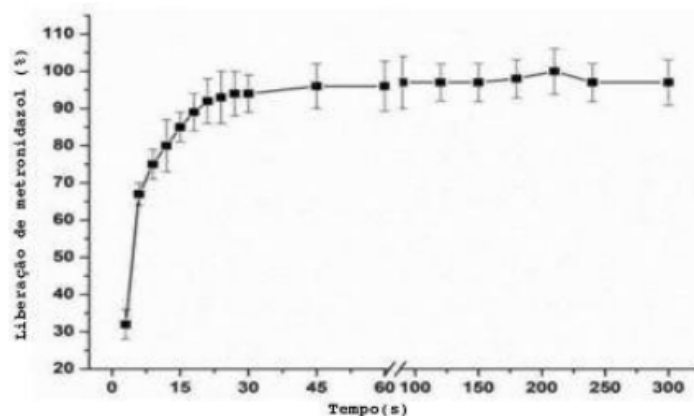
Panossi L.<sup>1</sup>, Rodrigues G.<sup>1</sup>, Soares O.<sup>1</sup>, Buranello L.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), Botucatu

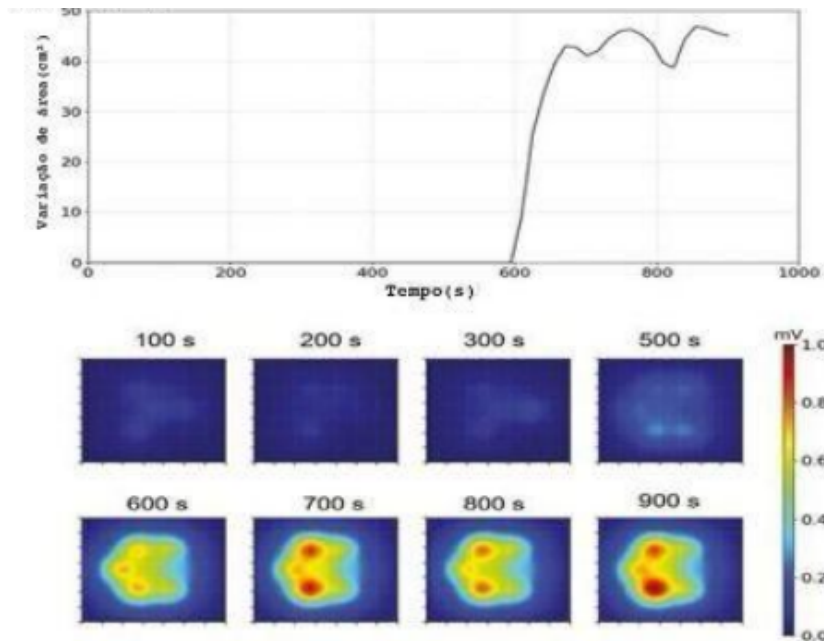
**Resumo:** A via oral é a forma mais comum de administração de fármacos, mas otimizar sua liberação e absorção ainda é um desafio. A motilidade do trato gastrointestinal (TGI) influencia diretamente a biodisponibilidade, e agentes pró-cinéticos, como a prucaloprida, podem acelerar esse processo. Avaliar simultaneamente a motilidade e os parâmetros farmacocinéticos é essencial. A Biossusceptometria de Corrente Alternada (BAC) é uma técnica não invasiva usada na farmacomagnetografia (FMG) para acompanhar formas farmacêuticas sólidas no TGI. Este estudo avaliou os efeitos da prucaloprida sobre o trânsito gastrointestinal e a biodisponibilidade de um comprimido magnético de metronidazol por meio da FMG com BAC.

**Materiais e métodos:** A Forma Farmacêutica Sólida (FFS) magnética usada continha pó de ferrita de manganês (90–125 $\mu$ m). A quantificação do metronidazol foi realizada por cromatografia líquida de ultraeficiência (UPLC). A BAC, composta por dois pares de bobinas (indução e detecção), foi posicionada na região do estômago para registro dos sinais por 15 minutos, avaliando a desintegração do comprimido. Para a análise farmacocinética, amostras de soro foram centrifugadas, e o sobrenadante aliquoteado (500  $\mu$ L) em tubos de 1,5 mL, armazenados a -80 °C até a extração e análise.

**Resultados e discussões:** O perfil de dissolução mostrou liberação rápida e dose eficaz (ED) de  $92,46 \pm 6,3$  em 60 min. O método UPLC foi sensível, linear e específico. A FMG indicou que a prucaloprida reduziu o esvaziamento gástrico e o tempo de trânsito orocecal, acelerando a absorção e aumentando a concentração plasmática do metronidazol.



**Figura 1-** Perfil de liberação in vitro do metronidazol e tempo para SDF com revestimento magnético (n=6).



**Figura 2** – Imagem magnética ilustrando o processo de desintegração de um comprimido magnético de um voluntário tratado com prucaloprida.

**Conclusões:** A prucaloprida melhorou o esvaziamento gástrico e o trânsito intestinal, aumentando a biodisponibilidade e a absorção do metronidazol. A FMG mostrou-se eficaz para rastreamento do trânsito e absorção. O sistema BAC é uma abordagem promissora, mas mais estudos são necessários sobre interações medicamentosas e aplicações clínicas.

#### References:

- [1] Corá LA, Romeiro FG, Paixão FC et al. Enteric coated magnetic HPMC capsules evaluated in human gastrointestinal tract by C biosusceptometry. *Pharm Res* 2006;23:1809-16. <https://doi.org/10.1007/s11095-006-9035-0>
- [2] Danz MA, Lalgé RIV, Marathe SP et al. Excipient stability in oral solid dosage forms: a review. *AAPS PharmSciTech* 2018;19:12-26. <https://doi.org/10.1208/s12249-017-0864-4>
- [3] Tack J, Corsetti M. Prucalopride: evaluation of the pharmacokinetics, pharmacodynamics, efficacy and safety in the treatment of chronic constipation. *Expert Opin Drug Metab Toxicol* 2012;8:1327-35 <https://doi.org/10.1517/17425255.2012.719497>
- [4] Van de Velde V, Vandeplassche L, Hoppenbrouwers M et al. Effect of prucalopride on the pharmacokinetics of oral contraceptives in healthy women. *Drugs R D* 2013;13:43-51. <https://doi.org/10.1007/s40268-013-0008-6>
- [5] Park CJ, Armenia SJ, Zhang L, et al. The 5-HT<sub>4</sub> Receptor agonist prucalopride stimulates mucosal growth and enhances carbohydrate absorption in the ileum of the mouse. *Gastrointest* 2019;23:1198-205 <https://doi.org/10.1007/s11605-018-3907-6>

## Caracterização do processo de internalização celular em diferentes tempos de nanopartículas magnéticas em células da linhagem queratinócitos via Biosusceptometria de Corrente Alternada

Rossi C.<sup>1</sup>, Buranello L.<sup>1</sup>, Mostasso A.<sup>1</sup>, Dos Santos T.<sup>1</sup>, De Mattos V.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Unesp Botucatu

**Resumo:** A administração tópica de medicamentos oferece vantagens ao direcionar o fármaco para a pele, evitando o metabolismo de primeira passagem via oral. A eficácia desses medicamentos depende de suas propriedades farmacológicas e viabilidade no local de ação. Para compreender o processo de ação na pele, métodos como análises *in vitro* com cultura celular têm sido empregados. A nanotecnologia, especialmente as nanopartículas magnéticas (NPMs), tem avançado, visando melhorar biodisponibilidade e toxicidade. Neste estudo, buscou-se entender a internalização de nanopartículas magnéticas em células epiteliais através da técnica de Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC), realizando o monitoramento e caracterização deste processo.

**Materiais e métodos:** Células HaCat foram cultivadas em meio com soro fetal bovino a 37 °C e 5% de CO<sub>2</sub>. Após confluência, foram tripsinizadas, contadas e plaqueadas. As NPMs (MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), fornecidas pelo grupo do Prof. Dr. Andris Bakuzis (UFG), foram adicionadas e monitoradas por 1h, 6h, 12h e 24h. As amostras com partículas não aderidas (sobrenadante) e aderidas às células foram analisadas no sensor BAC Cavidade. A microscopia eletrônica (TEM) foi utilizada para confirmar a internalização celular das NPMs.

**Resultados e discussões:** A figura 1A mostra que o sistema BAC foi capaz de detectar a baixa quantidade de material magnético nas amostras, apresentando diferença entre o grupo sobrenadante e tripsinizado ao longo dos diferentes tempos de interação. As imagens via TEM mostram que poucas partículas entraram de fato nas células (figura 1B).

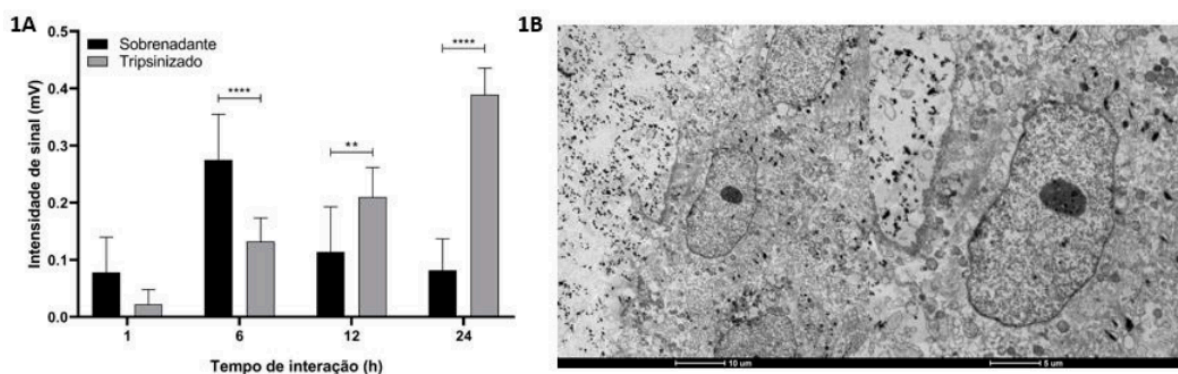


Figura 1

**Conclusões:** A partir desses resultados, ainda preliminares, é possível observar que o sistema BAC é capaz de traçar um perfil de interação das células com as nanopartículas magnéticas em diferentes tempos. Contudo, mudanças no protocolo serão realizadas para a obtenção de melhores informações.

**Agradecimento:** Esse trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e agradecemos ao Prof. Dr. Andris Bakuzis da UFG pelo fornecimento das nanopartículas magnéticas.

**References:**

- [1] Mohammed, L., et al., Magnetic nanoparticles for environmental and biomedical applications: A review. *Particuology*, 2017. 30: p. 1-14.
- [2] Hedayatnasab, Z., F. Abnisa, and W.M.A.W. Daud, Review on magnetic nanoparticles for magnetic nanofluid hyperthermia application. *Materials & Design*, 2017. 123: p.174-196.
- [3] Quini, C.C., et al., Development of a protocol to assess cell internalization and tissue uptake of magnetic nanoparticles by AC Biosusceptometry. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2019. 473: p. 527-533.
- [4] Cora, A., et al., Magnetic images of the disintegration process of tablets in the human stomach by ac biosusceptometry. *Phys Med Biol*, 2005. 50.
- [5] Singh, A. and S.K. Sahoo, Magnetic nanoparticles: a novel platform for cancer theranostics. *Drug Discov Today*, 2014. 19(4): p. 474-81.
- [6] Artursson, P., & Karlsson, J. (1991). Correlation between oral drug absorption in humans and apparent drug permeability coefficients in human intestinal epithelial (Caco-2) cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 175(3), 880-885.

## Biosusceptometria de Corrente Alternada para a caracterização do perfil de interação de nanopartículas magnéticas com células da linhagem CaCo2

Dos Santos T.<sup>1</sup>, Buranello L.<sup>1</sup>, Rossi C.<sup>1</sup>, Mostasso A. <sup>1</sup>, Neto J.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho (Unesp), Botucatu

**Resumo:** A via oral é a mais comum para administração de medicamentos, mas variações de pH no trato gastrointestinal afetam a solubilidade e permeabilidade dos fármacos. A nanotecnologia surge como alternativa, com destaque para as nanopartículas magnéticas (NPMs), que permitem monitorar a trajetória do fármaco sem marcadores radioativos. Culturas celulares, como o modelo Caco2, ajudam a estudar a absorção de medicamentos. Para detectar NPMs nesses estudos, utilizamos a Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC), técnica eficaz in vivo, ex vivo e in vitro.

**Materiais e métodos:** Células Caco2 foram cultivadas em meio com soro fetal bovino, em estufa (5% CO<sub>2</sub>, temperatura controlada). Após tripsinização, nanopartículas magnéticas (NPMs) de ferrita de manganês revestidas com citrato foram incubadas com as células por 1, 6, 12 e 24 horas. Em cada intervalo, coletaram-se sobrenadantes (NPMs não internalizadas) e frações tripsinizadas (NPMs internalizadas). As amostras foram analisadas por Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC) e microscopia eletrônica de transmissão (TEM).

**Resultados e discussões:** Os dados das amostras analisadas no sistema BAC foram representados em um gráfico de intensidade de sinal por tempo de interação (Fig. 1.A). Os gráficos mostram que houve uma progressão da resposta do sistema BAC ao longo do tempo nas amostras tripsinizadas, indicando que ao longo do tempo uma maior quantidade de NPMs aderida nas células. Na Fig. 1.B, as imagens de TEM mostram que as NPMs foram internalizadas nas células CaCo2.

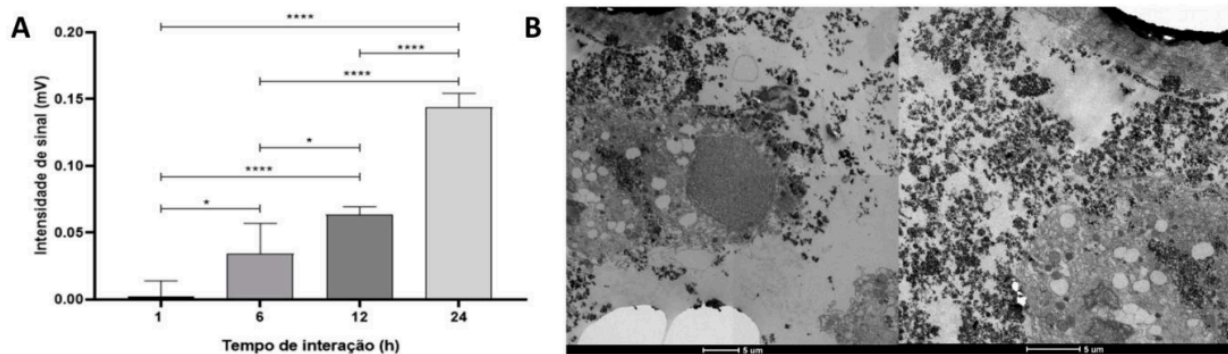


Figura 1

**Conclusões:** Com base dos resultados apresentados, mesmo que iniciais, é possível identificar que houve internalização celular das NPMs pelas células CaCo2. O sistema BAC se mostrou sensível para detectar uma pequena quantidade de material magnético e traçar um perfil do processo de interação das NPMs ao longo do tempo quando em contato com as células.

**Agradecimento:** Esse trabalho foi financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

**References:**

- [1] Mohammed, L., et al., Magnetic nanoparticles for environmental and biomedical applications: A review. *Particuology*, 2017. 30: p. 1-14.
- [2] Hedayatnasab, Z., F. Abnisa, and W.M.A.W. Daud, Review on magnetic nanoparticles for magnetic nanofluid hyperthermia application. *Materials & Design*, 2017. 123: p.174-196.
- [3] Quini, C.C., et al., Development of a protocol to assess cell internalization and tissue uptake of magnetic nanoparticles by AC Biosusceptometry. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2019. 473: p. 527-533.
- [4] Cora, A., et al., Magnetic images of the disintegration process of tablets in the human stomach by ac biosusceptometry. *Phys Med Biol*, 2005. 50.
- [5] Singh, A. and S.K. Sahoo, Magnetic nanoparticles: a novel platform for cancer theranostics. *Drug Discov Today*, 2014. 19(4): p. 474-81.
- [6] Artursson, P., & Karlsson, J. (1991). Correlation between oral drug absorption in humans and apparent drug permeability coefficients in human intestinal epithelial (Caco-2) cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 175(3), 880-885.

## Caracterização do Processo de Interação de Diferentes Concentrações de Nanopartículas Magnéticas em Células HaCat via Biosusceptometria AC

Mostasso A.<sup>1</sup>, Buranello L.<sup>1</sup>, Rossi C.<sup>1</sup>, Dos Santos T.<sup>1</sup>, Soares O.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho (Unesp), Botucatu

**Resumo:** A administração tópica de medicamentos apresenta benefícios ao direcionar o princípio ativo diretamente para a pele, evitando o metabolismo de primeira passagem oral. A eficácia desses fármacos está relacionada às suas propriedades farmacológicas e à sua capacidade de atuar de forma eficiente no local de aplicação. Para entender melhor o mecanismo de ação cutânea, têm sido utilizados métodos *in vitro*, como culturas celulares. A nanotecnologia, com destaque para as nanopartículas magnéticas (NPMs), tem se desenvolvido com o objetivo de aprimorar a biodisponibilidade e reduzir a toxicidade dos compostos. Neste estudo, investigou-se a internalização de nanopartículas magnéticas em células epiteliais por meio da técnica de Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC), possibilitando o monitoramento e a caracterização desse processo.

**Materiais e métodos:** Foram cultivadas células da linhagem HaCat, mantidas em meio de cultura suplementado com soro fetal bovino, em estufa a 37° C, com 5% de CO<sub>2</sub>. Após atingirem a confluência, foi realizado o processo de tripsinização, contagem e plaqueamento das células. Após este processo, as NPMs (MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) com diferentes concentrações (5%, 10% e 15%) foram interagidas com as células, e monitorado este processo em diferentes tempos (1h, 6h, 12h e 24h). As amostras contendo as partículas que não aderiram a superfície da placa (sobrenadante) e as aderidas (partículas com células) foram avaliadas no sensor BAC Cavidade.

**Resultados e discussões:** A figura 1 mostra que o sistema BAC detectou diferença no perfil de intensidade de sinal em relação às diferentes concentrações utilizadas ao longo dos diferentes tempos de interação. Observamos que a partir de 12h de interação ocorreu uma maior interação das partículas com as células.

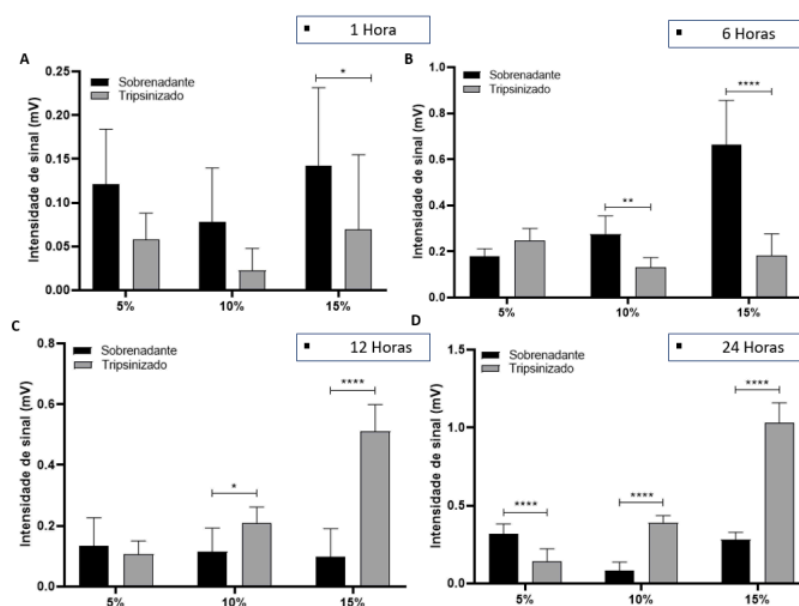


Figura 1

**Conclusões:** A partir desses resultados, ainda preliminares, é possível observar que o sistema BAC é capaz de traçar um perfil de interação das células com as nanopartículas magnéticas em diferentes concentrações e em diferentes tempos de interação. Contudo, ainda serão realizadas mudanças no protocolo e análise via microscopia eletrônica para a confirmação do processo de internalização.

**Agradecimento:** Esse trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

**References:**

- [1] Mohammed, L., et al., Magnetic nanoparticles for environmental and biomedical applications: A review. *Particuology*, 2017. 30: p. 1-14.
- [2] Hedayatnasab, Z., F. Abnisa, and W.M.A.W. Daud, Review on magnetic nanoparticles for magnetic nanofluid hyperthermia application. *Materials & Design*, 2017. 123: p.174-196.
- [3] Quini, C.C., et al., Development of a protocol to assess cell internalization and tissue uptake of magnetic nanoparticles by AC Biosusceptometry. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2019. 473: p. 527-533.
- [4] Cora, A., et al., Magnetic images of the disintegration process of tablets in the human stomach by ac biosusceptometry. *Phys Med Biol*, 2005. 50.
- [5] Singh, A. and S.K. Sahoo, Magnetic nanoparticles: a novel platform for cancer theranostics. *Drug Discov Today*, 2014. 19(4): p. 474-81.
- [6] Artursson, P., & Karlsson, J. (1991). Correlation between oral drug absorption in humans and apparent drug permeability coefficients in human intestinal epithelial (Caco-2) cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 175(3), 880-885.

## Magnetogastrografia Detectada por Magnetômetros de Bombeamento Óptico

Rezende R.<sup>1</sup>, De Souza D.<sup>1</sup>, Baffa O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** A Magnetogastrografia (MGG) é uma técnica não invasiva para medir os campos magnéticos gerados pela atividade elétrica do estômago. Esses campos estão na faixa de picoTesla (pT) e requerem sensores de alta sensibilidade e um ambiente livre de interferências para sua detecção. Este estudo investiga os magnetômetros ópticos bombeados (OPMs) como uma alternativa econômica aos dispositivos de interferência quântica supercondutores (SQUIDS). Os OPMs não necessitam de resfriamento criogênico e exigem menos blindagem, tornando-os promissores para medições biomagnéticas. O objetivo é explorar o uso dos OPMs para medir a atividade gástrica em um ambiente magneticamente blindado.

**Materiais e métodos:** Os OPMs foram utilizados para detectar a atividade elétrica gástrica em voluntários saudáveis (18 a 50 anos) sob condições experimentais de jejum e pós-refeição. Os voluntários foram posicionados em decúbito ventral, e os sensores OPM colocados sobre a região gástrica dentro de blindagem magnética. Os OPMs, com 7 sensores, capturam sinais em duas direções ortogonais (Y e Z) para melhorar a resolução espacial, com amostragem de 1 kHz durante 10 minutos. Os sinais foram processados com MATLAB, utilizando filtros passa-banda e FFT para extrair o sinal em torno de 0,05 Hz. A ultrassonografia auxiliou no posicionamento preciso dos sensores.

**Resultados e discussões:** Os resultados indicam aumento na atividade elétrica gástrica pós-refeição, com variações nos picos de frequência entre as condições de jejum e pós-refeição. O pico de 0,05 Hz está alinhado com a atividade gástrica conhecida, com variações fisiológicas entre os voluntários. Embora outros órgãos próximos também gerem sinais elétricos, o sinal gástrico permanece dominante.

**Conclusões:** Os resultados sugerem que os OPMs capturam a atividade elétrica gástrica com alta resolução espacial, de forma não invasiva. Esses achados podem melhorar o diagnóstico de distúrbios gastrointestinais e fornecer uma ferramenta diagnóstica acessível. Estudos futuros deverão incluir a ampliação do tamanho da amostra, o refinamento das configurações dos sensores e a exploração das aplicações clínicas.

**Agradecimento:** Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética (protocolo CAEE: 84106524.1.0000.5407).

### References:

- [1] M. et al. Optically pumped magnetometers: From quantum origins to multi-channel magnetoencephalography. *NeuroImage*, v. 199, p. 598–608, 1 out. 2019.
- [2] Irimia, A., Richards, W. O., & Bradshaw, L. A. 2006, Magnetogastrographic detection of gastric electrical response activity in humans, *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, no. 5, pp. 1347-1360.
- [3] Akin, A. & Sun, H. H. 1999, Time-frequency methods for detecting spike activity of stomach, *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 37, no. 3, pp. 381-390.

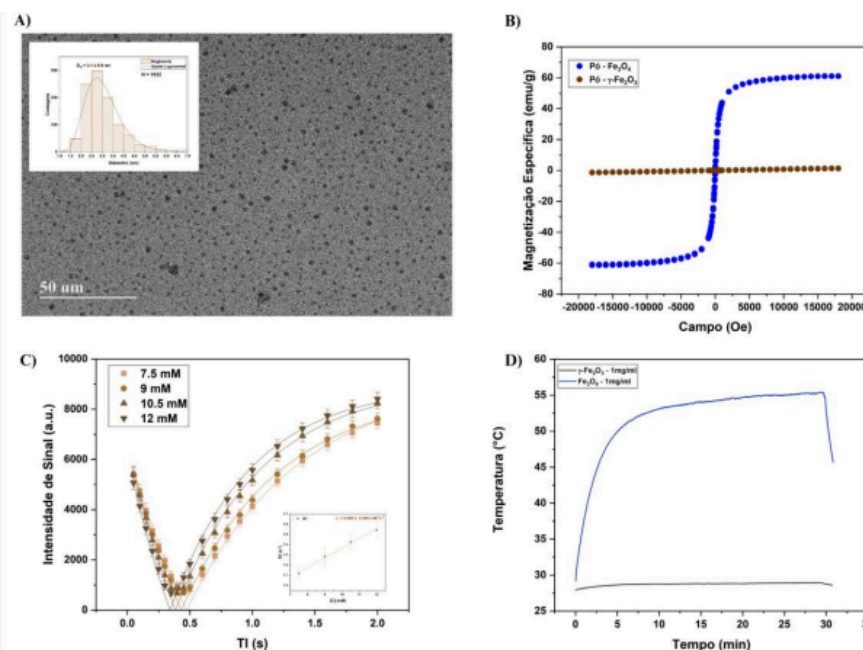
## Nanopartículas magnéticas à base de óxido de ferro para terapia fototérmica guiada por MRI

Pereira P.<sup>1</sup>, Araujo M.<sup>1</sup>, Thon A.<sup>1</sup>, Bakuzis A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto De Física Da Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** Nanopartículas (NPs) à base de óxido de ferro são investigadas como agentes teranósticos contra o câncer, desde agentes de contraste para Imagem por Ressonância Magnética (MRI), até agentes para terapias térmicas, via terapia fototérmica (PTT). Embora as NPs a base de óxido de ferro geralmente gerem contraste negativo, NPs de menor diâmetro têm sido relatadas como possíveis agentes de contraste positivo, que pode ser explicado pelo aumento na população de átomos de superfície que intensificam a contribuição da relaxividade longitudinal ( $r_1$ ). Esse estudo busca analisar o potencial da  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  e da  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , NPs à base de óxido de ferro de diâmetros de 3 e 16 nm, respectivamente, quanto ao seu desempenho como agente de contraste em MRI e como agentes de terapia fototérmica guiada por MRI.

**Materiais e métodos:** Foi realizada a síntese de NPs de  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  e de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Amostras foram caracterizadas por microscopia eletrônica (TEM) - no equipamento JEOL JEM-2100 - e magnetometria (VSM) - no equipamento EV9 da ADE Magnetics. Imagens de TEM foram analisadas com o software ImageJ, e a distribuição de tamanhos ajustada com a função log-normal. Pulso de Snapshot Flash foi usado para obter a relaxividade longitudinal ( $r_1$ ) e Spin Echo a transversal ( $r_2$ ) no MRI de 1T da Aspect Imaging. Ensaios de PTT foram realizados irradiando com laser de feixe contínuo de 808 nm à uma potência de 500 mW em amostras com NPs à 1mg/ml. A temperatura foi determinada usando uma câmera térmica FLIR SC620.



**Figura:** A) Imagem de TEM e Distribuição de diâmetros das NPs da  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  B) Magnetização específica em função do campo aplicado para os pós de  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . C) Intensidade de Sinal em função do Tempo de Inversão para a  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , resultados obtidos por meio de sequências Snapshot Flash, também incluída a taxa de relaxação longitudinal em função da concentração da amostra de  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  e o valor da relaxividade longitudinal obtido via fitting linear. D) Perfil de aquecimento e resfriamento das amostras de  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , ambas à 1mg/ml.

**Resultados e discussões:** Dados de TEM revelam diâmetro médio de 3 nm para  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  e 16 nm para  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Foi obtido  $r_1 = 0.095 \text{ mM}^{-1}\text{s}^{-1}$  e  $r_2 = 2.19 \text{ mM}^{-1}\text{s}^{-1}$  para  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , e  $r_1 = 31 \text{ mM}^{-1}\text{s}^{-1}$  e  $r_2 = 761 \text{ mM}^{-1}\text{s}^{-1}$  para  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . O maior valor de  $r_2$  e  $r_1$  correlaciona com sua maior magnetização. Ensaio de PTT à 1mg/ml revelam que a NP maior aquece melhor que a menor.

**Conclusões:** Conclui-se que a NP de menor diâmetro apresentou menores valores de  $r_1$  e  $r_2$ , mas a razão  $r_2/r_1$  ainda a caracteriza como agente de contraste T2. Adicionalmente, sua eficiência fototérmica foi menor. Porém, possui potencial para diminuir efeitos de artefato de imagem, o que sugere potencial na aplicação em terapia fototérmica guiada por MRI.

**Agradecimento:** Agradeço as agências de fomento que tornaram esse trabalho possível, ao meu orientador Andris Figueiroa Bakuzis e à Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de aprender e gerar conhecimento. Por fim, ao Congresso Brasileiro de Física Médica pela oportunidade de compartilhar nosso trabalho

#### **Referências:**

- [1] H Shokrollahi. Contrast agents for mri. *Materials Science and Engineering: C*, 33(8):4485–4497, 2013.
- [2] Rocha, João; et al. Near infrared biomimetic hybrid magnetic nanocarrier for mri-guided thermal therapy. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 17(9):13094–13110, 2025. PMID: 38973727.
- [3] He Wei, Oliver T Bruns, Michael G Kaul, Eric C Hansen, Mariya Barch, Agata Wiśniowska, Ou Chen, Yue Chen, Nan Li, Satoshi Okada, et al. Exceedingly small iron oxide nanoparticles as positive mri contrast agents. *Proceedings of the national academy of sciences*, 114(9):2325–2330, 2017.
- [4] Zijian Zhou, Lijiao Yang, Jinhao Gao, and Xiaoyuan Chen. Structure–relaxivity relationships of magnetic nanoparticles for magnetic resonance imaging. *Advanced Materials*, 31(8):1804567, 2019.

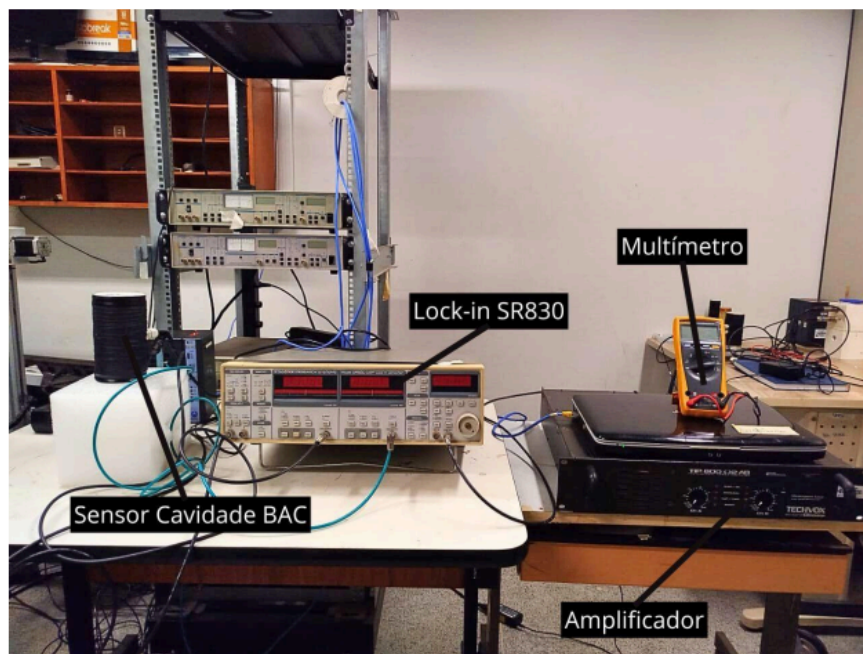
## Desenvolvimento e implementação de sistemas magnéticos híbridos para a análise da Susceptibilidade AC via Biosusceptometria de Corrente Alternada

Neto J.<sup>1</sup>, De Almeida M.<sup>1</sup>, Paron D.<sup>1</sup>, Dos Santos T.<sup>1</sup>, Willmann R.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho (Unesp), Botucatu

**Resumo:** Nanopartículas magnéticas (NPMs) de óxido de ferro apresentam amplo potencial em diagnóstico, terapia e imagem biomédica. A padronização dos métodos de caracterização dessas partículas é atualmente um dos principais focos de pesquisa. Diversas técnicas permitem estimar propriedades como momento magnético, tamanho e energia de anisotropia, incluindo Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM), Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS), Magnetometria de Amostra Vibrante (VSM) e Análise de Susceptibilidade AC (ACS). Nesse contexto, propomos o desenvolvimento de um protótipo de Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC) integrado com ACS, denominado ACS-BAC, capaz de investigar o tamanho hidrodinâmico das NPMs.

**Materiais e métodos:** O sistema ACS-BAC desenvolvido integra magnetometria AC convencional com análise de fase avançada. Composto por sensor magnético BAC, amplificador lock-in SR830 e amplificador de áudio TIP 800, permite medir simultaneamente as componentes real ( $\chi'$ ) e imaginária ( $\chi''$ ) da susceptibilidade magnética em função da frequência aplicada. Utilizamos nanopartículas de  $MnFe_2O_4$  revestidas com citrato ( $M_s=56,8$  emu/g). O sistema foi validado por comparação com equipamentos comerciais (DynoMag e DLS) e analisado via algoritmos Python, aplicando o modelo de Debye com distribuição log-normal.



**Resultados e discussões:** As análises com o ACS-BAC mostraram diâmetro médio de 34,9 nm para as NPMs, enquanto o ACS DynoMag e DLS apresentaram 44,5 nm e 29 nm, respectivamente. Essas diferenças decorrem das particularidades de cada técnica: o DLS

detecta o diâmetro hidrodinâmico total incluindo a camada de solvatação, enquanto os métodos magnéticos (ACS DynoMag e ACS-BAC) detectam principalmente o núcleo magnético. A concordância qualitativa entre os métodos valida a confiabilidade do sistema ACS-BAC para caracterização de NPMs.

**Conclusões:** O sistema ACS-BAC mostrou-se eficaz para caracterização de nanopartículas magnéticas, com resultados compatíveis com métodos comerciais. As diferenças nos diâmetros medidos refletem os princípios físicos distintos de cada técnica. O sistema se destaca por sua portabilidade, baixo custo e capacidade de operar em condições de baixo campo magnético, tornando-o adequado para aplicações em nanomedicina.

**Agradecimento:** O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

**Referências:**

- [1] Weaver, J. B., Rauwerdink, A. M., Sullivan, C. R., & Baker, I. (2008). Frequency distribution of the nanoparticle magnetization in the presence of a static as well as a harmonic magnetic field. *Medical Physics*, 35(5), 1988-1990.
- [2] RAUWERDINK, A. M.; WEAVER, J. B. Viscous effects on nanoparticle magnetization harmonics. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 322, n. 6, p. 609-613, 2010.
- [3] WU, K. et al. Magnetic Nanoparticle Relaxation Dynamics-based Magnetic Particle Spectroscopy (MPS) for Rapid and Wash-free Molecular Sensing: A Strategy for Future Point-of-Care, Sensitive, and Versatile Bioassays. University of Minnesota, USA, 2025.

## Estudos em Magnetoencefalografia usando Estímulos

Calixto M.<sup>1</sup>, Baffa O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade De Sao Paulo

**Resumo:** A magnetoencefalografia (MEG) é uma técnica não invasiva que registra os campos magnéticos gerados pela atividade elétrica cerebral. Recentemente, os magnetômetros de bombeamento óptico (OPMs) têm revolucionado essa área ao possibilitar a detecção desses campos com alta sensibilidade, operando à temperatura ambiente e com requisitos reduzidos de blindagem magnética em relação aos SQUIDS. Essas características tornam os OPMs adequados para o desenvolvimento de sistemas de MEG mais acessíveis e adaptáveis. Neste projeto, o uso de OPMs é explorado como base para o desenvolvimento de novas abordagens em imagem funcional, mediante a aquisição de sinais associados a estímulos motores e visuais.

**Materiais e métodos:** A aquisição de dados de MEG foi realizada com 7 OPMs (QUSPIN) sensíveis a campos magnéticos na faixa de pT, posicionados sobre regiões motoras e occipital. Os sensores foram instalados em um tubo blindado magneticamente e resfriados com ar comprimido. Voluntários homens, destros, entre 18 e 40 anos, foram posicionados em decúbito dorsal com a cabeça no interior da blindagem. Um trigger externo marcou os eventos: instruções auditivas para mover a mão direita, esquerda ou repousar, além de abrir/fechar os olhos. Cada sequência foi repetida 20 vezes, com estímulos de 10 s e repouso de 5 s. Os dados foram processados no MNE [1], com filtro Notch e análise de Fourier na faixa de 8–12 Hz

**Resultados e discussões:** Na faixa de 8–12 Hz, associada à onda mu e alpha, houve aumento de potência (~4,5x com pico em ~10 Hz) durante movimentos da mão ipsilateral em relação ao relaxamento. Na contralateral, o aumento foi menor (~1,4x). Na região occipital, olhos fechados mostraram ~1,5x mais potência em ~10 Hz que olhos abertos. Os resultados estão de acordo com a literatura [2,3]. Em repouso não houve pico dominante.

**Conclusões:** Os resultados confirmam o potencial dos OPMs para capturar padrões de atividade cortical, com respostas compatíveis com a literatura na faixa da onda mu e alpha. Observou-se boa relação entre estímulo e resposta, mesmo com amostra reduzida. Como próximos passos, planeja-se aumentar o número de voluntários e analisar os sinais dependendo da localização cortical de cada sensor.

**Agradecimento:** Carlo Rondioni Márcio Campos Júnior Thais Cunha Marchetti

### Referências:

- [1] Alexandre Gramfort, Martin Luessi, Eric Larson, Denis A. Engemann, Daniel Strohmeier, Christian Brodbeck, Roman Goj, Mainak Jas, Teon Brooks, Lauri Parkkonen, and Matti S. Hämäläinen. MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroscience*, 7(267):1–13, 2013.
- [2] HOBSON, Hannah M.; BISHOP, Dorothy V. M.. The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *Royal Society Open Science*, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 160662, mar. 2017.
- [3] Hohaia, W., Saurels, B.W., Johnston, A. et al. Occipital alpha-band brain waves when the eyes are closed are shaped by ongoing visual processes. *Sci Rep* 12, 1194 (2022).

## Estudo em Longo Prazo da Biodistribuição e Depuração de Nanopartículas Magnéticas: Resultados Iniciais

De Mattos V.<sup>1</sup>, Helena G.<sup>1</sup>, Soares O.<sup>1</sup>, Rossi C.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho (Unesp), Botucatu

**Resumo:** Atualmente, as nanopartículas magnéticas vêm apresentando maior aplicabilidade in vivo na biomedicina. Uma vez que materiais nanoestruturados vêm sendo utilizados para aplicações clínicas, é crucial compreender suas possíveis interações, bem como os perfis de retenção e eliminação. Estudos de biodistribuição em tempos longos são essenciais para elucidar essas interações e posterior metabolização e/ou eliminação, especialmente no caso de novos tipos de nanopartículas magnéticas (NPMs). Este trabalho tem como objetivo analisar o perfil de distribuição e eliminação, em tempos longos, através da administração intravenosa de NPMs com diferentes tipos de revestimentos utilizando o sistema de Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC).

**Materiais e métodos:** As nanopartículas magnéticas de ferrita de manganês revestidas com citrato sintetizadas pelo Prof. Dr. Andris Figueiroa Bakuzis no centro de pesquisa CNanoMed da Universidade Federal de Goiás, serão administradas por via intravenosa em animais da linhagem Wistar (n=30). Após atingirem os tempos pré-estabelecidos (1 h, 4 h, 12 h, 24 h, 48 h, 5 dias, 10 dias, 15 dias, 30 dias e 60 dias), os animais serão eutanasiados para coleta de órgãos alvo (fígado, baço, rins, pulmões, coração e cérebro). Além disso, serão coletadas fezes e urinas diariamente para avaliação da depuração das nanopartículas. As amostras coletadas serão analisadas utilizando o sistema de Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC). Até o presente momento, foram avaliados os dados de biodistribuição dos grupos de 1h e 24h.

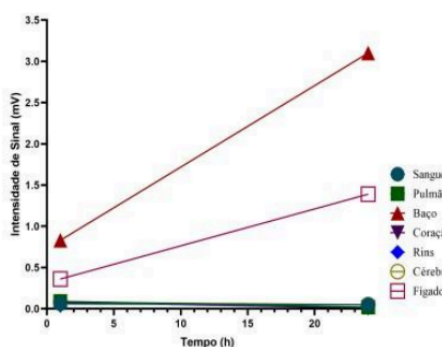


Figure 01: Biodistribuição de NPMs em cada órgão por tempo.

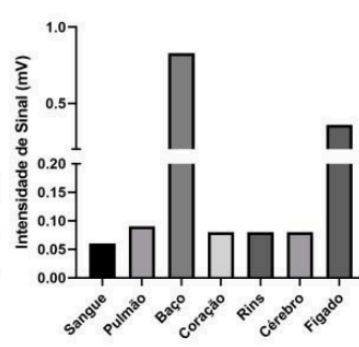


Figure 02: Biodistribuição por órgão em 1h.

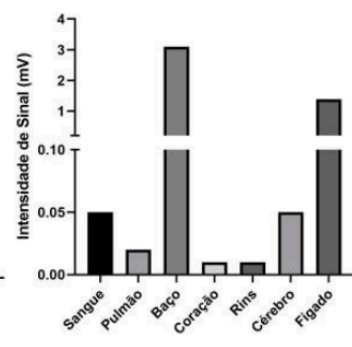


Figure 03: Biodistribuição por órgão em 24h.

**Resultados e discussões:** Foram observados padrões de acúmulo das NPMs nos diferentes órgãos analisados nos tempos avaliados (1h e 24h). Apresentando maior intensidade de sinal, ou seja, maior concentração de nanopartículas no baço e no fígado. Espera-se obter resultados mais completos ao avaliar os tempos faltantes (4 h, 12 h, 48 h, 5 dias, 10 dias, 15 dias, 30 dias e 60 dias).

**Conclusões:** O sistema BAC mostrou eficácia na detecção das variações de captação de NPMs entre 1h e 24h, indicando sensibilidade temporal. Análises futuras dos demais tempos serão

essenciais para uma caracterização mais completa. Também está previsto o uso de NPMs com diferentes revestimentos para avaliar o impacto da funcionalização na distribuição

**Agradecimento:** Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo nº 2021/09829-4), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 308531/2021-3) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, processo nº 88887.941573/2024-00)

**Referências:**

- [1] Soares GA, Faria JVC, Pinto LA, Prospero AG, Pereira GM, Stoppa EG, et al. Long-Term Clearance and Biodistribution of Magnetic Nanoparticles Assessed by AC Biosusceptometry. *Materials*
- [2] Estevanato LLC, Lacava LM, Carvalho LCF, Azevedo RB, Silva O, Pelegrini F, et al. Longterm biodistribution and biocompatibility investigation of dextran-coated magnetite nanoparticle using mice as the animal model. *J Biomed Nanotechnol*
- [3] Zelepukin I V., Yaremenko A V., Ivanov IN, Yuryev M V., Cherkasov VR, Deyev SM, et al. Long-Term Fate of Magnetic Particles in Mice: A Comprehensive Study. *ACS Nano*

## **Avaliação biomagnética não invasiva da motilidade gastrointestinal em modelos experimentais de diarreia induzida por lactose.**

Soares O.<sup>1</sup>, Helena G.<sup>1</sup>, De Almeida M.<sup>1</sup>, Mostasso A.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho (Unesp), Botucatu

**Resumo:** A diarreia é o sintoma de diversos distúrbios do trato gastrointestinal (TGI). Sua etiologia multifatorial envolve alterações fisiológicas do TGI. Para estudar sua fisiopatologia, modelos como a indução de diarreia por dieta rica em lactose são amplamente utilizados para avaliar a motilidade gástrica. Métodos considerados gold standard, como banho de órgãos, que requer eutanásia, inviabilizando avaliações in vivo. Nesse contexto surge a Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC), uma técnica biomagnética, que permite análises pareadas em animais, de forma não invasiva. Portanto, este estudo aplicou a BAC para avaliar, de forma segmentada, o esvaziamento gástrico, trânsito orocecal e contratilidade gástrica em modelos experimentais de diarreia.

**Materiais e métodos:** Foram utilizados 15 ratos Wistar machos, que inicialmente compuseram o grupo Controle. Após a indução da diarreia por meio de uma dieta contendo 35% de lactose por 7 dias, os mesmos animais passaram a compor o grupo (DRL – do inglês Diarrhea Lactose-induced). A motilidade gastrointestinal foi avaliada por meio da Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC) utilizando refeição teste marcada com ferrita. Foram obtidos parâmetros como o tempo médio de esvaziamento gástrico (MGET – do inglês Mean Gastric Emptying Time), tempo médio de chegada ao ceco (MCAT – do inglês Mean Cecum Arrival Time) e contratilidade gástrica. Estes dados obtidos foram processados e submetidos posteriormente a análise estatística.

**Resultados e discussões:** Através dos resultados obtidos, foi observado que o grupo DRL apresentaram uma diminuição do MGET e do MCAT em relação ao grupo Controle, resultando em uma diminuição do tempo de trânsito gastrointestinal, o que é corroborado pelo aumento da frequência de contração gástrica obtida através da transformada rápida de Fourier (FFT) dos sinais magnéticos de contratilidade dos grupos experimentais.

**Conclusões:** O sistema BAC foi capaz de detectar alterações na motilidade gástrica em modelos experimentais de diarreia de maneira in vivo apresentando-se como uma técnica promissora na compreensão dos mecanismos mecânicos da diarreia, permitindo a avaliação de anormalidades do trânsito gastrointestinal, bem como auxiliando na pesquisa acerca da fisiopatologia da diarreia.

### **Referências:**

- [1] Ji, HJ, et al: Shen-ling-bai-zhu-san, a spleen-tonifying Chinese herbal formula, alleviates lactose-induced chronic diarrhea in rats. Public. Epub 2018 Jul 31. PMID: 30071269.
- [2] MIRANDA, J. R. et al. An AC biosusceptometer to study gastric emptying. Medical physics, v.19, n. 2, p. 445–8, 1992.
- [3] LEONARDO ANTONIO PINTO; JOSÉ RICARDO DE ARRUDA MIRANDA. Distribuição temporal de alimentos no trato gastrointestinal de ratos através de imagens magnéticas por Biosusceptometria AC. , 2017.

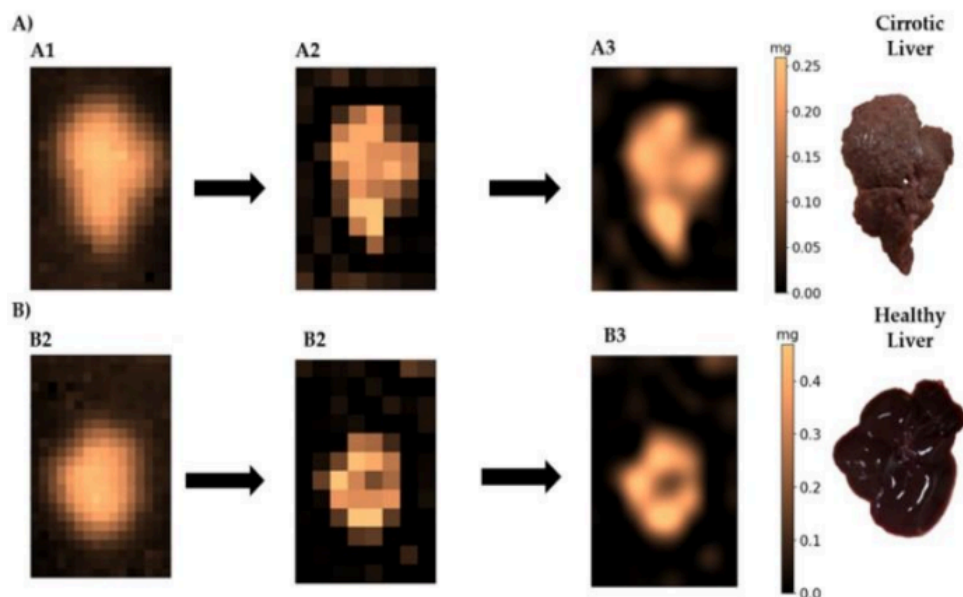
## Biosusceptometria de Corrente Alternada para o estudo da biodistribuição de Nanopartículas Magnéticas em tecidos hepáticos cirróticos

Paron D.<sup>1</sup>, De Almeida M.<sup>1</sup>, Willmann R.<sup>1</sup>, Neto J.<sup>1</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho (Unesp), Botucatu

**Resumo:** Nanopartículas magnéticas (MNPs - do inglês Magnetic Nanoparticles) mostram-se viáveis como sondas multifuncionais para tratar e diagnosticar doenças, despertando interesse da comunidade científica na aplicação médica. Estudos apresentam que introduzindo nanopartículas magnéticas de forma intravenosa, ocorre o acúmulo no tecido hepático. Considerando o acúmulo, as MNPs se apresentam viáveis como traçadores magnéticos no estudo de hepatopatias. Visto que várias doenças que acometem o fígado geram um quadro de cirrose hepática, estudar a biodistribuição de MNPs no fígado acometido pela patologia em comparação ao fígado saudável abre possibilidade para uma nova metodologia de diagnóstico por imagem de hepatopatias pouco invasiva e sem o uso de radiação, utilizando biosusceptometria AC (BAC).

**Materiais e métodos:** Foram utilizados dois grupos de ratos (controle e com lesão hepática). Foi realizado um protocolo de indução da patologia em ratos por meio de injeções de dietilnitrosamina (DEN, 200mg/kg) juntamente à tioacetamida (TAA, 200mg/kg). Após a indução da patologia, as NPMs (MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) revestidas com citrato foram introduzidas pela veia femoral em ambos os grupos para posterior análise de biodistribuição e imageamento dos fígados dos grupos via Biosusceptometria de corrente alternada de forma ex vivo.



**Resultados e discussões:** Os resultados confirmam maior retenção de MNPs na cirrose ( $12,3 \pm 2,1$  vs  $8,5 \pm 1,4$   $\mu\text{g/g}$ ;  $*p^*=0,02$ ), mas com redução por área ( $0,45 \pm 0,07$  vs  $0,62 \pm 0,09$   $\mu\text{g/cm}^2$ ;  $*p^*=0,01$ ), refletindo diluição volumétrica. Limitações incluem variabilidade interindividual (CV 15-20%) por heterogeneidade fibrótica e resolução espacial ( $\sim 5$  mm) inferior à MRI.

**Conclusões:** Considerando os resultados, a metodologia BAC se apresentou satisfatória para a análise de biodistribuição das NPMs, tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Por meio da solução do problema inverso é possível quantificar a quantidade de material depositado, sem mais procedimentos além da injeção de NPMs.

**Agradecimento:** Agradeço a todos os co-autores por ajudarem a fazer o trabalho acontecer e também a PIBIC, CNPQ e FAPESP pelo financiamento.

**Referências:**

- [1] G.G.d.A. Biasotti, 2D quantitative imaging of magnetic nanoparticles by an ac biosusceptometry based scanning approach and inverse problem, *Sensors*, 21 (2021)
- [2] Soares, G.A., Biodistribution Profile of Magnetic Nanoparticles in Cirrhosis-Associated Hepatocarcinogenesis in Rats by AC Biosusceptometry. *Pharmaceutics*. (2022)
- [3] A.G. Próspero Dynamic cerebral perfusion parameters and magnetic nanoparticle accumulation assessed by AC biosusceptometry, *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*, 65 (2020)
- [4] Legge, C. J., Colley, H. E., Lawson, M. A. & Rawlings, A. E. Targeted magnetic nanoparticle hyperthermia for the treatment of oral cancer. *Journal of Oral Pathology and Medicine* 48, 803–809 (2019).



# **ENSINO DE FÍSICA MÉDICA**

## **A Inserção da Física Médica no Cenário Tecnológico Nacional: A Experiência da LAFISMED na Campus Party Brasil 2024**

Santos N.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, Oliveira H.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás (UFG)

**Resumo:** A divulgação científica e tecnológica é essencial para o fortalecimento da cultura científica e para o diálogo entre universidade e sociedade. Neste contexto, o projeto de extensão da Liga Acadêmica de Física Médica (LAFISMED) da Universidade Federal de Goiás (UFG) participou da Campus Party Brasil 2024 – edição Goiânia –, com o objetivo de promover, em linguagem acessível, os fundamentos e aplicações da Física Médica (FM) na saúde, como o diagnóstico por imagem e a radioterapia. O trabalho visa avaliar o impacto dessa ação na popularização do conhecimento sobre a FM, destacando seu papel como instrumento de inclusão científica e estímulo ao pensamento crítico, bem como sua relevância social ao apresentar soluções inovadoras em áreas estratégicas da saúde pública e da ciência.

**Materiais e métodos:** A atividade foi realizada no estande “Novembro Azul” durante os dias 28 e 29 de novembro de 2024, no shopping Passeio das Águas (Goiânia-GO), integrando a programação oficial da Campus Party. Foram promovidas ações interativas de caráter didático-demonstrativo, como operação de contador Geiger com fonte teste, imagens médicas e painéis sobre o curso de Física Médica (FM). A mediação foi feita por discentes da LAFISMED (Liga Acadêmica de Física Médica/UFG), com apoio do IRD e do IPEN. O impacto da ação foi avaliado por meio de formulário intitulado “Impacto da LAFISMED na escolha pela Física Médica” e pelos relatos de novos ingressantes de 2025 que afirmaram ter conhecido o curso durante o evento.

**Resultados e discussões:** A ação alcançou cerca de 160 mil pessoas. A partir de formulário aplicado após o evento e de relatos de novos ingressantes no curso de Física Médica (FM), foi possível identificar que a participação na Campus Party influenciou significativamente o conhecimento do público sobre a FM e contribuiu para a decisão de alguns estudantes em escolher o curso.

**Conclusões:** A participação da LAFISMED na Campus Party demonstrou o potencial da extensão universitária para integrar ciência, tecnologia e sociedade. O impacto foi evidenciado por meio de relatos de ingressantes e respostas ao formulário, confirmando a contribuição da ação para a divulgação da Física Médica (FM) e a valorização do papel social da universidade.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Instituto de Física da UFG e às instituições parceiras pelo suporte técnico e institucional, bem como à equipe discente da LAFISMED, cujo engajamento e excelência foram determinantes para o êxito da ação extensionista.

### **Referências:**

[1] Brito, Hávila Rachel do Nascimento Gomes, et al. "Extensão universitária e ensino em saúde: Impactos na formação discente e na comunidade." *Brazilian Journal of Development* 7.3 (2021): 29895- 29918.

[2] de Oliveira, Evandro Salvador Alves. "Contribuições da extensão universitária com a produção e circulação do conhecimento." *Intermedius-Revista de Extensão da UNIFIMES* (ISSN: 2764-670X) 1.1 (2021): 47-55.

[3] CAMPUS PARTY. Campus Party. Disponível em: <https://www.campus party.org>. Acesso em: 17 dez. 2024. 4. CAMPUS PARTY. Redes sociais oficiais (Instagram, YouTube, LinkedIn).

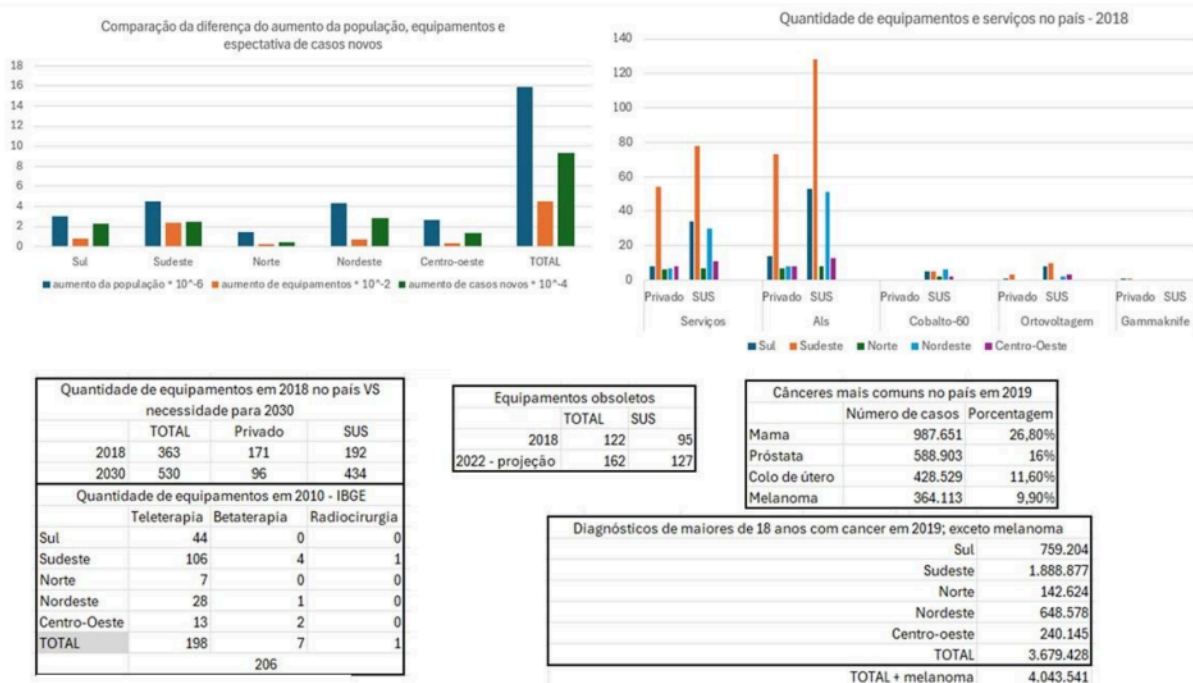
## Cenário Atual da Radioterapia no Brasil: Distribuição de equipamentos por região e população

Gomes B.<sup>1</sup>, Giarola R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista (Unesp)

**Resumo:** A Radioterapia (RT) usa radiação ionizante para tratar o câncer, sendo indicada em cerca de 70% dos casos. Pode ser feita de forma externa ao paciente (teleterapia) ou em contato com ele (braquiterapia). As diversas técnicas permitem flexibilidade terapêutica conforme o tipo de lesão e tecnologia disponível. O Físico Médico é essencial no processo, realizando o planejamento individualizado e assegurando a correta entrega de dose no alvo enquanto minimiza a dose nos tecidos sadios adjacentes. No Brasil, o número de diagnósticos vem crescendo, mas o acesso ao tratamento segue limitado, sobretudo para pacientes do SUS. Este trabalho analisa as desigualdades regionais e socioeconômicas da RT no país.

**Materiais e métodos:** A atividade foi realizada no estande “Novembro Azul” durante os dias 28 e 29 de novembro de 2024, no shopping Passeio das Águas (Goiânia-GO), integrando a programação oficial da Campus Party. Foram promovidas ações interativas de caráter didático-demonstrativo, como operação de contador Geiger com fonte teste, imagens médicas e painéis sobre o curso de Física Médica (FM). A mediação foi feita por discentes da LAFISMED (Liga Acadêmica de Física Médica/UFG), com apoio do IRD e do IPEN. O impacto da ação foi avaliado por meio de formulário intitulado “Impacto da LAFISMED na escolha pela Física Médica” e pelos relatos de novos ingressantes de 2025 que afirmaram ter conhecido o curso durante o evento.



**Resultados e discussões:** O número de aparelhos subiu de 206 (2010) para 363 (2018), mas 122 já eram obsoletos, afetando a qualidade e o tempo de espera, que em 2011 foi de 113 dias no SUS. O aumento de casos de câncer não é acompanhado pela infraestrutura, há um déficit –

segundo a SBRT – de 167 equipamentos no país. A disparidade de acesso ao tratamento em território nacional é demonstrada nos dados analisados.

**Conclusões:** O aumento de casos de câncer no Brasil não é acompanhado pela expansão da infraestrutura da RT: há aparelhos obsoletos e má distribuição. A concentração dos serviços no país mostra que o Sudeste apresenta menos insuficiência de equipamentos do que a região Nordeste. A modernização de aparelhos e a ampliação dos serviços são urgentes e devem priorizar as regiões mais carentes do país.

**Referências:**

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RADIOTERAPIA (SBRT). Plano de desenvolvimento da radioterapia para a próxima década: RT2030. São Paulo: SBRT, 2020. BRASIL. Ministério da Saúde. Censo Radioterapia 2019. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/planos-e-programas/censo-radioterapia>.
- [2] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Estabelecimentos autorizados em radioterapia. 2019. Disponível em: <https://appasp2019.cnen.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-download.asp?op=2>.
- [3] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Diversas tabelas: Tabela 1210, Tabela 7970, Tabela 7964 e Pesquisa Nacional de Saúde 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>.

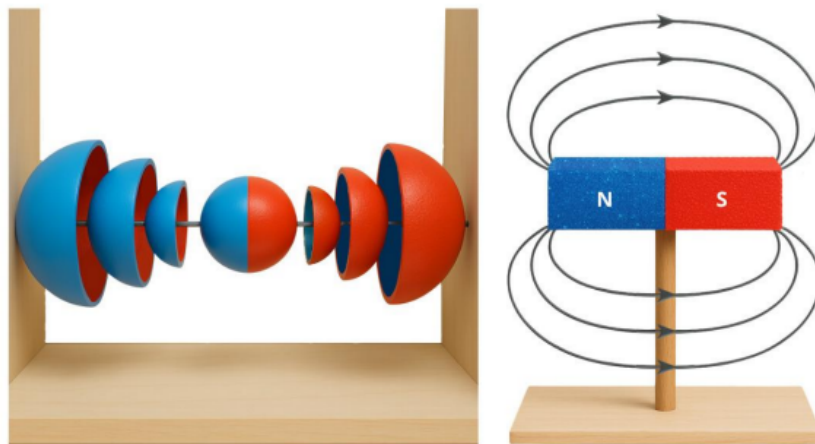
## Ensino experimental inclusivo em Física Médica: integrando teoria, prática e acessibilidade

Pallense G.<sup>1</sup>, Pianoschi T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Física Médica Ufcsa

**Resumo:** No curso de Física Médica da UFCSPA, o ensino experimental é realizado nos laboratórios de física básica e moderna. Nesse contexto, os objetivos são desenvolver roteiros experimentais que aprofundam conceitos muitas vezes ausentes nos textos técnicos dos equipamentos, aprimorar a inclusão, priorizando metodologias ativas e inclusivas para pessoas com deficiência (PcD), além de facilitar a montagem e operação dos experimentos, tornando o processo mais acessível. Busca-se, assim, fortalecer o ensino de física experimental inclusivo incorporando uma perspectiva histórica da física que desafia os discentes a explorar teoria e prática por meio da experimentação, preparando os estudantes no início da graduação em Física Médica para uma participação ativa em propostas de ensino experimental.

**Materiais e métodos:** A metodologia adotada envolve o uso de Ensino por Investigação, Ensino por Descoberta, Aprendizagem Baseada em Problemas e Aprendizagem Baseada em Simulação para a criação dos roteiros personalizados, os quais estão sendo desenvolvidos na plataforma Overleaf (LaTeX). A abordagem busca projetar e adaptar essas metodologias para os experimentos, com foco nas necessidades de alunos com e sem deficiência, além de orientar os discentes no desenvolvimento de habilidades críticas e investigativas.



PELLENSE, Gisele Moraes. Adaptação de imagem gerada por inteligência artificial (ChatGPT – OpenAI). 2025.

**Resultados e discussões:** Até o momento, foram aprimorados vinte roteiros, sendo um deles específico para PcD. O que resultou em maior clareza no material didático e em aulas mais acessíveis. Além disso, o projeto promoveu a autonomia e as habilidades investigativas dos alunos, facilitando a dinâmica de montagem e operação dos equipamentos, e incentivando a participação dos discentes nas atividades experimentais.

**Conclusões:** Como perspectivas futuras, o foco está na elaboração de novos roteiros voltados para PcD e no desenvolvimento de experimentos que viabilizem práticas mais inclusivas. Garantir a participação de pessoas com diferentes deficiências, sejam elas visíveis ou não, não

é apenas uma questão de acessibilidade, mas é essencial para promover um ambiente acadêmico mais equitativo e inclusivo para todos.

**Agradecimento:** Agradeço à UFCSPA pela oportunidade concedida por meio do Programa de Bolsas de Iniciação à Docência, que possibilitou a realização deste projeto. Agradeço também aos colegas colaboradores pelo apoio e pelas contribuições ao longo do trabalho.

**Referências:**

- [1] AFONSO, Júlio Carlos; CHAVES, Francisco Artur Braun. Uma proposta inovadora de ensino de física experimental no início do Século XX. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, 1601 (2015).
- [2] Projeto pedagógico do curso de bacharelado em Física Médica. 2013.
- [3] PESSANHA, Márlon Caetano Ramos; COZENDEY, Sabrina Gomes; SOUZA, Marcelo de Oliveira. Desenvolvimento de uma ferramenta para o ensino de física experimental a distância. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 32, n. 4, 4503 (2010).
- [4] HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: Uma alternativa para a ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 38, nº 1, 1504 (2016).
- [5] SANTANA, Ronaldo Santos; MORAIS CAPECCHI, Maria Candida Varone de.; FRANZOLIN, Fernanda. O ensino de ciências por investigação nos anos iniciais: possibilidades na implementação de atividades investigativas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 17, Nº 3, 686-710 (2018).
- [6] SALDANHA DE SIQUEIRA, Kleber. APRENDIZADO POR DESCOBERTA COMO POSSIBILIDADE DIDÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA. *Revista Barbante*, vol. XI, Nº 53 (2023).
- [7] BOROCHOVICIUS, Eli; TORTELLA, Jussara Cristina Barboza. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. *Ensaio: aval. pol. públ. Educ.*, Rio de Janeiro, v.22, n. 83, p. 263-294 (2014).
- [8] CHERNIKOVA, O.; HEITZMANN, N.; STANDLE, M.; HOLZBERGER, D.; SEIDEL, T., & FISCHER, F. Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 90(4), 499-541 (2020) Disponível em: <https://doi.org/10.3102/0034654320933544> Acesso em: 30 de outubro de 2024.

## **Museus Itinerantes como Espaços de Educação Científica: A Física Médica na Exposição do Museu Catavento no Shopping**

Berenguel Y.<sup>1</sup>, Oliveira H.<sup>1</sup>, Pallense G.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Paranaíba C.<sup>1</sup>, Da Silva H.<sup>1</sup>, De Garcia A.<sup>1</sup>, Dos Santos L. P.<sup>1</sup>, Nobuyuki E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** A popularização da ciência em espaços não formais é uma estratégia eficaz para despertar o interesse em áreas como a Física Médica. O Museu Catavento, em parceria com o Instituto de Física da UFG, realizou uma mostra interativa no Shopping Flamboyant, em Goiânia. A ação contou com 11 monitores treinados e ofereceu 14 experiências nas áreas de Física, Biologia e Astronomia. Voltada para todas as idades, a exposição teve como objetivo tornar conceitos científicos acessíveis, conectando a Física a aplicações médicas, como eletrificação e radiação. A iniciativa também buscou divulgar o curso de Física Médica da UFG e promover o contato direto do público com estudantes da área.

**Materiais e métodos:** A exposição apresentou experiências como o Gerador de Van de Graaff, banco de pregos, Pêndulo de Newton, praxinoscópio e poço gravitacional. Os monitores, previamente capacitados, explicaram os fenômenos físicos com linguagem acessível e destacaram conexões com a Física Médica, como radiação, pressão e forças. As interações foram adaptadas para diferentes faixas etárias, incluindo conversas em inglês e espanhol com visitantes estrangeiros. Os índices de desempenho e alcance foram obtidos por meio de canais de atendimento ao cliente (SAC) do evento, organizado pelo Shopping.

**Resultados e discussões:** A interação direta entre monitores e visitantes favoreceu o aprendizado informal e despertou interesse por temas ligados à Física Médica. Embora a equipe não tenha acessado dados do SAC, observou-se o entusiasmo do público e surpresa ao saber que os monitores eram estudantes da UFG, o que incentivou o diálogo sobre o curso e a profissão.

**Conclusões:** A exposição demonstrou o potencial de museus itinerantes na promoção da Física Médica em espaços cotidianos. A contextualização das experiências com temas da saúde aproximou o público da ciência e divulgou o curso da UFG. A ação reafirma o papel da universidade na promoção do conhecimento e no incentivo à formação científica.

**Agradecimento:** Um agradecimento especial ao Museu de Ciências Catavento e ao Grupo Flamboyant, pelo convite e voto de confiança na participação de um evento de divulgação científica de tamanha escala.

### **Referências:**

[1] Shopping Flamboyant - [www.flamboyant.com.br](http://www.flamboyant.com.br) Museu Catavento - SP [www.museucatavento.org.br](http://www.museucatavento.org.br)

## **Desvendando a Física por trás do radiodiagnóstico e radioterapia: além do que os olhos veem.**

Paula P.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, Nobuyuki E.<sup>1</sup>, Dos Santos A.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>, Pereira R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** A radiação é essencial na medicina moderna, sendo utilizada tanto para diagnóstico quanto para tratamento. Técnicas como os raios X e a tomografia utilizam radiação ionizante, que interage com os tecidos para gerar imagens internas detalhadas. Já o ultrassom e a ressonância magnética utilizam ondas não ionizantes, oferecendo alternativas seguras para determinados exames. As técnicas que envolvem radiação ionizante são altamente regulamentadas, seguras e fundamentais no diagnóstico e na terapêutica, quando aplicadas dentro dos protocolos. Na radioterapia, a radiação ionizante é empregada de forma precisa para destruir células tumorais. Este projeto tem como objetivo desmistificar conceitos físicos relacionados ao radiodiagnóstico e à radioterapia, por meio de conteúdos acessíveis nas redes sociais, promovendo educação científica e conscientização sobre o uso seguro da radiação na saúde.

**Materiais e métodos:** Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os principais fenômenos físicos envolvidos no radiodiagnóstico e na radioterapia, como os efeitos Fotoelétrico, Compton e Produção de Pares. Com base nesses estudos, foram desenvolvidos materiais educativos, incluindo vídeos, animações, postagens e quizzes, divulgados nas redes sociais da Liga Acadêmica de Física Médica (LAFISMED) da Universidade Federal de Goiás (UFG). O cronograma de postagens foi estruturado para manter o engajamento contínuo do público. A avaliação dos resultados foi feita por meio de métricas das plataformas digitais, como alcance das postagens, número de curtidas, compartilhamentos, comentários, crescimento no número de seguidores, além da análise qualitativa dos feedbacks recebidos.

**Resultados e discussões:** O projeto atingiu mais de 10.000 pessoas, com aumento expressivo no engajamento nas redes. O público demonstrou maior compreensão e interesse nos conteúdos abordados, indicando eficácia da linguagem acessível e abordagem interativa adotada.

**Conclusões:** A ação contribuiu significativamente para a divulgação científica e educação em saúde, promovendo conhecimento sobre técnicas médicas de imagem e tratamento com radiação, além de combater mitos relacionados ao uso da radiação.

**Agradecimento:** Agradecemos à equipe da Liga Acadêmica de Física Médica (LAFISMED) e ao Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás (UFG) pelo suporte institucional e incentivo à divulgação científica.

### **Referências:**

- [1] OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth. Física das Radiações, São Paulo, 2010.
- [2] International Atomic Energy Agency. Diagnostic radiology physics, IAEA, 2015.
- [3] Bushberg, J. T. The essential physics of medical imaging, 3rd ed., 2011.
- [4] Podgoršak, E. B. Radiation physics for medical physicists, Springer, 2005.

## **Nuclear Experience - Divulgação de aplicações nucleares**

Aquino A.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, Oliveira H.<sup>1</sup>, Nobuyuki E.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** O evento Nuclear Experience, realizado pela LAFISMED/UFG, promoveu a divulgação científica e o debate sobre aplicações nucleares em saúde, energia e inovação. Com palestras, Escape Room(atividade interativa) e networking com profissionais da área, buscou desmistificar a tecnologia nuclear e engajar públicos diversos (estudantes, profissionais, empreendedores). O objetivo foi fortalecer conexões entre academia, indústria e organizações internacionais, destacando o potencial transformador da área.

**Materiais e métodos:** O evento presencial ocorreu em 29/11/2024 no Instituto de Física da UFG, com palestras (4h), Escape Room nuclear (3h) e networking. Dados foram coletados via credenciamento, questionários e gravações. Capacidade: 1.100 pessoas (160/palestra; 500/Escape Room).

**Resultados e discussões:** O evento teve participação satisfatória, com destaque para o Escape Room, que abordou conceitos nucleares de forma lúdica. As palestras sobre medicina nuclear e empreendedorismo engajaram o público. A interação entre participantes criou oportunidades para novas parcerias acadêmicas e empresariais no setor.

**Conclusões:** O Nuclear Experience demonstrou ser eficaz na popularização da ciência nuclear através de formatos inovadores. O evento fortaleceu as conexões entre academia e mercado por meio das palestras, enquanto atividades práticas como o Escape Room provaram ser ferramentas valiosas para educação científica. Sugere-se ampliar a diversidade de idiomas em futuras edições.

**Agradecimento:** Agradecemos a presença e colaboração de todos, tanto dos ouvintes quanto dos palestrantes que tornaram possível um evento tão enriquecedor.

### **Referências:**

[1] HIRONAKA, Fausto Haruki. Medicina Nuclear: Princípios e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Atheneu, [2017]. 656 p.

# Uma abordagem para o aprendizado assistido por IA em disciplinas do curso de física médica

Steiger L.<sup>1</sup>, Valença J.<sup>2</sup>, Silveira T.<sup>2</sup>, Rauber M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudante Ufcspa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre – Ufcspa

**Resumo:** A inserção de Inteligência Artificial (IA) em aspectos educacionais vem sendo amplamente discutida na literatura científica especializada, apresentando traços polêmicos e outros disruptivos. Essa tecnologia exhibe potencial de ampliar a ideia de aprendizado assistido, oferecendo suporte personalizado ao aluno, facilitando a integração com a área técnica de envolvimento e melhorando o seu desempenho acadêmico (1, 2). Este trabalho objetiva explorar ferramentas de IA generativa, a exemplo do ChatGPT, como suporte ao ensino em Física Médica, avaliando seus impactos pedagógicos ao incentivar o protagonismo discente em um ambiente mais adaptativo, ressaltando as limitações associadas, que exigem atenção aos aspectos éticos e científicos.

**Materiais e métodos:** A metodologia envolveu, inicialmente, o levantamento bibliográfico sobre o tema, com buscas em revistas nacionais e internacionais. Foram realizados testes com o ChatGPT e o Copilot para conhecer suas funcionalidades e avaliar sua aplicabilidade ao ensino, utilizando prompts estruturados para treinar as ferramentas. Materiais educacionais foram desenvolvidos com o uso da plataforma ChatGPT, a exemplo de arquivos traduzidos, formatação de bancos de questões, além de um folder informativo sobre o uso coerente das plataformas de IA. Os materiais desenvolvidos foram criteriosamente analisados com base nos aspectos técnicos da área abordada.



**COMO USAR O CHATGPT A SEU FAVOR NO MUNDO ACADÊMICO?**

**PREPARAÇÃO PARA PROVAS E ESTUDOS** 1

- Explicações complementares sobre conceitos e definições associadas às diversas áreas do saber.
- Elaboração de perguntas/exercícios, bem como feedback sobre as questões.

**TRADUÇÃO E APRENDIZADO DE IDIOMAS** 2

- Facilita a tradução de textos técnicos e acadêmicos, propõe o ajuste de expressões idiomáticas, ajudando na precisão terminológica.
- Ferramenta no suporte ao aprendizado de idiomas, estabelecendo diálogos e fazendo correções e ajustes gramaticais quando necessário.

**COMPREENDER E CONSIDERAR AS LIMITAÇÕES DA FERRAMENTA** 3

- Essas ferramentas não possuem pensamento crítico com características humanas, logo, tendem a realizar interpretações literais, oferecer conteúdo ultrapassado e incerto.
- Logo, apresenta limitações na indicação de referências, sites e possibilidade de cometer erros ao oferecer respostas a diferentes níveis de questões.

As limitações ressaltam a necessidade de verificação, em materiais confiáveis, de respostas críticas geradas pela plataforma!

**A ESCRITA CIENTÍFICA E O CHATGPT**

**ASSISTÊNCIA NA ESCRITA**

- Suporte na redação de textos acadêmicos:
  - Correção de erros gramaticais em vários idiomas.
  - Análise da formatação, clareza, coerência e coesão do texto.

**ELABORAÇÃO DE NOTAS DE LEITURA**

- Contribuição na revisão de literatura;
- Particularmente relevante na gestão de grande número de informações (ex: reuniões sistemáticas).

Ajuda na geração e organização de resumos estendidos de textos científicos

**AUXÍLIO NO DESENVOLVIMENTO DE IDEIAS**

- Apoio no processo criativo: Potencial sugestivo de conexões entre conceitos na fase de brainstorming.
- Indicação de perspectivas complementares a ideias apresentadas.
- Assistência na contextualização inicial.

**O QUE É O CHATGPT?**

Modelo de linguagem baseado na arquitetura GPT (Generative Pre-trained Transformer) e treinado em grandes quantidades de dados.

"O ChatGPT é um modelo de linguagem avançado desenvolvido pela OpenAI, projetado para gerar texto e responder a perguntas de forma conversacional. Embora seja uma ferramenta útil para apoiar em pesquisas e escrita, é importante usá-lo com cautela, verificando sempre a precisão das informações e evitando confiar cegamente em suas respostas." (ChatGPT, 2024)

**POTENCIALIDADES E PRECAUÇÕES**

- Escrita científica
- Tradução e ajuste de textos
- Assistência nos estudos
- Análise de dados

Das fontes: Batista, Enhancing Physics Learning with ChatGPT, Bing Chat, and Bard on September 20th 2023. A Comparative Case Study. U.S.M.A., 2023.

Bakker, Philip. ChatGPT in physics education: A pilot study on essay to implement activities. Contemporary Educational Technology, 2023.

Salem, Malik. ChatGPT Utility in Healthcare Education, Research, and Practice Systematic Review on the Promising Perspectives and Valid Concerns. Healthcare, 2023.

FONSECA, Jilva César. Uso do ChatGPT na pesquisa acadêmica: potencialidades e desafios. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

Figura 1. Extração de parte do folder educativo elaborado por discentes do Projeto de Iniciação à Docência, com foco nas aplicações e limitações do ChatGPT em contextos acadêmicos no curso de Física Médica.

**Resultados e discussões:** O folder abrangeu tópicos como escrita científica e aspectos éticos, sendo desenvolvido com a intenção de conscientizar os discentes de Física Médica sobre as limitações e uso adequado da plataforma. Aspectos relacionados ao radiodiagnóstico, radioterapia e medicina nuclear, no contexto da disciplina de Introdução à Física Médica, foram explorados nos bancos de questões e nas traduções realizadas.

**Conclusões:** Os resultados obtidos indicam que o ChatGPT pode ser uma ferramenta valiosa no apoio ao aprendizado assistido, embora existam limitações a serem consideradas, as quais foram salientadas nos materiais elaborados. Como próximo passo, planeja-se aplicar o material produzido em turmas dos semestres iniciais do curso de Física Médica da UFCSPA, visando avaliar o seu impacto no apoio aos discentes.

**Referências:**

[1] Luckin, Rosemary & Holmes, Wayne. (2016). Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education. Bitzenbauer, P. (2023). ChatGPT in physics education: A pilot study on easy-to-implement activities. Contemporary Educational Technology, 15(3), ep430. (<https://doi.org/10.30935/cedtech/13176>)

## **Escape Room da Física Médica: Estratégia Inovadora e Interativa para Divulgação Científica**

Sales G.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, Oliveira H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** O Escape Room é uma atividade interativa na qual os participantes devem resolver enigmas em um ambiente fechado, escuro e temático, com o objetivo de "escapar" dentro de um tempo limite. Quando integrado ao ensino de conceitos científicos, essa dinâmica se torna uma ferramenta poderosa de divulgação e popularização da ciência. O Escape Room desenvolvido pela Liga Acadêmica de Física Médica (LAFISMED) utilizou essa metodologia para promover, de forma lúdica e colaborativa, conhecimentos fundamentais da física médica, como o radiodiagnóstico, as radiações ionizantes, a medicina nuclear e a radioterapia.

**Materiais e métodos:** A atividade foi realizada no auditório do Pátio da Ciência, no Instituto de Física da UFG, com ambientação imersiva e narrativa envolvente. As sessões, com duração média de 10 minutos, foram conduzidas em grupos de 1 a 5 participantes, totalizando 136 sessões e 544 participantes ao longo dos eventos "Semana da Física" e "Nuclear Experience". O público participante incluía estudantes do ensino fundamental, médio e superior, além de docentes e visitantes da comunidade, com idades entre 14 e 40 anos. Durante a experiência, os grupos resolveram desafios que exigiam raciocínio lógico, cooperação e aplicação de conceitos da física médica. Ao final da atividade, aplicou-se um questionário de avaliação da experiência.

**Resultados e discussões:** A análise dos questionários de satisfação indicou que 98% dos participantes consideraram a atividade "muito satisfatória" ou "excelente", destacando o caráter educativo e inovador da abordagem. Mais de 90% demonstraram interesse em participar novamente e relataram ter aprendido conceitos novos sobre física médica. A dinâmica do Escape Room promoveu maior engajamento do público com o conteúdo científico, favorecendo a aprendizagem ativa e colaborativa. Estudos recentes apontam a eficácia da gamificação no ensino e na divulgação científica (Deterding et al., 2011; Hamari et al., 2014), o que reforça o potencial desse tipo de ação.

**Conclusões:** O Escape Room da Física Médica revelou-se uma metodologia eficaz para aproximar o público da ciência, ao transformar conteúdos complexos em experiências significativas e acessíveis. Além de despertar o interesse pela física médica, a atividade ampliou a visibilidade da LAFISMED e estimulou práticas interdisciplinares na formação científica. A incorporação de elementos de gamificação no ensino e na extensão universitária demonstra ser uma estratégia promissora para a popularização da ciência.

**Agradecimento:** Agradeço a todos os integrantes da LAFISMED que contribuíram para a realização deste evento, assim como aos discentes Jonas Oliveira da Silva e Emerson Nobuyuki Itikawa, pelo incentivo à criatividade e à colaboração em prol do avanço da física médica.

**Referências:**

- [1] Relatórios de eventos da LAFISMED Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining gamification. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference. Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? — A literature review of empirical studies on gamification. 47th Hawaii International Conference on System Sciences.

## **A influência da LAFISMED na escolha profissional: Despertando interesses pela Física Médica**

Garcia C.H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sem Razão Social

**Resumo:** A LAFISMED – Liga Acadêmica de Física Médica – promove o contato direto entre estudantes e a prática profissional na interface entre Física e Medicina. Com ações como palestras, grupos de estudo e eventos de extensão, a liga contribui para a formação acadêmica, favorecendo a integração com a comunidade e despertando o interesse pela área. Sua atuação também atinge estudantes do ensino médio e de áreas afins, influenciando positivamente na escolha pela graduação em Física Médica. Este trabalho analisa a importância da LAFISMED na escolha profissional, com ênfase em seu papel na orientação vocacional e na valorização da área.

**Materiais e métodos:** Este trabalho utilizou uma abordagem com coleta de dados por meio de um formulário online, respondido por discentes do curso de Física Médica da UFG. O objetivo foi identificar percepções sobre a atuação da LAFISMED e seu impacto na decisão profissional. A análise combinou dados quantitativos, apresentados em frequência e percentual, e qualitativos, obtidos a partir da leitura interpretativa de comentários abertos. A metodologia permitiu compreender como a liga acadêmica contribui para o despertar vocacional e o fortalecimento do interesse na área.

**Resultados e discussões:** Os respondentes destacaram, com comentários, o papel da LAFISMED na universidade e em suas trajetórias. Do total, 84,6% já conheciam a Física Médica, principalmente por redes sociais, escola e contatos pessoais. Além disso, 53,8% conheceram a LAFISMED antes de ingressar na UFG, e 54% atribuíram notas 4 ou 5 à sua atual influência na sociedade.

**Conclusões:** A LAFISMED teve papel importante na formação e escolha profissional dos estudantes da UFG, ao despertar o interesse pela Física Médica por meio de divulgação científica, projetos de extensão, eventos e ações de integração com a comunidade acadêmica – atividades mais citadas pelos participantes. Sua atuação reforça o apoio, a motivação e a conexão dos estudantes com a prática profissional.

**Agradecimento:** Agradeço à LAFISMED – Liga Acadêmica de Física Médica – pelo apoio e inspiração na realização deste trabalho. Agradeço também aos participantes da pesquisa, cuja colaboração foi essencial para este estudo.

### **Referências:**

[1] COSTA, C. L.; MELO, G. A. "A importância das ligas acadêmicas na divulgação e formação em áreas específicas: o caso da Física Médica." Revista Brasileira de Física Médica, 2019.

## **Física Médica nas Escolas: Estratégias de Divulgação e Popularização da Física Médica**

Garcia M.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Oliveira H.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** Visando ampliar a divulgação científica e o reconhecimento do curso de Física Médica, a Liga Acadêmica de Física Médica da UFG (LAFISMED) montou e participou dos projetos: ‘Física Médica nas Escolas’, ‘Espaço das Profissões’ e ‘Rodada das Profissões no Colégio Marista’. Por meio de atividades interativas, materiais informativos e demonstrações de tecnologias aplicadas, como o contador Geiger-Müller e o ECG com Arduino, buscamos aproximar alunos do Ensino Médio do ambiente universitário, destacando a formação interdisciplinar do(a) físico(a) médico(a) e sua atuação nas áreas de radiologia, medicina nuclear e radioterapia, essenciais para o diagnóstico e o tratamento em saúde.

**Materiais e métodos:** As atividades ocorreram em formato interativo e expositivo, com ambientação temática e recursos diversos, como luzes RGB, fumaça, imagens médicas (RX, RM e tomografia), contador GeigerMüller e ECG com Arduino. Foram utilizados pôsteres, materiais impressos diversos e elementos visuais como balões, o trifólio e iluminação LED. A equipe esteve distribuída em pontos estratégicos para orientar os visitantes, realizar demonstrações práticas e esclarecer dúvidas sobre o curso, suas aplicações tecnológicas e sua importância na área da saúde.

**Resultados e discussões:** Os eventos contaram com a participação de um público superior a 2.500 pessoas. Antes das atividades, os estudantes não conheciam a área da Física Médica. Após as apresentações e atividades interativas, demonstraram grande interesse, anotaram informações relevantes e fizeram perguntas. O conteúdo despertou curiosidade e proporcionou uma nova perspectiva sobre a atuação do físico médico na saúde.

**Conclusões:** As ações contribuíram significativamente para a divulgação da Física Médica, aproximando estudantes do universo acadêmico e da carreira científica. A interação direta e o uso de recursos didáticos mostraram-se eficazes na orientação vocacional e na desmistificação da atuação do físico médico na área da saúde.

**Agradecimento:** Aos membros e coordenadores da LAFISMED que fizeram parte da preparação, montagem e realização desses projetos, além do público de fora que participou nas atividades propostas.

### **Referências:**

- [1] Silvio Leão, Montagem instrumental para medida dos potenciais elétricos do coração. Mar 2023.
- [2] Alfredo Guarisch, Artigo Uma breve história do eletrocardiograma. Jul 2018.

## **Detechtor – Board Game científico Física Médica: jogo educativo sobre Física Médica para o ensino médio**

Dos Santos A.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, De Carvalho A.<sup>1</sup>, Da Silva J.

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** O jogo Detechtor - Board Game científico da Física Médica foi criado como recurso didático lúdico para apresentar conceitos da Física Médica a jovens do ensino médio. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e aplicar o jogo para promover o interesse dos estudantes pela Física e pelas aplicações das radiações, especialmente no contexto da UFG. Foi aplicado no Espaço das Profissões da UFG, evento voltado à divulgação dos cursos da universidade. A proposta uniu diversão e ciência, promovendo o interesse dos estudantes pela Física e pelas aplicações das radiações.

**Materiais e métodos:** O jogo inclui um tabuleiro autoral com cerca de 30 casas, cartas de desafio e ação, dado e peões impressos em 3D que representam físicos notáveis. As cartas abordam conceitos de radiação, diagnóstico por imagem, tratamentos e proteção radiológica. A dinâmica baseia-se na movimentação por sorteio e resolução de perguntas temáticas. Todo o design foi criado pelos autores. Para avaliar o impacto do jogo, a quantificação dos resultados foi realizada por meio da observação do engajamento dos estudantes, do registro de suas interações e respostas às perguntas temáticas durante a aplicação no Espaço das Profissões da UFG, além do feedback qualitativo coletado informalmente ao final da atividade, visando analisar o nível de interesse e a compreensão dos conceitos apresentados.

**Resultados e discussões:** O jogo despertou interesse pela Física Médica e reforçou conceitos já vistos no ensino médio. Os alunos participaram ativamente, demonstraram entusiasmo e relataram que aprenderam enquanto se divertiam. A atividade promoveu interação e fixação do conteúdo.

**Conclusões:** A aplicação do Detechtor no Espaço das Profissões evidenciou seu potencial como ferramenta de divulgação científica e ensino. O formato lúdico facilitou o aprendizado e motivou os estudantes a conhecer mais sobre Física Médica.

**Agradecimento:** Agradecemos à equipe de desenvolvimento, aos estudantes que participaram dos testes e jogaram no evento, e à UFG pela oportunidade de apresentar o jogo no Espaço das Profissões.

### **Referências:**

[1] DETECHTOR – Missão Radiação (Material original, 2025) Conteúdos básicos de Física Médica e radiações ionizantes BNCC – Ciências da Natureza e suas Tecnologias

## Divulgação Científica nas Redes Sociais: A Estratégia da Liga Acadêmica de Física Médica

Lima K.<sup>1</sup>, Dos Santos A.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** A divulgação científica é essencial para aproximar a ciência da sociedade. Com o crescimento das redes sociais, surgiram-se novas estratégias para uma comunicação científica mais acessível e atrativa. Este trabalho analisa a estratégia de divulgação da Liga Acadêmica de Física Médica (LAFISMED), vinculada à Universidade Federal de Goiás (UFG), que utiliza plataformas digitais para disseminar conteúdos sobre Física Médica, promovendo o conhecimento e despertando o interesse do público.

**Materiais e métodos:** A análise foi realizada com base nos insights fornecidos pela plataforma Meta Business Suite, referentes às postagens do perfil da LAFISMED no Instagram, entre agosto de 2024 e maio de 2025. Foram avaliadas métricas quantitativas como alcance, curtidas, comentários, compartilhamentos e engajamento geral, além de aspectos qualitativos como frequência de publicação, temas abordados, linguagem e uso de recursos visuais.

**Resultados e discussões:** Entre ago/24 e mai/25, o perfil da LAFISMED obteve 180,8 mil visualizações e 3,2 mil interações, representando aumento de 45% no alcance e 30% no engajamento em comparação ao período de dez/23 a jul/24. Aspectos como frequência, o uso de recursos visuais e linguagem acessível foram essenciais para aproximar a Física Médica da sociedade por meio da divulgação científica digital.

**Conclusões:** As redes sociais são ferramentas eficazes para divulgação científica, aproximando a ciência da sociedade. A experiência da LAFISMED mostra que linguagem acessível, frequência regular de publicações e uso de recursos visuais aumentam o engajamento e a disseminação do conhecimento em Física Médica, reforçando o papel das plataformas digitais na comunicação científica atual.

**Agradecimento:** Agradeço ao setor de comunicação da LAFISMED pelo empenho e criatividade na divulgação de nossas ações. Meu sincero reconhecimento à presidente da atual gestão, cuja sabedoria e visão em marketing foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. O apoio

### Referências:

- [1] Meta Business Suite. Disponível em: [www.facebook.com/business](http://www.facebook.com/business).
- [2] Instagram. Perfil @lafismed. Disponível em: [www.instagram.com/lafismed](http://www.instagram.com/lafismed).
- [3] Instagram Business. Disponível em: <https://business.instagram.com>.

# Desenvolvimento de um Procedimento Operacional Padrão para o Uso de Ultrassom Portátil em Práticas Acadêmicas

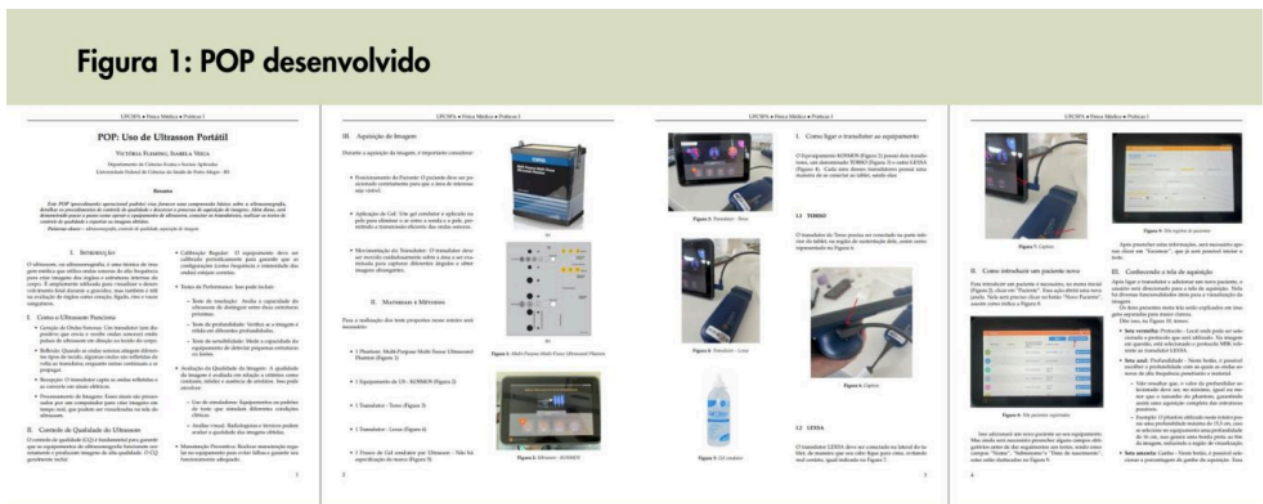
Mota V.<sup>1</sup>, Pianoschi T.<sup>1</sup>, Botelho <sup>2</sup>, Da Silva I.<sup>2</sup>, Jardim A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** A padronização de procedimentos é essencial na prática em saúde, especialmente no uso de tecnologias médicas [1]. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um Procedimento Operacional Padrão (POP) para o uso de um ultrassom portátil (US) disponível no Laboratório de Habilidades da UFCSPA, equipamento recorrentemente utilizado na área do radiodiagnóstico, garantindo não somente que seu leitor entenda como o equipamento funciona, mas também exemplificando como realizar testes de Controle de Qualidade (CQ) do mesmo. Para isso, foi necessário estudar o funcionamento do aparelho e como utilizá-lo, assegurando a correta aplicação clínica. A iniciativa visa garantir segurança, qualidade e reprodutibilidade na utilização do equipamento.

**Materiais e métodos:** A elaboração do POP envolveu o estudo teórico sobre ultrassom e sobre os protocolos para os testes de CQ. Para a sua construção, foram considerados os seguintes documentos: manual do equipamento de US KOSMOS e seus transdutores Torso e Lexsa; manual do phantom Multi-Purpose da CIRS; e protocolo da AAPM para US. Foram descritas, detalhadamente, as ações para ligar o aparelho, cadastrar pacientes, operar a interface, ajustar parâmetros (profundidade, ganho e frequência), realizar aquisições e exportar imagens. Os testes de CQ descritos no POP foram conforme as exigências da RDC nº 611 (2022) e IN nº 96 (2021) e as instruções de metodologia contidas no manual do phantom e no protocolo da AAPM.

Figura 1: POP desenvolvido



[2] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS IN MEDICINE. Real-time B-mode ultrasound quality control test procedures: report of AAPM Ultrasound Task Group No. 1. AAPM Report No. 116. New York: AAPM, 2009.  
 [3] CIRS. Multi-Purpose, Multi-Tissue Ultrasound Phantom Model 040GSE. Norfolk, VA: CIRS, 2023.  
 [4] ECHONOUS, Inc. Kosmos User Guide with Linear Probe. Versão P006542-006, Rev A. Seattle: EchoNouS, 2021.

**Resultados e discussões:** O POP desenvolvido reúne instruções claras e ilustradas para o uso do ultrassom portátil, padronizando a aquisição de imagens (Figura 1). Testes preliminares auxiliaram na sua elaboração, e a próxima etapa será sua validação quanto à sua aplicabilidade prática. A literatura destaca a importância da padronização para garantir qualidade e segurança.

**Conclusões:** A construção do POP proporcionou domínio técnico do equipamento, aprendizagem na área do radiodiagnóstico e evidenciou a importância da padronização em exames ultrassonográficos. O protocolo final contribuiu para a prática clínica e acadêmica, auxiliando futuros usuários no manuseio adequado e na obtenção de imagens de qualidade, visa-se utilizá-lo em atividades acadêmicas de extensão.

### **Referências:**

- [1] PEREIRA et al. Avaliação de procedimentos operacionais padrão implantados em um serviço de saúde. Arquivos de Ciências da Saúde, São José do Rio Preto, v. 24, n. 4, p. 47-51, out./dez. 2017.
- [5] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 96, de 29 de dezembro de 2021. Estabelece os critérios para o Programa de Garantia da Qualidade em Radiodiagnóstico. Brasília: ANVISA, 2021.
- [6] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 611, de 9 de agosto de 2022. Dispõe sobre os requisitos de boas práticas de funcionamento para os serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista. Brasília: ANVISA, 2022.

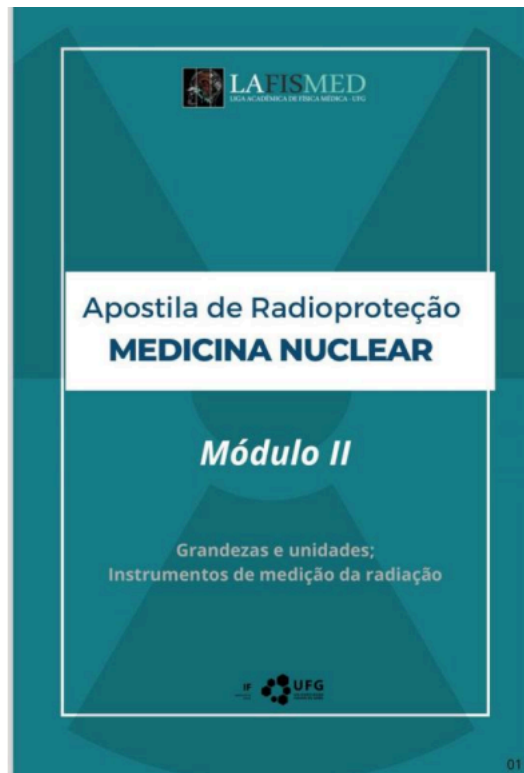
## **RadSafe: Capacitação básica em proteção radiológica , RadSafe: Capacitação básica em proteção radiológica**

Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Dos Santos L.<sup>1</sup>, Mendanha G.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** A radiação ionizante é amplamente usada na saúde, mas seu uso inadequado pode causar danos. A proteção radiológica é essencial, porém ainda há carência e dificuldade de acesso à capacitação. O mundo digital exige cursos gratuitos, totalmente online, que não afastem os profissionais de suas atividades diárias. Em Goiás, mais de 50 mil trabalhadores hospitalares — entre médicos, enfermeiros e equipes de apoio como recepção e limpeza — podem se beneficiar do RadSafe, que oferece controle do progresso e desempenho dos alunos, auxiliando instituições a identificar necessidades de aprimoramento em relação à proteção radiológica. Essa capacitação deve ser realizada anualmente em clínicas e ambientes hospitalares para garantir segurança contínua.

**Materiais e métodos:** O curso RadSafe foi estruturado com hospedagem na Hostinger e desenvolvido em WordPress para garantir acesso intuitivo e seguro. Destina-se a profissionais de saúde de hospitais de Goiás, incluindo médicos, enfermeiros, recepcionistas e equipes de apoio. O conteúdo segue diretrizes da CNEN e AIEA, sendo dividido em módulos com linguagem simples e criativa, que promove a inserção e conexão com todos os tipos de formação, sem restringir público. Os estudantes poderão realizar o curso onde estiverem, utilizando apenas um equipamento digital, tendo acesso ao conteúdo no momento que precisarem, podendo revisar as apostilas destinadas. A previsão é alcançar de 300 a 500 profissionais em 6 meses. A avaliação ocorrerá por meio de quizzes ao fim de cada módulo e formulário de satisfação final, permitindo ajustes contínuos.



**Resultados e discussões:** A plataforma RadSafe e todo o conteúdo do curso, estruturado em módulos com linguagem acessível, incluindo aulas teóricas e vídeo-aulas práticas, encontram-se concluídos. A aula teste, realizada online no CDI Premium em Goiânia, alcançou ampla participação da equipe multidisciplinar. Devido à modalidade remota, o curso possibilitou maior flexibilidade e alcance, permitindo que os profissionais acessassem o material conforme sua disponibilidade. As avaliações por meio de quizzes indicaram bom aproveitamento, e a plataforma oferece monitoramento detalhado do desempenho individual, independentemente da área de atuação, auxiliando na identificação das necessidades específicas de cada equipe.

**Conclusões:** Os resultados obtidos até o momento são satisfatórios, demonstrando a eficácia da plataforma e do conteúdo na capacitação dos profissionais. Como próximo passo, planeja-se ampliar o alcance do curso RadSafe para outras regiões, beneficiando um número maior de trabalhadores da saúde e difundindo o conhecimento em proteção radiológica de forma acessível, tornando o aprendizado estimulante e contribuindo para eliminar o estigma associado à física.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Programa de Bolsas de Extensão e Cultura (PROBEC) pelo apoio financeiro que viabilizou o desenvolvimento deste projeto. Nosso reconhecimento também se estende aos membros da LAFISMED pelo comprometimento na elaboração do material didático e das aulas. Agradecemos, ainda, à Clínica CRA (Centro Radiológico de Anápolis) pela valiosa parceria, que contribuiu significativamente para a implementação e promoção do curso RadSafe.

#### **Referências:**

- [1] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica: Norma CNEN NN 3.01. Resolução nº 164/14, março de 2014.
- [2] THE JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE. Routine Quality Control of Clinical Nuclear Medicine Instrumentation: A Brief Review. Journal of Nuclear Medicine, v. 49, n. 7, jul. 2008.
- [3] POWSNER, Rachel A.; PALMER, Matthew R.; POWSNER, Edward R. Essentials of Nuclear Medicine Physics and Instrumentation. Wiley Blackwell, 2012.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Detectores de radiação. Capítulo 6.
- [5] KNOLL, Glenn F. Radiation Detection and Measurement. New York: Wiley & Sons, 1979.
- [6] ATTIX, Frank Herbert. Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. 2004.

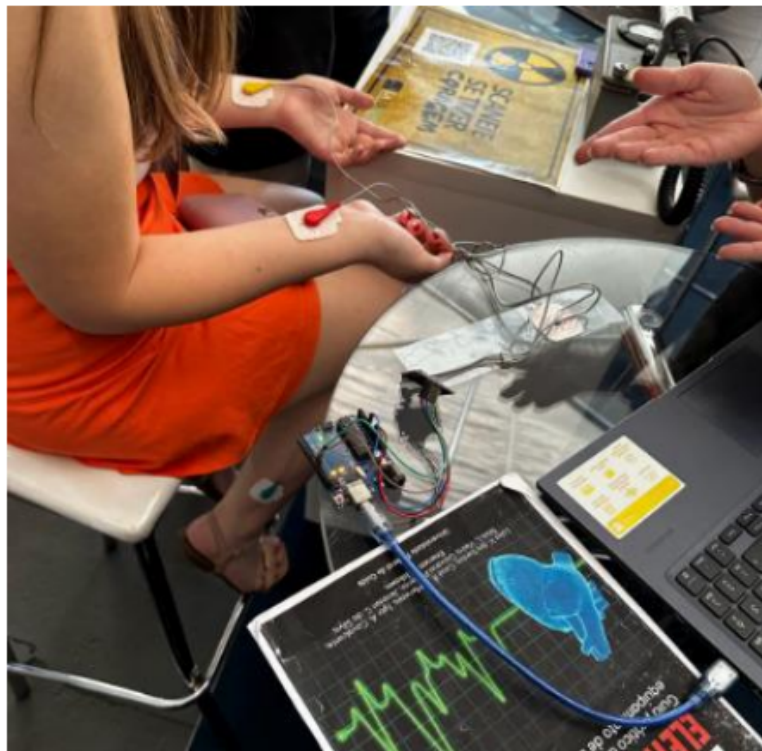
## Disseminação do Conhecimento: Eletrocardiograma (ECG) nas Escolas

De Oliveira M.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Menezes C.<sup>1</sup>, Cavalcante I.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** O eletrocardiograma (ECG) é um exame essencial na avaliação da atividade elétrica cardíaca e da saúde cardiovascular. Com base em sua relevância, a Liga Acadêmica de Física Médica (LAFISMED) do Instituto de Física da UFG desenvolveu o projeto “Disseminação do conhecimento: Eletrocardiograma nas Escolas”, voltado à difusão do conhecimento sobre o ECG entre alunos do ensino fundamental e médio. A ação incluiu a montagem de um ECG funcional, a elaboração de um manual para construção do aparelho e apresentações práticas em salas de aula, visando facilitar o aprendizado por meio da interação direta com a tecnologia.

**Materiais e métodos:** Foram utilizados resistores, capacitores, optoacoplador, eletrodos, gerador de ondas, osciloscópio, fios e protoboard. O ECG é composto por três blocos: sensor de leitura, processamento do sinal biológico e interface gráfico-usuário. Utilizou-se uma derivação bipolar com eletrodos posicionados nos pulsos e tornozelo esquerdo. O sinal adquirido foi processado por um filtro passa-banda em torno de 60 Hz, com o objetivo de minimizar o ruído da rede elétrica. A visualização dos sinais foi feita por meio de um osciloscópio, permitindo análise prática da atividade elétrica cardíaca.



**Resultados e discussões:** O projeto foi realizado em uma escola, em 10 turmas, com mais de 200 alunos impactados. Houve boa receptividade e melhora na compreensão dos conceitos. As metas foram atingidas: ECG funcional e manual eficaz. A principal dificuldade superada foi a visualização do sinal biológico, devido à baixa amplitude. A imagem anexada mostra o ECG em funcionamento durante a apresentação.

**Conclusões:** O projeto foi concluído com êxito, superando desafios técnicos e promovendo impacto na formação dos alunos, por meio de experiências práticas e desenvolvimento de habilidades comunicativas. As visitas às escolas fortaleceram o papel social da LAFISMED e contribuíram para a disseminação acessível do conhecimento científico.

**Agradecimento:** Quero agradecer a LAFISMED e todos os membros, professores e técnicos que se empenharam firmemente na execução desse projeto, também a PROEC pelo fornecimento da bolsa.

**Referências:**

- [1] Alfredo Guarisch, Artigo Uma breve história do eletrocardiograma • Jul 2018
- [2] Artigo • Ciênc. saúde colet. 24 Jan 2019 • <https://doi.org/10.1590/1413-81232018241.02072017>
- [3] Artigo original • Estatística Cardiovascular Brasil 2021 Arq. Bras. Cardiol. 118 (1) <https://doi.org/10.36660/abc.20211012>
- [4] Site, Ministério da Saúde BVS: Biblioteca Virtual em Saúde - • Acesso Mar 2023
- [5] Site, World Heart Federation • Acesso em Marc 2023
- [6] Site, SBC: Sociedade Brasileira de Cardiologia • Acesso em Mar 2023
- [7] Silvio Leão, Montagem instrumental para medida dos potenciais elétricos do coração • Mar 2023.
- [8] Oliveira GMM, Brant LCC, Polanczyk CA, Malta DC, Biolo A, Nascimento BR, Souza MFM, et al. Estatística Cardiovascular – Brasil 2021. Arq. Bras. Cardiol. 2022;118(1):115-373.

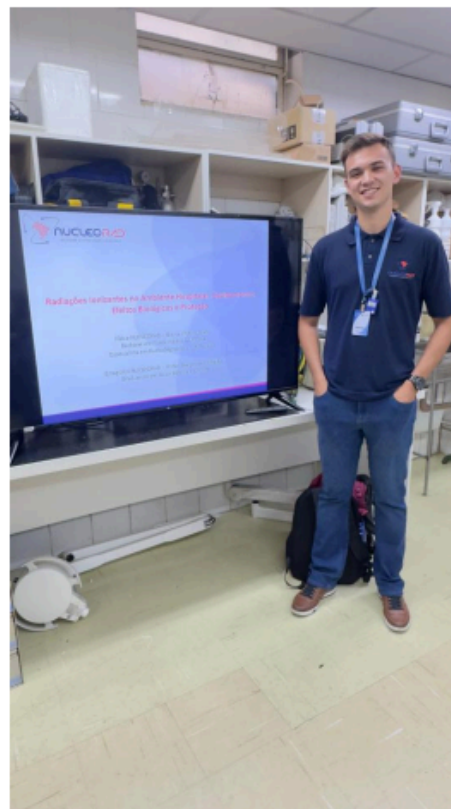
## Ações Educativas em Física Médica: Relato de Seminário em Ambiente Hospitalar

De Carvalho R.<sup>1</sup>, Lovato B.<sup>2</sup>, Goulart A.<sup>2</sup>, Berna E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Rafael Borges De Carvalho, <sup>2</sup> Fundacao Universidade De Caxias Do Sul, <sup>3</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** A formação de profissionais na área de Física Médica exige a conexão entre teoria e prática, sobretudo em temas como a proteção radiológica e dosimetria. A exposição à radiação ionizante, como em ambientes hospitalares, demanda constante atualização e conscientização dos profissionais envolvidos, visando à segurança do paciente, da equipe e do público. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma experiência acadêmico-profissional envolvendo a produção de materiais didáticos e a participação em um seminário técnico voltado para profissionais da engenharia clínica do Grupo Hospitalar Conceição (GHC), em Porto Alegre/RS. A atividade teve como objetivo compartilhar conhecimentos e reforçar práticas seguras no que diz respeito à utilização da radiação ionizante no ambiente hospitalar.

**Materiais e métodos:** As atividades envolveram revisão teórica, elaboração de materiais didáticos e participação em um seminário técnico. Os temas abordados incluíram conceitos de dosimetria, efeitos biológicos da radiação e práticas seguras no uso da radiação ionizante. A metodologia prática baseou-se em uma exposição dialogada, a partir de assuntos do cotidiano dos profissionais da física médica, discutindo questões como “Qual a diferença entre radiação ionizante e não ionizante?” e “Por que devo utilizar o dosímetro?”. A partir dessas discussões, foram promovidas dinâmicas participativas, incentivando o diálogo em grupo e a reflexão sobre temas diretamente ligados à rotina dos engenheiros que atuam na área.



**Resultados e discussões:** As discussões em grupo, com síntese do aprendizado ao final, permitiram identificar lacunas no conhecimento cotidiano, especialmente quanto à segurança no uso de equipamentos emissores de radiação ionizante e à utilização de dosímetros. A abordagem favoreceu o engajamento do público-alvo e reforçou a importância de uma comunicação didática entre a Física Médica e as demais áreas da saúde.

**Conclusões:** A experiência descrita demonstrou a relevância de ações educativas no ambiente hospitalar como estratégia eficaz para promover a conscientização sobre proteção radiológica e dosimetria. A interação entre teoria e prática, aliada à linguagem acessível e dinâmica, contribuiu para a atualização de conhecimentos, reforço de práticas seguras, fortalecendo o trabalho multiprofissional na área da saúde.

**Agradecimento:** Agradeço ao Adriano e a Juliana pela oportunidade de realizar e vivenciar a prática profissional de um físico médico, cujo apoio, orientação e contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento desta experiência acadêmico-profissional. Expresso também gratidão à equipe de Engenharia Clínica do GHC por oportunizar um ambiente colaborativo e de aprendizagem.

#### **Referências:**

- [1] Okuno, E., & Yoshimura, E. M. (2010). Física das radiações. São Paulo: Oficina de Textos.
- [2] HALL, Eric J.; GIACCIA, Amato J. Radiobiology for the Radiologist. 8. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2019.
- [3] BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). (2024). Norma CNEN NN 3.01: Requisitos básicos de radioproteção e segurança radiológica de fontes de radiação. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/normas/grupo-3/NormaCNENNN3.01.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- [4] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). (2022). Resolução RDC nº 611, de 9 de março de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-611-de-9-de-marco-de-2022-386107075>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- [5] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

## **O que é Física Médica? Estratégias para a Popularização da Profissão na Sociedade**

De Carvalho M.<sup>1</sup>, Lima K.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, De Almeida J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** O evento “O que é Física Médica?” visa introduzir de forma clara e acessível a área de Física Médica para calouros do curso, seus familiares e convidados. A iniciativa parte da LAFISMED (Liga Acadêmica de Física Médica - UFG) e do Instituto de Física da UFG, e busca promover o entendimento básico sobre a profissão e seu impacto na saúde e na sociedade.

**Materiais e métodos:** Realizado de forma híbrida em 21/03/2025 no Anfiteatro do Instituto de Física/UFG, o evento contou com uma palestra do coordenador do curso de Física Médica da UFG, na qual foi apresentado conceitos relacionados a área e expectativas para o futuro da Física Médica de forma dinâmica, além de promover uma sessão de perguntas relacionadas ao curso. O público-alvo incluiu discentes calouros e visitantes, totalizando 125 participantes. A programação foi pensada para integrar acolhimento e divulgação científica.

**Resultados e discussões:** Os participantes demonstraram maior compreensão sobre a área de Física Médica, suas aplicações clínicas e mercado de trabalho. A atividade interativa gerou engajamento e despertou interesse nos temas abordados.

**Conclusões:** O evento cumpriu com êxito sua proposta de introduzir a Física Médica de forma acolhedora e informativa, promovendo integração entre calouros e comunidade e fortalecendo a identidade do curso desde os primeiros contatos.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Instituto de Física da UFG, à LAFISMED e ao Prof. Dr. Emerson Itikawa pelo apoio à realização do evento.

### **Referências:**

[1] Não se aplicam referências bibliográficas diretas. O conteúdo foi baseado na experiência acadêmica dos organizadores e no escopo institucional do curso de Física Médica da UFG.

## Produção de MANUAL DE ATENDIMENTO ÀS EMERGÊNCIAS COM PRODUTOS RADIOATIVOS para o CBM-GO

De Carvalho M.<sup>1</sup>, Lima K.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, De Almeida J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** A crescente colaboração entre o Instituto de Física da UFG, com intermédio da Liga Acadêmica de Física Médica (LAFISMED), e o Corpo de Bombeiros Militar de Goiás (CBM-GO) resultou na criação de um Manual de Atendimento a Emergências com Produtos Radioativos, visando capacitar militares para atuação segura em ocorrências envolvendo materiais radioativos e radiação ionizante. A iniciativa surgiu após um curso de extensão ministrado pela UFG em 2022, que treinou bombeiros de vários estados em radioproteção e manuseio de equipamentos. Este manual técnico, complementado por materiais audiovisuais, padroniza procedimentos para minimizar riscos até a chegada de especialistas, assegurando a proteção tanto dos profissionais quanto da população.

**Materiais e métodos:** O curso foi construído no formato de palestras em 4 aulas de 8h cada, abordando desde conceitos básicos de física nuclear até protocolos de emergência com materiais radioativos. As aulas teóricas incluíram modelos atômicos, tipos de radiação, efeitos biológicos e casos reais (como o acidente de Goiânia). A partir disso, foi desenvolvido o manual para conter os conteúdos ministrados no curso de capacitação, incluindo uma breve discussão sobre as três grandes áreas do curso de Física Médica. Utilizou-se linguagem técnica acessível, complementada por fluxogramas, imagens e exemplos de casos reais (como o acidente de Goiânia).

| Sumário |   | 1  |
|---------|---|----|
| 1       | <b>Radiações</b>  | 2  |
| 1.1     | Introdução  | 2  |
| 1.2     | Radiações ionizantes e não ionizantes                                   | 2  |
| 1.3     | Radioisótopos   | 2  |
| 1.4     | Modos de decaimento   | 3  |
| 2       | <b>Efeitos Biológicos</b>   | 4  |
| 2.1     | Introdução  | 4  |
| 2.2     | Os estágios de ação   | 4  |
| 2.3     | Mecanismos de ações ionizantes  | 5  |
| 2.4     | Natureza dos efeitos biológicos   | 5  |
| 2.5     | Indução de outras doenças resultantes da exposição à radiação ionizante | 7  |
| 2.6     | Hormesis  | 7  |
| 3       | <b>Detetores de Radiação Ionizante</b>                                  | 8  |
| 3.1     | Definição   | 8  |
| 3.2     | Propriedades  | 8  |
| 3.3     | Como escolher o detector apropriado?                                    | 8  |
| 3.4     | Detetores a gás   | 9  |
| 3.5     | Detetores a cintilação  | 10 |
| 3.6     | Detetores utilizando materiais semicondutores                           | 11 |
| 4       | <b>Serviços de Medicina Nuclear</b>                                     | 12 |
| 4.1     | O que é medicina nuclear?   | 12 |
| 4.2     | Radiofármacos   | 12 |
| 5       | <b>Serviços de Radiodiagnóstico</b>                                     | 13 |
| 5.1     | Introdução  | 13 |
| 5.2     | Entendendo a História   | 13 |
| 5.3     | Raios X   | 14 |
| 5.3     | Fluoroscopia  | 15 |
| 5.4     | Mamografia  | 15 |
| 5.5     | Radiografia   | 15 |
| 6       | <b>Serviços de Radioterapia</b>   | 16 |
| 6.1     | Definição   | 16 |
| 6.2     | Cuidados  | 17 |
|         | <b>Referências</b>  | 18 |

**Resultados e discussões:** Foram distribuídos 60 manuais aos participantes do curso, que em sua totalidade, em pesquisa de satisfação posterior, avaliaram positivamente o material. Destacaram sua clareza e importância para a atuação em emergências radiológicas. Segundo relatos de um capitão do corpo de bombeiros “esse curso produzirá muitos frutos para a prevenção e atendimento a ocorrências envolvendo produtos perigosos”.

**Conclusões:** O manual técnico comprovou sua eficácia na capacitação em emergências radiológicas instruindo sobre detectores de radiação utilizados para diferentes materiais radioativos, conhecimento reforçado em práticas do curso. Os conteúdos sobre o funcionamento básico de equipamentos de radiologia e radioterapia foram instruções importantes na prevenção de catástrofes semelhantes à do Césio 137 em Goiânia.

**Referências:**

- [1] OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. Física das radiações. 1. reimp. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. (Publicado originalmente em 19 fev. 2010). CROMOSSOMOS. Mundo Educação, 2021.
- [2] Blog UNIPACS Competência em Educação. Disponível em: <https://unipacs.com.br/semcategoria/museu-do-cesio-137/>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- [3] LEMBRANÇA: CÉSIO-137. Zona de Risco, 2012. RADIOPROTEÇÃO DOS TRABALHADORES. Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

## **Nuclear Experience - Divulgação de aplicações nucleares**

Aquino A.<sup>1</sup>, Dos Santos L.V.<sup>1</sup>, Oliveira H.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** O evento Nuclear Experience, realizado pela LAFISMED/UFG, promoveu a divulgação científica e o debate sobre aplicações nucleares em saúde, energia e inovação. Com palestras, Escape Room (atividade interativa) e networking com profissionais da área, buscou desmistificar a tecnologia nuclear e engajar públicos diversos (estudantes, profissionais, empreendedores). O objetivo foi fortalecer conexões entre academia, indústria e organizações internacionais, destacando o potencial transformador da área.

**Materiais e métodos:** O evento presencial ocorreu em 29/11/2024 no Instituto de Física da UFG, com palestras (4h), Escape Room nuclear (3h) e networking. Dados foram coletados via credenciamento, questionários e gravações. Capacidade: 1.100 pessoas (160/palestra; 500/Escape Room).

**Resultados e discussões:** O evento teve participação satisfatória, com destaque para o Escape Room, que abordou conceitos nucleares de forma lúdica. As palestras sobre medicina nuclear e empreendedorismo engajaram o público. A interação entre participantes criou oportunidades para novas parcerias acadêmicas e empresariais no setor.

**Conclusões:** O Nuclear Experience demonstrou ser eficaz na popularização da ciência nuclear através de formatos inovadores. O evento fortaleceu as conexões entre academia e mercado por meio das palestras, enquanto atividades práticas como o Escape Room provaram ser ferramentas valiosas para educação científica. Sugere-se ampliar a diversidade de idiomas em futuras edições.

**Agradecimento:** Agradecemos a presença e colaboração de todos, tanto dos ouvintes quanto dos palestrantes que tornaram possível um evento tão enriquecedor

### **Referências:**

[1] HIRONAKA, Fausto Haruki. Medicina Nuclear: Princípios e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Atheneu, [2017]. 656 p.



# FOTÔNICA

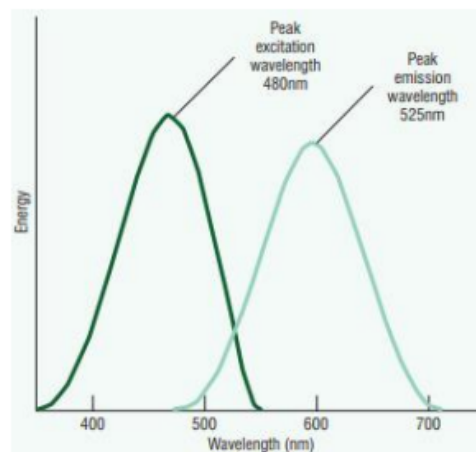
## Fluorescência molecular aplicada ao exame óptico de angiofluoresceinografia.

Fernandes D.<sup>1</sup>, Silva H.<sup>1</sup>, Lopes J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** A angiofluoresceinografia é um exame oftalmológico que permite avaliar a circulação sanguínea da retina e da coroide, utilizando um corante fluorescente chamado fluoresceína sódica e uma câmera com filtros especiais. A Fluoresceína sódica é um corante hidrossolúvel, altamente fluorescente, amplamente utilizado na medicina para diagnóstico. Ela emite luz verde intensa quando excitada com luz azul, permitindo a visualização de estruturas e fluxos biológicos com alta sensibilidade. O uso da fluoresceína no exame angiofluoresceinografia tem o objetivo de avaliar a circulação da retina e da coroide. Além da fluoresceína sódica, o exame de angiofluoresceinografia baseia-se no uso do retinógrafo. Retinógrafo é um equipamento oftalmológico que captura imagens detalhadas do polo posterior do olho.

**Materiais e métodos:** A intensidade da fluorescência observada na angiofluoresceinografia está relacionada à absorção da luz de excitação pelas moléculas do corante, fenômeno descrito pela Lei de Lambert-Beer. E ocorre a emissão de luz, após a excitação, um fenômeno conhecido como fluorescência, um fenômeno óptico no qual uma molécula absorve um fóton de alta energia, no exame é a luz azul, e reemite um fóton de menor energia na faixa do visível, neste caso a luz verde. Assim, áreas com maior acúmulo de fluoresceína ou com alterações vasculares específicas apresentam maior intensidade de fluorescência, enquanto áreas com obstruções ou hemorragias bloqueiam a passagem da luz, resultando em menos fluorescência.



**Resultados e discussões:** O exame capta imagens seriadas da retina e da coroide após a injeção de fluoresceína sódica. A substância permite visualizar o fluxo de sangue nos vasos da retina e coroide, obstruções, microaneurismas, neovascularizações, extravasamentos e áreas isquêmicas. Detecta doenças vasculares, como retinopatia diabética, degeneração macular, oclusões venosas/arteriais, edema macular e tumores oculares.

**Conclusões:** A angiofluoresceinografia é um exame essencial e atualizado na oftalmologia moderna, sua relevância persiste graças à capacidade de mapear a dinâmica vascular em tempo

real. Sua integração com a tecnologia digital a mantém atual e precisa. Além disso, sua base científica está profundamente enraizada em processos fotofísicos e espectroscopia óptica molecular.

**Agradecimento:** Agradeço o Prof. Dr. Jefferson Marcio Sanches Lopes pela orientação e contribuição técnica ao longo desta pesquisa. À Henrique Crisostomo de França Silva, reconheço a parceria acadêmica, fundamental para o desenvolvimento do trabalho. À minha família, expresse minha gratidão pelo apoio. Por fim, registro meu reconhecimento aos autores dos artigos científicos consultados, dos quais, os estudos pioneiros e rigor metodológico forneceram a base científica sólida para esta investigação.

**Referências:**

- [1] M. Timothy J. Bennett, CRA and F.-C.-C. Rolly Coronica, DNP, “Fundamentals of fluorescein angiography,” Disponível em:<http://eye-pix.com/wp-content/uploads/Bennett-ASORN-2016.pdf>, ASORN INSIGHT Winter 2016. Retinógrafo:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>. +
- [2] H. A. Serhan, “Fluorescein angiography: An essential guide,” Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/377500460FluoresceinAngiographyAnEssentialGuide>, January 2024.

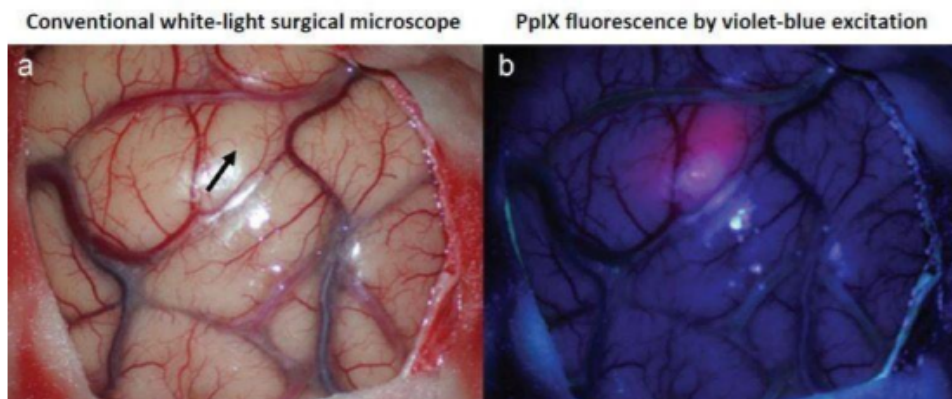
## Revisão Bibliográfica sobre a Cirurgia Guiada por Fluorescência com 5-ALA no Glioblastoma

Silva H.<sup>1</sup>, Fernandes D.<sup>1</sup>, Lopes J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás

**Resumo:** O glioblastoma multiforme (GBM) é o tumor maligno mais comum e agressivo do sistema nervoso central, com crescimento rápido, elevada vascularização e infiltração no tecido cerebral. Apesar das abordagens terapêuticas, a sobrevida média é inferior a 15 meses após o diagnóstico [1]. A ressonância magnética com contraste é frequentemente empregada como planejamento pré-operatório, porém sua precisão ainda é limitada e não possibilita a identificação em tempo real das bordas tumorais [3]. Nesse contexto, destaca-se a cirurgia guiada por fluorescência com 5-aminolevulinato (5-ALA), capaz de evidenciar seletivamente células tumorais [5]. Este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre essa técnica, abordando fundamentos físicos, eficácia clínica, limitações e dados quantitativos publicados.

**Materiais e métodos:** O projeto constitui uma revisão bibliográfica sobre cirurgia guiada por fluorescência com 5-ALA no tratamento de glioblastoma. A coleta de material foi realizada por meio de buscas em plataformas científicas como SciELO e Google Academic, com o foco nos termos "5-ALA", "glioblastoma" e "fluorescência". Os artigos foram selecionados conforme sua relevância para o tema. Durante a pesquisa, foram consultados artigos científicos com ênfase em ensaios clínicos, diretrizes médicas e da ANVISA e artigos de revisão. A abordagem permitiu reunir variadas informações para compor uma revisão abrangente sobre o assunto.



**Resultados e discussões:** O 5-ALA é convertida em protoporfirina IX (PpIX) seletivamente nas células do glioblastoma, emitindo fluorescência vermelha quando exposta em luz azul [3]. Segundo Stummer et al. (2006) essa técnica guia as cirurgias eleva para 65% as ressecções completas (vs 36% convencional) e sobrevida para 41% em 6 meses (vs 21%). Apesar das vantagens, apresenta fotodegradação (36% em 25 min) e equipamentos de alto custo [6], [7].

**Conclusões:** Diante da revisão bibliográfica, o procedimento com 5-ALA proporciona uma maior exatidão na ressecção de glioblastomas, ultrapassando técnicas convencionais [6], [7]. Apesar de enfrentar desafios como custos elevados e a exigência de equipamento especializado, é um avanço significativo na área da neurocirurgia oncológica [5].

**Agradecimento:** Ao Programa de Iniciação a Pesquisa da UFG pelo suporte fundamental para realização desta pesquisa. Ao Instituto de Física da UFG pela estrutura e ambiente acadêmico que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

**Referências:**

- [1] Yamamoto J et al."5-Aminolevulinic acid: Pitfalls of Fluorescence-guided resection for Malignant Gliomas and application for Malignant Glioma therapy"(2020)
- [2] Chaichana KL et al."Identifying the survival subpopulations of patients with newly diagnosed glioblastoma"(2014)
- [3] Hadjipanayis CG et al."What is the surgical benefit of utilizing 5-ALA for fluorescence-guided..."(2015)
- [4] Picart T et al."Optimization of high-grade glioma resection using 5-ALA fluorescence-guided..."(2019)
- [5] Fortes R."O uso da fluorescência 5-ALA como guia na cirurgia de resseção dos Gliomas"(2021) [6] Stepp H & Stummer W."5-ALA in the management of malignant glioma"(2018)
- [7] Stummer W et al."Fluorescence-guided surgery with 5-aminolevulinic acid for resection of malignant glioma"(2006)

## **Caracterização fotofísica da porfirina de paládio PdCl(dppp)TpyP4 e sua aplicação na terapia fotodinâmica in vitro em melanoma murino (B16F10).**

Souza L.<sup>1</sup>, De Moraes E.<sup>1</sup>, Desordi J.<sup>1</sup>, Silva L.<sup>1</sup>, Batista A.<sup>2</sup>, Lacerda E.<sup>1</sup>, Goncalves P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Goiás, <sup>2</sup> Universidade Federal De São Carlos

**Resumo:** A Terapia Fotodinâmica (TFD) é uma abordagem terapêutica que combina um fotossensibilizador (Ps), luz e oxigênio para gerar espécies reativas de oxigênio, como o oxigênio singlete (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>), promovendo estresse oxidativo e morte celular [1]. É aplicada no tratamento de diversas doenças, especialmente o câncer. No Brasil, a TFD foi incorporada ao SUS em 2023 para o tratamento de carcinoma basocelular superficial [2]. Assim, a busca por novos Ps e a realização de testes biológicos são fundamentais para o avanço dessa terapia. Neste trabalho, foi realizada a caracterização fotofísica da porfirina PdCl(dppp)TpyP4 e sua aplicação in vitro em TFD, utilizando células de melanoma murino (B16F10) e queratinócitos humanos (HaCaT), com o objetivo de determinar o IC<sub>50</sub> e o índice de seletividade (IS).

**Materiais e métodos:** O composto foi solubilizado em dimetilsulfóxido (DMSO) e caracterizado pelas técnicas espectroscópicas: UV-Vis, Laser Flash Fotólise e Fosforescência do <sup>1</sup>O<sub>2</sub>. As células foram cultivadas em meio de cultura Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) com 10% de soro fetal bovino e 1% de antibiótico, a 37 °C e 5% de CO<sub>2</sub>. Após 70% de confluência, o composto foi ajustado a 0,5% de DMSO e diluído em diferentes concentrações em meio de cultura. Foram tratadas em microplacas e irradiadas (30 mW/cm<sup>2</sup>) por 15 e 30 min com luz branca (LED box). Após a irradiação, adicionou-se MTT (10%) com incubação por 3h. A absorbância foi lida em um leitor de placas em 595 nm para análise de viabilidade celular [3].

**Resultados e discussões:** O composto apresentou 4 bandas Q (480-700 nm) e uma banda B em 416 nm, com rendimento quântico: tripleto de 0,69 ± 0,02 e <sup>1</sup>O<sub>2</sub> de 64 ± 1. Nos ensaios biológicos, mostrou fototoxicidade eficaz e seletiva, com IC<sub>50</sub> de 0,24 (B16F10) e 0,61 μM (HaCaT) com 15 min (IS=2,53); e IC<sub>50</sub> de 0,057 (B16F10) e 0,110 μM (HaCaT) com 30 min (IS=1,93), indicando maior eficácia e seletividade nas células de melanoma.

**Conclusões:** O alto rendimento quântico de tripleto e de oxigênio singleto confirma o potencial fotodinâmico do composto. Os ensaios in vitro demonstraram elevada fototoxicidade, com maior sensibilidade das células B16F10 em relação às HaCaT. Os testes-controle não indicaram toxicidade nas concentrações avaliadas. A dependência da concentração e tempo de irradiação reforça sua aplicação em TFD contra melanoma.

**Agradecimento:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG).

### **Referências:**

[1] DABROWSKI, J. M.; ARNAUT, L. G. Photodynamic therapy (PDT) of cancer: from local to systemic treatment. Photochemical & Photobiological Sciences, Cambridge, v. 14, p. 1765–1780, 2015.

[2] BRASIL. Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no SUS. Terapia fotodinâmica é incorporada no SUS. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/conitec/pt-br/assuntos/noticias/2023/setembro/terapia-fotodinamica-e-incorporada>-

[3] MOSMANN, T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of Immunological Methods*, Amsterdam, v. 65, p. 55–63, 1983.

## **Análise da influência da tonalidade da pele no aumento de temperatura durante procedimentos com lasers terapêuticos usando fantasmas**

Oliveira J.<sup>1</sup>, Girasol C.<sup>1</sup>, Guirro R.<sup>1</sup>, Bachmann L.<sup>1</sup>, Da Cruz Junior L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Apesar de grande parte da literatura indicar que não há aumento significativo da temperatura nas regiões irradiadas por fotobiomodulação (PBM), alguns estudos indicam que o aumento da temperatura é dependente do comprimento de onda, densidade de energia, tempo de irradiação, espessura, tipo do tecido e da pigmentação da pele, alvo deste estudo[1]. Este trabalho tem como objetivo analisar o aumento de temperatura em simuladores de pele pigmentada (fantomas) que abrangem o range de ITA = +60° (pele muito clara) até ITA = -60° (pele muito escura), equivalentes ao Fitzpatrick I-VI, provenientes de irradiações de lasers terapêuticos de baixa potência.

**Materiais e métodos:** Neste estudo, foram utilizados como amostras, seis fantasmas de pele pigmentadas de resina epóxi (Avipol, Brasil) manufaturados no Laboratório de Fotobiofísica da USP Ribeirão Preto, de fototipos descritos por meio do Ângulo de Tipologia Individual (ITA) [2], sendo 60.9°, 40.7°, 23.7°, - 02.1°, -27.0° e -61.5°, respectivamente. O laser utilizado neste trabalho foi o Twin Flex Evolution (MMOPTICS) para fisioterapia, com as ponteiras de 660 nm e 780 nm, na potência máxima de cada ponteira, 40mW e 70 mW, respectivamente, e fixando o tempo de irradiação em 60 segundos. Para estimar a temperatura superficial da área irradiada, foi utilizada a câmera térmica modelo T450sc (FLIR® Systems, Suécia).

**Resultados e discussões:** O aumento de temperatura se mostrou proporcional à pigmentação das amostras, sendo a dependência da variação de temperatura pelo valor de ITA linear, e o coeficiente de absorção uma tendência logarítmica, que pode ser justificado por [2]. As duas amostras mais escuras na irradiação de 780 nm apresentaram aumento de temperatura superior a 6°C, aquecimento que provoca danos [3] na pele humana.

**Conclusões:** Este estudo demonstrou que aplicações de laser terapêutico de baixa intensidade podem ocasionar efeitos térmicos indesejados em tecidos com maior concentração de melanina. Adicionalmente, a variedade de modelos de aparelhos de laserterapia permitem configurações de parâmetros de irradiação diferentes, e, portanto, analisar o aumento de temperatura em peles mais pigmentadas é um estudo necessário.


**Agradecimento:** Os autores gostariam de agradecer as agências de fomento CNPq, CAPES e FAPESP.

### **Referências:**

[1] Leanna Souza-Barros, Ghaith Dhaidan, Mikko Maunula, et al. Skin color and tissue thickness effects on transmittance, reflectance, and skin temperature when using 635 and 808 nm lasers in low intensity therapeutics Lasers in Surgery and Medicine. 2018;50:291-301

[2] Luismar B. Cruz Junior, Carlos E. Girasol, Pedro S. Coltro, Rinaldo R. J. Guirro, and Luciano Bachmann, "Absorption and reduced scattering coefficient estimation in pigmented human skin tissue by experimental colorimetric fitting," J. Opt. Soc. Am. A

[3] Morgan Michael, Jennifer R Deus, Majbrit Frøsig-Jørgensen, et al. Burn Pain: A Systematic and Critical Review of Epidemiology, Pathophysiology, and Treatment Pain Medicine. 2017;19:708-734.

The background of the image is a grayscale aerial photograph of a city, featuring a prominent cable-stayed bridge on the left side. Overlaid on this background are several large, semi-transparent geometric shapes in red, yellow, and grey, which create a modern, architectural feel. The text is centered within a dark grey rounded rectangle.

**INOVAÇÕES EM  
PRODUTOS,  
PROCESSOS E  
TECNOLOGIAS EM  
SAÚDE**

## Comparative Analysis of Vision Transformer and EfficientNet B7 Models for Oral Lesion Classification Using Transfer Learning

Frazatto A.<sup>1</sup>, Bachmann L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade De Filosofia Ciência E Letras - Usp

**Resumo:** Oral cancer remains a major health concern due to its high morbidity and mortality rates, exacerbated by late diagnosis. Computer-aided diagnosis using deep learning models can significantly aid clinicians by providing timely and accurate classification of oral lesions. However, available datasets frequently contain unlabeled images and require substantial preprocessing, therefore limiting the available data for complete supervised training. This research aims to investigate the effectiveness of different transfer learning strategies using domain-specific versus general datasets to classify oral lesions accurately with a moderately sized dataset of oral lesion images.

**Materiais e métodos:** We utilized a semi-organized dataset comprising oral images collected from clinical patients, originally unlabeled and accompanied occasionally by hospital cards containing patient prontuary numbers. To recover the labels, an OCR-based transcription method was implemented, extracting prontuary numbers from hospital cards. An algorithm subsequently grouped images within 15-minute intervals, associating oral images to their prontuary numbers and diagnosis. Two deep learning architectures were employed: EfficientNet B7 pretrained on skin lesions and Vision Transformer Base pretrained on ImageNet. An Optuna hyperparameter optimization study was performed in order to maximize training accuracy.

**Resultados e discussões:** EfficientNet B7 fine-tuning achieved approximately 80% accuracy, demonstrating superior performance compared to ViT-Base fine-tuning, which yielded around 73% accuracy. These findings suggest that domain-specific pre-training, in this case with skin lesion images, aids model adaptability to oral lesion classification tasks in the absence of enough data to train a model from the beginning.

**Conclusões:** Domain-specific transfer learning outperforms general transfer learning methods in classifying oral lesions even with more capable models such as Vision Transformers. Future work includes exploring larger datasets, self supervised training with unlabeled data, and more models to further enhance diagnostic accuracy with limited data availability.

### Referências:

[1] DOSOVITSKIY, A.; BEYER, L.; KOLESNIKOV, A.; WEISSENBORN, D.; ZHAI, X.; UNTERTHINER, T.; DEGHANI, M.; MINDERER, M.; HEIGOLD, G.; GELLY, S.; USZKOREIT, J.; HOULSBY, N. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. Disponível em: . TAN, M. & LE, Q.. (2019). EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning, in Proceedings of Machine Learning Research 97:6105-6114.

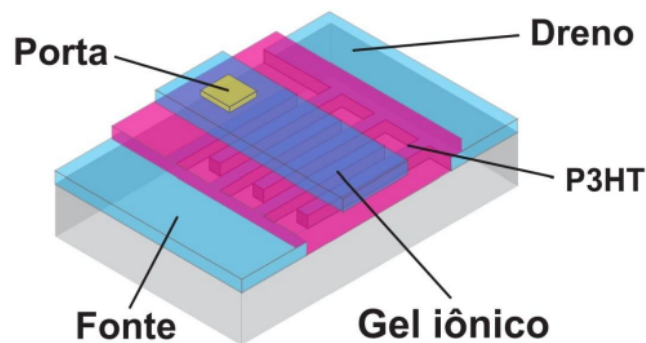
## Investigação de propriedades dosimétricas do gel iônico [EMIM][TFSI] aplicado em transistores de porta eletrolítica

Da Silva G.<sup>1</sup>, Bettega R.<sup>2</sup>, Serbena J.<sup>2</sup>, Seidel K.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Não Tenho, <sup>2</sup> Ufpr, <sup>3</sup> Ufpr

**Resumo:** Os transistores com porta eletrolítica (EGTs) compõe uma classe de dispositivos com vantagens, como funcionar com tensões muito baixas ( $<|1V|$ ) e alta transcondutância, além de possuir em sua estrutura uma camada eletrolítica que pode ser líquida, gel ou sólida, que facilita sua aplicação em sensoriamento. A estrutura de EGTs é composta por três eletrodos (porta, fonte e dreno). O canal semiconductor é depositado entre fonte e dreno. A camada eletrolítica é depositada sobre o semiconductor, que fica em contato com o eletrodo porta. As propriedades decorrentes da interface eletrólito/semicondutor, controlam o fluxo de corrente no canal. Esse trabalho buscou investigar as propriedades dosimétricas de um eletrólito baseado em gel iônico, já caracterizado por meio dessa plataforma de EGT.

**Materiais e métodos:** Foram obtidos eletrodos interdigitados fonte e dreno de ITO (Indium Tin Oxide) e uma folha de ouro para compor o eletrodo porta. Para o canal semiconductor, foi feita uma solução de poli(3-hexiltiofeno-2,5diil) (P3HT) dissolvido em tolueno numa concentração de 7,0 mg/mL. A deposição do filme foi feita por spin-coating. O eletrólito de gel iônico [EMIM][TFSI] foi preparado usando polímero, líquido iônico e acetona, na proporção 1:4:7, respectivamente; os filmes do eletrólito foram feitos sob uma lâmina de vidro, e foram irradiados com fótons de RX de 6 MV, isoladamente do dispositivo, com dose de 40 Gy. A caracterização dos EGTs foi feita através das curvas típicas de saída e de transferência.



**Resultados e discussões:** A exploração de EGTs com gel iônico [EMIM][TFSI] irradiado, inédito na literatura, mostrou-se possível neste estudo. Ao analisar aos pares as curvas de transferências de EGTs com géis irradiados com 0 e 40 Gy, foi observada distinção das curvas em relação ao perfil de histerese, além de pontos mínimos da corrente de fuga muito distintos entre si, sendo estes indícios de haver distinção de sinal.

**Conclusões:** Todas as curvas típicas para esses dispositivos foram obtidas com sucesso para as duas condições do eletrólito não irradiado e irradiado com 40 Gy. Ao fazer uma análise dos pontos mínimos das curvas de corrente de fuga, para ambos os casos, foi observada uma

diferença entre a média de deslocamento, trazendo indícios de sensibilidade à radiação do gel iônico.

**Agradecimento:** A clínica Oncoville, pela irradiação das amostras.

**Referências:**

[1] LUCAS JUNIOR, Hélio José. Dependência da extração de parâmetros de transistores com porta eletrolítica com o tempo de varredura das medidas elétricas. 2023. Dissertação (Mestrado em Física e Astronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

## Aplicação do Algoritmo K-means na Otimização do Planejamento em Radioterapia

Tarrasqui L.<sup>1</sup>, Cantane D.<sup>1</sup>, Castro Júnior R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto De Biociências De Botucatu/Ibb/Unesp

**Resumo:** O Instituto Nacional do Câncer projeta cerca de 704 mil novos casos de câncer no Brasil entre 2023 e 2025. O câncer de próstata é o segundo mais comum entre homens, com 71.730 casos e 16.301 mortes em 2023 [1]. A Radioterapia com Modulação da Intensidade do Feixe (IMRT) é uma técnica precisa que permite altas doses no tumor, poupando tecidos saudáveis [2]. Em regiões críticas, essa precisão é vital, e modelos de otimização são amplamente utilizados para encontrar planejamentos eficientes de radioterapia. Uma técnica em evidência para esses modelos é a programação por metas, em adição com as técnicas de clusterização podem determinar planejamentos otimizados, equilibrando a distribuição de dose e proteção aos órgãos de risco, com definição de prioridades entre objetivos do tratamento [3].

**Materiais e métodos:** Neste estudo são aplicadas técnicas de clusterização nos parâmetros envolvidos no modelo de programação por metas como estratégia central do planejamento radioterapêutico de pacientes com câncer de próstata. Com base em dados clínicos reais, os agrupamentos identificados permitem reconhecer padrões terapêuticos recorrentes, os quais subsidiam a definição de combinações otimizadas de parâmetros, assim como a identificação de qual técnica de programação por metas é mais adequada: Chebyshev ou por pesos ponderados. Essa abordagem possibilita uma entrega efetiva de dose e preservação de órgãos de risco, garantindo a definição de prioridades e um planejamento ótimo para cada paciente.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizar} && (1 - \alpha)(u_1 n_1 + v_2 p_2 + v_3 p_3 + v_4 p_4 + v_5 p_5 + v_6 p_6) + \alpha \lambda \\
 &\text{Sujeito a} && A_T x + n_1 - p_1 = TLB \\
 &&& A_T x + n_2 - p_2 = TUB \\
 &&& A_{C_b} x + n_3 - p_3 = CUB_b \\
 &&& A_{C_f} x + n_4 - p_4 = CUB_f \\
 &&& A_{C_r} x + n_5 - p_5 = CUB_r \\
 &&& A_G x + n_6 - p_6 = GUB \\
 &&& u_1 n_1 \leq \lambda \\
 &&& v_2 p_2 \leq \lambda \\
 &&& v_3 p_3 \leq \lambda \\
 &&& v_4 p_4 \leq \lambda \\
 &&& v_5 p_5 \leq \lambda \\
 &&& v_6 p_6 \leq \lambda \\
 &&& (x, \lambda, n_i, p_i) \geq 0, i = 1, \dots, 6
 \end{aligned}$$

**Resultados e discussões:** A técnica de clusterização K-means definiu agrupamentos específicos com combinações de pesos mais eficientes por órgão, classificados como de risco, saudável e alvo, e ainda indicou que a programação por metas por pesos ponderados foi a abordagem mais adequada, por permitir o ajuste equilibrado das prioridades entre diferentes estruturas.

**Conclusões:** A integração da técnica de clusterização K-means com a programação por metas otimizou o planejamento radioterapêutico em câncer de próstata, permitindo identificar a

melhor técnica a ser utilizada. A abordagem por metas ponderadas apresentou melhor desempenho, equilibrando eficácia da dose e proteção aos órgãos de risco. A proposta é promissora na automação da escolha de parâmetros.

**Agradecimento:** Ao Projeto Universal CNPQ (05716/2021-4) e a bolsa de iniciação científica processo nº 2024/18660-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

**Referências:**

- [1] SANTOS, M. de O. et al. Estimativa de Incidência de Câncer no Brasil, 2023-2025. Revista Brasileira de Cancerologia, [S. l.], v. 69, n. 1, p. e-213700, 2023. DOI: 10.32635/2176-9745.RBC.2023v69n1.3700.
- [2] CANCER RESEARCH UK. Intensity modulated radiotherapy (IMRT). Disponível em: <https://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/treatment/radiotherapy/external/types/intensity-modulated-radiotherapy-imrt>.
- [3] Jones D. and Tamiz M., Practical goal programming, New York: Springer, (2010), p. 179p.

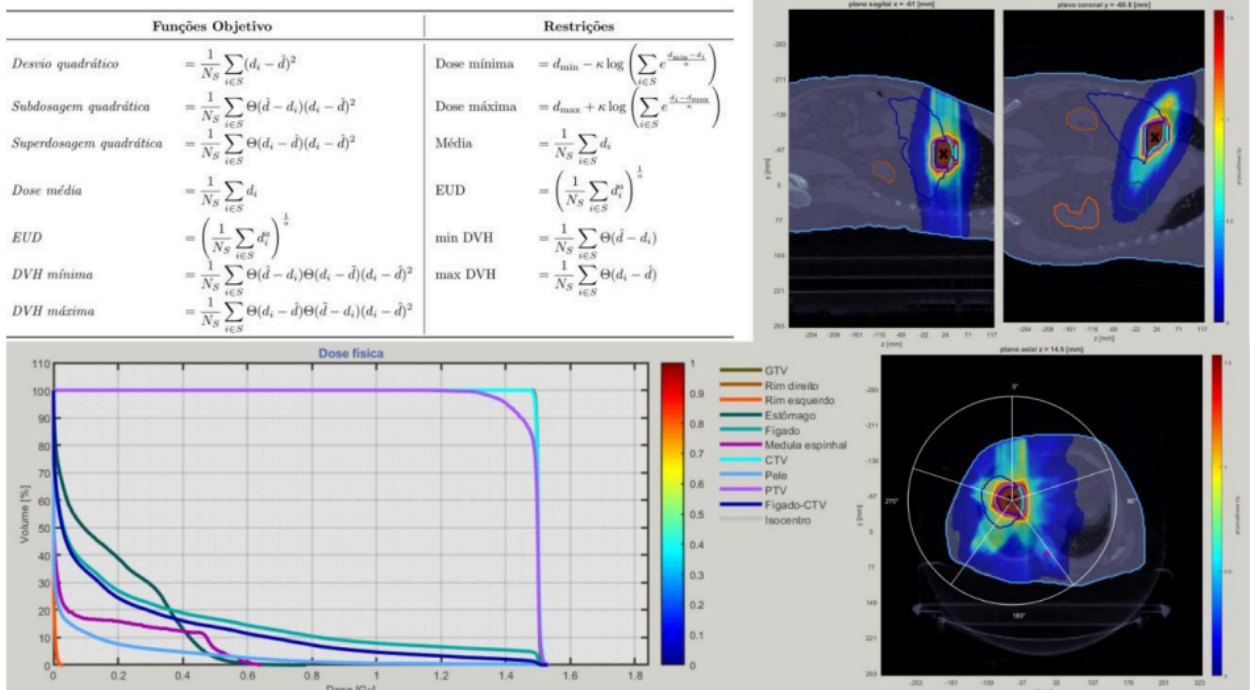
## Instruções do Software matRad para o Planejamento do Tratamento do Câncer por Radiação

Takahashi A.<sup>1</sup>, Castro Júnior R.<sup>1</sup>, Leão D.<sup>1</sup>, Cantane D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto De Biociências De Botucatu/Ibb/Unesp

**Resumo:** Estima-se que, no Brasil, a incidência de câncer de fígado aumentou 98,8% entre 2022 e 2050 [1]. Apesar de tratamentos como teleterapia e braquiterapia, há desafios como resistência tumoral e efeitos tardios. A Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT) é uma técnica que auxilia a eliminar tecidos tumorais com maior precisão, enquanto protege os tecidos saudáveis. O software matRad, criado pelo grupo alemão DKFZ, voltado ao ensino e pesquisa, é um software de código aberto, escrito em MATLAB, que inclui funcionalidades e dados físicos e biológicos para modelar e avaliar o planejamento do tratamento. Neste trabalho é investigado um caso real de câncer de fígado e esboçado um tutorial da aplicação deste software [2].

**Materiais e métodos:** O processo envolveu a instalação do matRad, seguido pela configuração da interface gráfica. Também foram examinadas a documentação técnica do software e da interface gráfica para investigar a funcionalidade do matRad na simulação do planejamento radioterapêutico. Em seguida, um caso real de câncer de fígado foi aplicado em um planejamento com diferentes ângulos de feixes e foram feitas simulações com radiação de fótons. Foram obtidas imagens tomográficas do banco de dados CORT, que foi importado ao software. A distribuição de dose foi analisada pelo histograma dose-volume (DVH) em relação às doses máximas e mínimas nos tecidos tumorais e adjacentes, incluindo os órgãos de risco [2,3].



**Resultados e discussões:** Foram simulados e determinados os parâmetros ângulos de gantry e mesa, tipo de radiação, número de frações e funções objetivo. Os planejamentos gerados foram comparados por meio dos DVH's obtidos com base nas referências da ICRU [4]. A análise do DVH e das imagens tridimensionais evidenciou a precisão da distribuição de dose e o potencial do software na personalização de planos terapêuticos.

**Conclusões:** Apresenta-se um tutorial do software matRad, que se destaca como uma ferramenta robusta para pesquisa sobre planejamento em IMRT, com uma aplicação em um caso de câncer de fígado. O software contribui para desenvolvimento de pesquisas para um tratamento oncológico personalizado mais eficaz e seguro. A integração e aperfeiçoamento de modelos e algoritmos potencializarão a eficiência do software.

**Agradecimento:** Ao projeto Universal CNPq (405716/2021-4) e a bolsa de iniciação científica PIBIC (16141).

### **Referências:**

- [1] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). Cancer tomorrow. Global Cancer Observatory. Lyon: IARC, 2024. Disponível em: [https://gco.iarc.who.int/tomorrow/en/dataviz/bubbles?populations=931\\$single unit=50000](https://gco.iarc.who.int/tomorrow/en/dataviz/bubbles?populations=931$single unit=50000). Acesso em: 25 abril 2025.
- [2] MATRAD - an open source multi-modality radiation treatment planning system. Heidelberg: DKFZ, [202-]. Disponível em: <https://e0404.github.io/matRad/>. Acesso em: 25 março 2025.
- [3] WIESER, H. P. Development of the open-source dose calculation and optimization toolkit matRad. Medical Physics, 2017 Jun;44(6):2556-2568. doi: 10.1002/mp.12251. Epub 2017 May 12. PMID: 28370020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mp.12251>.
- [4] ICRU. Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT). ICRU Report 83. J. ICRU, Oxford University Press, Oxford, UK, v. 10, n. 1, 2010. viii, 8, 19.

## Desenvolvimento de simuladores antropomórficos de tórax e abdome para aplicações em diagnóstico por imagem com raios X

Marques W.<sup>1</sup>, Costa P.<sup>2</sup>, Sawamura M.<sup>3</sup>, Rocha R.<sup>4</sup>, Boiset G.<sup>4</sup>, Ortega C.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo, <sup>2</sup> Instituto De Física Da Usp, <sup>3</sup> Faculdade De Medicina Da Usp, <sup>4</sup> Ifusp, <sup>5</sup> Hospital Das Clínicas Da Faculdade De Medicina Da Universidade De São Paulo

**Resumo:** O avanço das tecnologias de diagnóstico por imagem, em especial da Tomografia Computadorizada (TC), exige o desenvolvimento de objetos simuladores (phantoms) cada vez mais fiéis à anatomia humana, tanto em aspecto morfológico quanto em comportamento radiológico<sup>1</sup>. Nesse cenário, a manufatura aditiva surge como uma alternativa versátil e acessível para a produção de modelos físicos personalizados. Este trabalho teve como objetivo desenvolver phantoms antropomórficos de rim e pulmão, utilizando materiais radiologicamente equivalentes a tecido e impressão 3D, com foco em aplicações clínicas no diagnóstico de litíase renal e nódulos pulmonares por meio da TC.

**Materiais e métodos:** Imagens de TC no formato DICOM foram utilizadas no desenvolvimento dos phantoms de rim, pulmão e nódulos pulmonares (CAAE: 27912619.6.0000.0068). O software 3D Slicer<sup>2</sup> foi empregado para segmentar as imagens e gerar arquivos STL para impressão. A escolha dos materiais para o desenvolvimento dos phantoms foi baseada em seus coeficientes de atenuação linear ( $\mu(E)$ )<sup>3</sup> e nos valores de número CT. Esses coeficientes foram comparados aos dados do NIST XCOM<sup>4</sup> com base nas composições teciduais do relatório ICRU-44<sup>5</sup>. Radiologistas experientes avaliaram os phantoms quanto ao realismo anatômico e à semelhança radiológica com tecidos humanos.

### MATERIAL COMPLEMENTAR:

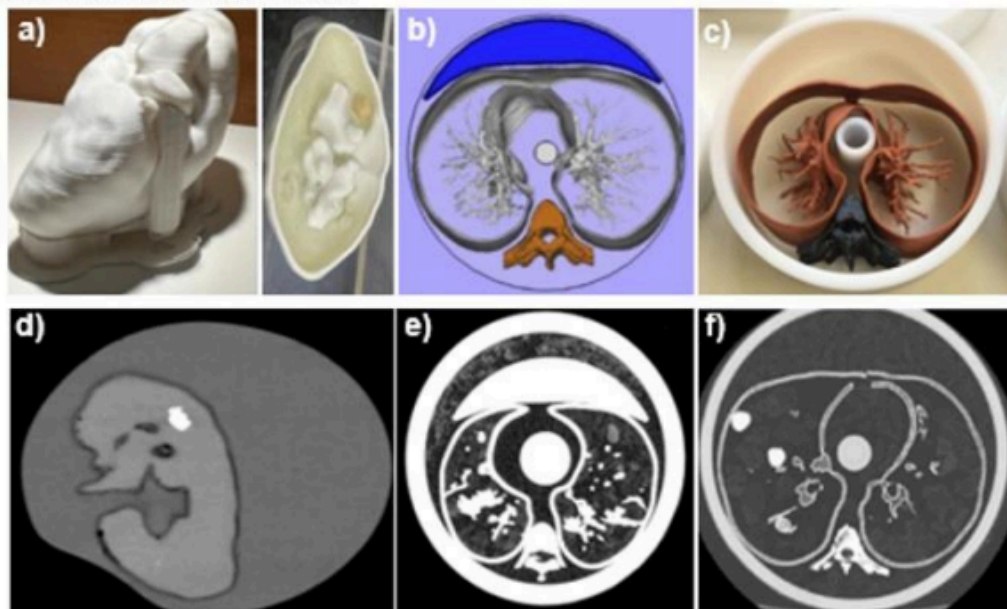


Figura 1: Protótipos de *phantoms* de rim (a) e pulmão com inserção de nódulos e com peças semicirculares de tecido mole (b), e sem peça de tecido mole (c). As tomografias computadorizadas dos *phantoms* renal (d) e pulmonar (e) e (f) são apresentadas.

**Resultados e discussões:** O valor médio de número CT obtido da resina epóxi foi  $59 \pm 10$  HU, enquanto o valor de referência para o rim é cerca de 42 HU. A diferença percentual dos  $\mu(E)$  entre a resina epóxi e o tecido alvo foi de 2%. Imagens tomográficas do phantom de pulmão

com nódulos sintéticos foram avaliados satisfatoriamente com base no realismo visual e forma anatômica.

**Conclusões:** O estudo mostra que a resina epóxi pura é um material adequado para mimetizar o tecido de órgãos da região abdominal. As imagens radiológicas do protótipo de rim e do pulmão foram positivamente avaliadas por dois médicos radiologistas, os quais destacaram a alta similaridade com imagens reais, indicando o potencial de uso desses phantoms em aplicações diagnósticas.

**Agradecimento:** Prezado autor, Agradecemos por enviar seu trabalho para o XXIX Congresso Brasileiro de Física Médica. Após avaliação por pares, é com grande satisfação que informamos que o trabalho foi aceito. A forma de apresentação será informada no dia 21/07. Os comentários recebidos estão abaixo e são sugestões para a apresentação do trabalho no congresso. || Os autores desenvolveram phantoms que mimetizam a geometria e as características radiológicas do rim e pulmão com nódulos pulmonares, explorando também o potencial da resina epóxi como material base. Abaixo segue algumas pequenas sugestões ao trabalho: (i) geralmente, na literatura sobre de ultrassonografia, o termo "simulador" é empregado quando de fato é uma simulação, como FEM, da formação da imagem. Quando se tem uma imagem real de um objeto que "imita" o tecido humano esse objeto é referido como "mimetizador" e suas componentes como "materiais mimetizadores". Se puder, por favor, revisar a terminologia na literatura de raios-X e tomografia computacional para ver se o mesmo conceito se aplica. (ii) Uma análise quantitativa pode deixar a argumentação mais robusta: uma estudo quanto a morfologia (Structural similarity index, por exemplo) e contraste da imagem do mimetizador em relação a imagem real usada para a construção do phantom pode trazer informações valiosas. || Comissão Científica do XXIX CBFM

### Referências:

- [1] Cavaliere C, Baldi D, Brancato V, Aiello M, Salvatore M. A customized anthropomorphic 3D-printed phantom to reproducibility assessment in computed tomography: an oncological case study. *Front Oncol.* 2023;13:1123796. Published 2023 Aug 28. doi:10.3389/fonc.2023.1123796
- [2] Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging.* 2012;30(9):1323-1341. doi:10.1016/j.mri.2012.05.001
- [3] Boiset G, Rosinelli R, Freire G, Costa P, et al. X-ray spectrometry applied for determination of linear attenuation coefficient of polymer-based samples as radiologically tissue-equivalent materials. *Braz. J. Rad. Sci.* 2023;11(1A (Suppl.):01-14. doi:10.15392/2319-0612.2023.2166 4. Hubbell J, Seltzer S. NIST standard reference.

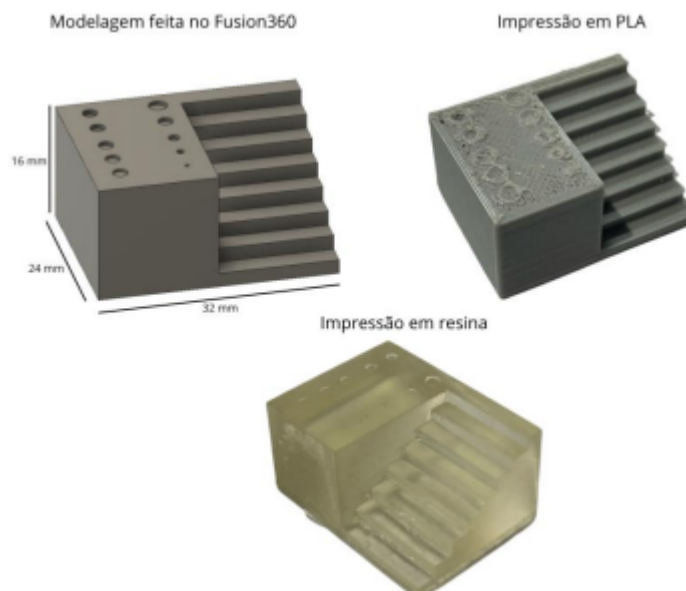
## Projeto impresso em 3D para avaliação da qualidade da imagem em radiologia digital intra oral

Guimaraes S.<sup>1</sup>, Da Silva M.<sup>2</sup>, De Assunção M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sthefany Silva Guimaraes, <sup>2</sup> If/Ufg, <sup>3</sup> Unifesp

**Resumo:** As radiografias dentárias são úteis no diagnóstico e tratamento de doenças bucais, como cárie, doença periodontal, fraturas radiculares e patologias orais [2]. Com o avanço dos sistemas de aquisição de imagens, o processo em que utiliza-se filmes convencionais ficou obsoleto, sendo substituído gradualmente por sistemas digitais [3]. Para garantir a segurança do paciente e evitar doses excessivas de radiação, é fundamental que os sistemas de radiodiagnóstico odontológico digitais implementem programas de controle de qualidade, conforme recomendado por diretrizes da ANVISA, AAPM e AAOMR [4,5]. Este estudo propõe o desenvolvimento de um objeto simulador de teste físico, fabricado por impressão 3D, para avaliar a qualidade de imagens radiográficas intraorais digitais, alinhado a essas normas.

**Materiais e métodos:** O protótipo modelado no Fusion360 -dimensões 24x32x16mm- projetadas para simular interação da radiação com estruturas dentárias e avaliar a distribuição de dose. Fabricado em impressora 3D com PLA ( $\rho=1,25 \text{ g/cm}^3$ ) e resina ( $\rho=1,14 \text{ g/cm}^3$ ) para maior precisão. A geometria feita com base nas recomendações da AAPM, otimizando a análise da distribuição de dose investigada em testes. Para a resolução espacial: duas linhas com estruturas na forma de poços sendo uma com diâmetro variável e iguais profundidades e a outra com mesmo diâmetro e diferentes profundidades, variando de 2,5-0,5mm e 0,7-0,3mm, respectivamente. Para avaliar o contraste, foi anexado um filtro step wedge, com alturas variando de 3,0- 2,0mm.



**Resultados e discussões:** A versão em PLA teve precisão visual em dimensões e estruturas. A resina mostrou maior fidelidade. Teste em Goiânia (raio-X, 50 kVp, 10 mAs) confirmou, via ImageJ, poços e filtro step wedge adequados para resolução espacial e contraste. Análise quantitativa está pendente. Geometria, conforme AAPM, será avaliada para dose. Resina será

comparada a tecidos reais. A função da geometria será analisada na versão final do trabalho, para otimizar a distribuição de dose.

**Conclusões:** Protótipo desenvolvido com sucesso, impresso em PLA e resina, reproduziu estruturas para avaliar resolução espacial e contraste, conforme AAPM. Teste no equipamento de raios-x validou sua aplicabilidade. Análise quantitativa e de dose está pendente. Próximos passos incluem usinagem em acrílico, mais próximo de tecidos dentários, e testes em clínicas parceiras, seguindo normas da ANVISA, AAPM e AAOMR. O protótipo baseia-se em fundamentos de física radiológica, utilizando materiais acessíveis para avaliar parâmetros como resolução, contraste, ruído e dose. Ele alinha-se às diretrizes da ANVISA, AAPM e AAOMR, oferecendo uma solução prática e econômica para o controle de qualidade em radiologia odontológica, com potencial para otimizações futuras, como a inclusão de testes de resolução espacial.

#### **Referências:**

- [1] ABFM. Atribuições do Especialista. Disponível em: <https://www.abfm.org.br/paginas/atribuicoes-do-especialista>.
- [2] Udupa, H; MAH, P.; DOVE, S. B.; MCDAVID, W D. Evaluation of image quality parameters of representative intraoral digital radiographic systems. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 2013;116:774-783. [
- 3] HAITER NETO, F.; MELO, D. P. de. Radiografia Digital. Revista da Associação Brasileira de Radiologia Odontológica, Cascavel, v. 11, n. 1, p. 5-17, jan./jun.2010.
- [4] TRAVASSOS, P. C. B. et al. Objeto de teste de baixo custo para radiologia computadorizada. Revista Brasileira de Física Médica, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 61-64, 2012.
- [5] SOARES, J. C. de A. C. R. Princípios de Física em Radiodiagnóstico. 2. ed. São Paulo: Colégio Brasileiro de Radiologia. 2008

## Estudo computacional do uso de feixes de 50 MeV na radioterapia VHEE

Flach P.<sup>1</sup>, Bonatto A.<sup>2</sup>, Brum F.<sup>2</sup>, Viana M.<sup>3</sup>, Delsantos G., Accorsi L.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pedro Flach, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre (Ufcspa), <sup>3</sup> Pessoa Física, <sup>4</sup> Ufcspa

**Resumo:** Na protonterapia, o pico de Bragg permite tratar tumores profundos com máxima dose no alvo e mínima nos tecidos sadios. Feixes focalizados de elétrons de altas energias (VHEE), entre 50 e 250 MeV, apresentam distribuição de dose semelhante, com menor sensibilidade a heterogeneidades e compatibilidade com o modelo FLASH. Apesar dos desafios tecnológicos para sua implementação clínica, sua investigação é promissora. Partindo do estudo de Whitmore et al. (2021), que avaliou feixes VHEE de 250 MeV, este trabalho propõe estudar a distribuição de dose de feixes VHEE com 50 MeV, empregando focalização por quadrupolos magnéticos. O objetivo é analisar sua eficácia para atingir uma máxima profundidade, que ainda maximize a dose no tecido-alvo e minimizando-a em estruturas sadias.

**Materiais e métodos:** Foram realizadas simulações de Monte Carlo no TOPAS de um feixe VHEE com 50 MeV, focalizado assimetricamente por quadrupolos magnéticos (Whitmore et al. 2021), incidindo em um fantoma cúbico de água com (30x30x30 cm<sup>3</sup>), com detectores distribuídos em 101x101x101 voxels. No pósprocessamento, foi criado um script em Python que analisa os arquivos de saída e gera perfis de deposição de dose (PDP). Simulações com feixe não focalizado avaliam sua capacidade de penetração no fantoma. Já as com focalização buscam identificar a maior profundidade com pico de dose bem definido. Por fim, diferentes focalizações são combinadas para formar um platô de dose, o SOEP.

**Resultados e discussões:** As simulações buscam configurações de focalização de um feixe de VHEE de 50 MeV, via quadrupolos magnéticos, que produzam um pico localizado de deposição de dose na maior profundidade possível, além de combinações que produzam um SOEP em torno dessa profundidade. Esses resultados permitirão determinar que tipos de tumores poderiam ser tratados com feixes VHEE de 50 MeV.

**Conclusões:** Os resultados possibilitarão a avaliação da viabilidade do uso de feixes VHEE de menor energia no tratamento de tumores profundos e determinar a profundidade máxima de eficácia bem como a possibilidade de focalização via quadrupolos magnéticos. Caso a aplicação em grandes profundidades se mostre inviável, serão discutidos os fatores que limitam sua efetividade.

### Referências:

- [1] WHITMORE, L. et al. Focused VHEE (very high energy electron) beams and dose delivery for radiotherapy applications. *Sci Rep*, v. 11, n. 1403, 2021. J Perl, J Shin, J Schümann, B Faddegon, H Paganetti. "TOPAS: an innovative proton Monte Carlo platform for research and clinical applications." *Med Phys*. 2012 Nov; 39(11):6818-37. View in: PubMed
- [2] B Faddegon, J Ramos-Méndez, J Schümann, A McNamara, J Shin, J Perl, H Paganetti. "The TOPAS Tool for Particle Simulation, a Monte Carlo Simulation Tool for Physics, Biology and Clinical Research." *Phys Med*. 2020 Apr 02; 72:114-121. PMID: 32247964. PMCID: PMC7192305

## Desenvolvimento de uma ferramenta para garantia da qualidade da imagem em radiologia odontológica intraoral

Dias R.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>2</sup>, De Assunção M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Unifesp

**Resumo:** A radiografia intraoral é essencial no diagnóstico odontológico por seu alto nível de detalhamento, apesar da baixa dose de radiação. Ainda assim, mesmo pequenas exposições oferecem riscos à saúde. Um problema comum é a repetição de exames, que aumenta a exposição do paciente e reduz a eficiência clínica. Segundo a ANVISA, a avaliação da qualidade da imagem é crucial, devendo ser feita com um simulador que verifique resolução e contraste. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um simulador para controle de qualidade, visando otimizar processos e melhorar os diagnósticos

**Materiais e métodos:** O dispositivo de teste foi criado no software livre FreeCAD para impressão 3D, com padrão de barras contendo pares de linhas em tamanhos específicos para avaliar a resolução espacial, fator essencial na qualidade da imagem. Uma placa de epóxi com barras de cobre, material radiopaco, foi usada para testar resoluções acima de 2,5 pl/mm. A resolução foi quantificada por meio da MTF (Modulation Transfer Function), que expressa a fidelidade do sistema no domínio da frequência, utilizando o plugin Software no ImageJ. Os testes foram feitos no equipamento Tube/HV Generator Housing Assembly Focus da Faculdade de Odontologia da UFG.

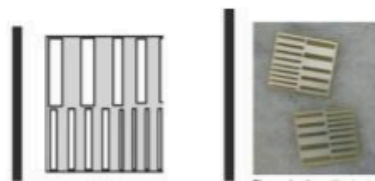


figura 1 : Dispositivo teste  
Fonte: Dias

figura 2: Dispositivo teste impresso  
Fonte: Dias

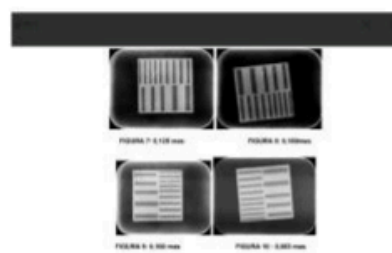


Figura 3 : Imagem do dispositivo teste equipamento Tube/HV Generator Housing Assembly Focus.  
Fonte: Dias

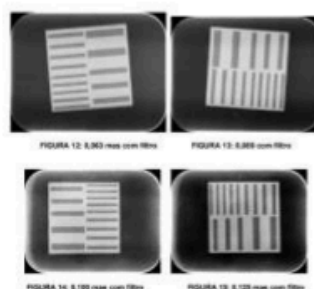


Figura 4: Imagem tratada no software ImageJ, com filtro

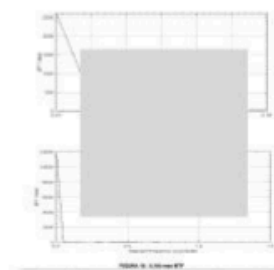


Figura 5: curva de MTF referentes às correntes 0,080mas e 0,0100 mas

**Resultados e discussões:** Foi construído um protótipo 8 pl/mm (20x20 mm) com pares de linhas de 5,5 a 1,32 mm. Imagens com 0,063 e 0,125 mAs mostraram maior contraste em correntes menores. As bordas foram bem definidas, independente do tempo de exposição. Com filtro mediana e MTF no ImageJ, observou-se maior fidelidade nas curvas mais estreitas

**Conclusões:** A análise foi satisfatória, validando o protótipo no controle de qualidade. O equipamento calibrado garantiu precisão e boa qualidade de imagem. A MTF foi essencial para avaliar a fidelidade, pois curvas mais estreitas indicam maior nitidez, impactando diretamente na detecção de detalhes e no diagnóstico clínico.

**Agradecimento:** Primeiro, agradeço a Deus, que me deu força nos dias difíceis e alegria nas conquistas. Ao meu orientador, Dr. Jonas Oliveira, por toda paciência, apoio e por acreditar no meu potencial. E à minha mãe, que é meu porto seguro, meu exemplo e meu maior incentivo.

#### **Referências:**

- [1] IBIKUNLE, S. B., OGUNTADE, O. F., UWADIAE, I. B., OKACHE, B. O. Dosimetric Characterization of Radiation Risks to Eyes, Nose, Parotid Gland and Thyroid Gland in Dental Intra-Oral Radiography. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4043741> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4043741> . Preprint article, accessed in 05.20.2022.
- [2] ANVISA - INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 95, DE 27 DE MAIO DE 2021.
- [3] MIGUEL, C., SAICLA BARROS, F. S., ROCHA, A. S. P. S., JÚNIOR, J. G. T., GODOI, W. C. Avaliação da dose ocupacional em radiografia intraoral. BRAZILIAN JOURNAL OF RADIATION SCIENCES, 03-2A, pp. 01-07, 2016.
- [4] ALBAHITI, M. H., ABUHAIMED, T. S., AL-NOMAN, B., HASHIM, R. Analysis of endodontic radiographic imaging repeat rate: A cross- sectional study in an undergraduate clinical setting. Saudi Endodontic Journal, vol. 12, no 12, pp. 204 - 209, 2022.

## Fabricação Digital de Utilitários para o Setor de Medicina Nuclear

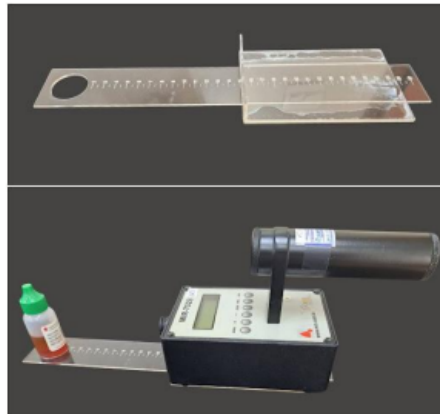
Coelho G.<sup>1</sup>, Sacramento R.<sup>2</sup>, Mendes J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Do Rio De Janeiro, <sup>2</sup> If - Ufrj

**Resumo:** A rotina de testes obrigatórios de controle de qualidade em setores de Medicina Nuclear exige precisão e reprodutibilidade. Nesse contexto, os profissionais de física médica enfrentam desafios com a elevada demanda de testes diários e a escassez de ferramentas específicas, muitas vezes inacessíveis devido ao alto custo. Como consequência, recorre-se a soluções improvisadas, comprometendo a padronização e a acurácia dos resultados. Este trabalho propõe a utilização de técnicas de fabricação digital para desenvolver, em parceria com o Instituto Nacional de Câncer (INCA) e o IFFabLab (Laboratório de Fabricação Digital do Instituto de Física da UFRJ), um utilitário de baixo custo destinado ao teste de reprodutibilidade diária em monitores de taxa de dose e contaminação de superfície.

**Materiais e métodos:** O dispositivo consiste em um suporte deslizante de acrílico acoplado a uma régua calibrada, que posiciona o Geiger-Müller para medições precisas de taxa de dose em relação a uma fonte selada fixa. A régua inclui um orifício central para encaixe da fonte e gradações de 2 a 30 cm, permitindo posicionamento rápido e reprodutível do detector. Para validação mecânica inicial, utilizou-se MDF, substituído posteriormente por acrílico — material adequado às normas da CNEN<sup>1</sup> devido à sua radiolucidez, resistência e facilidade de descontaminação. A modelagem 3D e fabricação por corte a laser garantiram precisão dimensional e adaptabilidade às demandas do setor.

**Resultados e discussões:** O dispositivo reduziu o tempo de preparo dos testes em relação aos métodos manuais, mantendo os resultados dentro dos limites regulamentares e compatíveis com os do setor. Assim, cumpre o objetivo de criar soluções acessíveis para otimizar testes obrigatórios em medicina nuclear, equilibrando precisão, ergonomia e conformidade, mesmo com recursos limitados.



**Conclusões:** O desenvolvimento do protótipo mostrou-se viável para desenvolver soluções personalizadas e de baixo custo na Medicina Nuclear, garantindo maior precisão, reprodutibilidade, conformidade normativa e segurança em procedimentos clínicos e laboratoriais. Futuramente, a abordagem adotada pode ser expandida para outras demandas do setor, promovendo inovação acessível.

### Referências:

[1] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Resolução CNEN 159/13, de 17 de dezembro de 2013. . CNEN NN 3.05 Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear. Diário oficial de 17/12/2013., , 2013, p. 26. Disponível em: . Acesso em: 18 abr 2025.

## Padronização do Envio de Amostras: Procedimento Operacional Padrão e o Papel da Empresa Júnior SPIN

Sousa N.<sup>1</sup>, Tarrasqui L.<sup>2</sup>, Perondini E.<sup>3</sup>, Alves A.<sup>4</sup>, Hormaza J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto De Biociências De Botucatu(Ibb)-Unesp, <sup>2</sup> Lorena Tarrasqui, <sup>3</sup> Unesp, <sup>4</sup> Instituto De Biociências De Botucatu – Unesp

**Resumo:** A Empresa Júnior Solutions in Physics and Innovation (SPIN), fundada em 2024, tem como objetivo proporcionar experiências práticas aos estudantes do curso de Física Médica da UnespBotucatu. Atua na extensão universitária com foco na divulgação científica, organização de eventos acadêmicos, participação em congressos e feiras de profissões. Neste contexto, este trabalho apresenta a criação e implementação de um Procedimento Operacional Padrão (POP) para o envio de amostras ao Centro de Isótopos Estáveis (CIE)(1). A padronização de processos laboratoriais é essencial para garantir a qualidade dos dados, a rastreabilidade das amostras e a confiabilidade dos resultados. A SPIN foi responsável pela elaboração e execução do POP, priorizando a eficiência, a segurança e a conformidade.

**Materiais e métodos:** A elaboração do POP foi realizada em colaboração entre a SPIN e o CIE. Foram conduzidas reuniões estruturadas com representantes do CIE para mapear os fluxos de trabalho, identificar pontos críticos e não conformidades no envio de amostras. As discussões abrangeram da solicitação de análise à entrega dos resultados, com ênfase em embalagem, rotulagem e documentação. A SPIN estruturou o POP com critérios claros de preparo e envio, utilizando ferramentas de diagramação para garantir organização e compreensão. O documento inclui diretrizes de armazenamento e transporte em conformidade com normas de segurança e foi validado pelo CIE para assegurar eficácia e aderência à rotina do centro.



### GUIA RÁPIDO PARA ENVIO DE AMOSTRAS

CIE / UNESP

#### ETAPAS DO PROCESSO

- 1. Solicitação Aprovada
- 2. Preparar e rotular amostras
- 3. Preencher a Tabela\*
- 4. Embalar adequadamente
- 5. Enviar com documentação
- 6. Informar o envio ao CIE

#### COMO PREPARAR AS AMOSTRAS

**! Identificação obrigatória**

- ID Cliente (lateral)
- Número sequencial (tampa)
- Enumeração das amostras para cada tipo de material.



**! Evite contaminação cruzada**

- Armazenar em ambiente adequado
- Preferência: Eppendorf 2 mL
- Não utilizar papel, fita ou sacos

**! Amostras de Água:** Frasco de vidro ou de plástico bem vedado.

**! Amostra Sem Preparo:** Tubo Falcon ou Coletor Universal.

#### EMBALAGEM E TRANSPORTE

- Caixa resistente (evite sacolas)
- Documentos impressos: formulário + tabela
- Etiquetas: "Fragil" e "Material Biológico"
- ! Notificação ao CIE
- Envio com rastreamento obrigatório**

#### ENDEREÇO PARA ENVIO

- Centro de Isótopos Estáveis (CIE)
- UNESP – Botucatu
- Rua Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250
- CEP 18618-689 – Botucatu/SP

#### CHECKLIST FINAL

Certifique-se de que os seguintes passos foram realizados corretamente

- Amostras identificadas corretamente
- Formulário e tabela incluídos
- Embalagem correta
- Notificação ao CIE enviada

#### CONTATO

- cie.ibb@unesp.br
- (14) 3880-0692

**PARA MAIS INFORMAÇÕES ACESSE O QR CODE AO LADO**



**Resultados e discussões:** A adoção do POP, com suporte ativo da SPIN, aprimorou o envio de amostras, reduzindo não conformidades e necessidade de ajustes, otimizando o fluxo de trabalho do CIE. A padronização dos procedimentos, da embalagem à documentação, facilitou a identificação e o manuseio das amostras (2). A colaboração entre CIE e SPIN fortaleceu a comunicação e aumentou a eficiência do processo de envio e análise.

**Conclusões:** : O POP do CIE, desenvolvido em parceria com a SPIN, otimizou o processo de envio de amostras e fortaleceu a integração entre a universidade e a sociedade. A SPIN demonstrou competência na elaboração de documentos técnicos com rigor científico e, nos próximos projetos, planeja aplicar ferramentas em benefício de outros centros e atuar com consultoria em Física Médica.

**Agradecimento:** Agradeço à equipe da SPIN e ao CIE pelo apoio e colaboração que tornaram este projeto possível. O empenho, a disponibilidade e o suporte técnico fornecidos foram fundamentais para o desenvolvimento e a execução bem-sucedida deste trabalho.

**Referências:**

[1] Instituto de Biociências - Câmpus de Botucatu [Internet]. [citado 12 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.ibb.unesp.br/#!/cie> 2. Paulo S. REGRAS GERAIS DE ESTILO E FORMATAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS.

## Utilização da assinatura isotópica de $^{13}\text{C}$ , $^2\text{H}$ e $^{18}\text{O}$ em álcool de cana-de-açúcar para identificar adulterações.

Perin P.<sup>1</sup>, Almeida V.<sup>2</sup>, Gimenes S.<sup>3</sup>, Denadai J.<sup>3</sup>, Costa V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Não Consta, <sup>2</sup> Fmb Unesp Botucatu, <sup>3</sup> Unesp

**Resumo:** Adulteração é a adição de substâncias anormais a um produto para reduzir custos, o que pode gerar efeito tóxico no produto final. Devido à alta produção no Brasil, os coprodutos da cana são desvalorizados, tornando-os possíveis adulterantes, como em vinagres de maçã. Esses coprodutos também podem ser adulterados, como no etanol, onde a adição de metanol, substância tóxica, é utilizada para aumentar o teor alcoólico de bebidas, sanitizantes e solventes. Durante a pandemia de COVID-19, sua presença em sanitizantes causou centenas de mortes e casos de cegueira nos EUA e Irã. A análise isotópica de carbono, hidrogênio e oxigênio pode indicar alterações na composição e rastrear a origem de produtos. Este trabalho avalia a eficácia dessa técnica para testes de autenticidade.

**Materiais e métodos:** Foram analisadas 26 amostras de etanol, sendo 20 de cana de açúcar e 6 de cereais, com diferentes concentrações. Em sua preparação, todas as amostras passaram por um processo de destilação, foram alocadas em frascos de 2 mL e posteriormente analisadas em um sistema de espectrometria de massa de razões isotópicas (IRMS). Para a análise da razão isotópica de carbono, foi utilizado o IRMS modelo FLASH 2000 - DELTA V, com as amostras sendo dispostas em cápsulas de estanho. Para a análise da razão isotópica de oxigênio e hidrogênio, foi utilizado o IRMS modelo FLASH HT - DELTA V, com as amostras sendo analisadas diretamente dos frascos. Os valores obtidos foram expressos em notação delta ( $\delta$ ).

**Resultados e discussões:** Foi possível identificar que os álcoois cana apresentaram um valor mais positivo de carbono em relação aos de cereal, com uma média geral de  $-13,25\%$ . Para o hidrogênio, quanto menor a porcentagem de álcool, mais positivo o valor, enquanto para o oxigênio, quanto menor a porcentagem de álcool, mais negativo o valor. Ambos os comportamentos foram observados para os álcoois de cana e de cereais.

Tabela - Média dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^2\text{H}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em ‰ encontrados a partir da análise das amostras

| Matriz         | Amostra                     | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | $\delta^2\text{H}$ (‰) | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) |
|----------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| Cana-de-açúcar | Álcool 100% (P.A)           | -13,36                    | -214,6                 | 20,51                     |
| Cana-de-açúcar | Combustível Puro (96%)      | -12,76                    | -207,1                 | 11,53                     |
| Cana-de-açúcar | Combustível Destilado (96%) | -12,71                    | -92,1                  | -3,36                     |
| Cana-de-açúcar | Álcool 75% (Mistura)        | -13,12                    | -167,0                 | 9,32                      |
| Cana-de-açúcar | Álcool 70% (Comercial)      | -13,40                    | -166,3                 | 4,85                      |
| Cana-de-açúcar | Álcool 50% (Mistura)        | -13,43                    | -119,1                 | 1,96                      |
| Cana-de-açúcar | Álcool 46% (Comercial)      | -13,29                    | -139,2                 | -1,74                     |
| Cana-de-açúcar | Álcool 25% (Mistura)        | -13,21                    | -78,0                  | -2,27                     |
| Cereal         | Álcool 94% (Comercial)      | -28,40                    | -248,7                 | 11,70                     |

**Conclusões:** A partir dos resultados, pode-se concluir que a assinatura isotópica de  $^{13}\text{C}$ ,  $^2\text{H}$  e  $^{18}\text{O}$  pode ser utilizada para testes de autenticidade em álcool de cana, tanto para a análise de matéria prima quanto para a concentração de álcool, uma vez que os valores de carbono divergiram entre a cana e demais matrizes e os valores de oxigênio e hidrogênio mostraram correlação com o percentual de álcool.

**Agradecimento:** À PIBIC/CNPq pela concessão da bolsa (2024/2025) para o desenvolvimento da pesquisa e à toda a equipe do Centro de Isótopos Estáveis.

**Referências:**

- [1] INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. Food Authenticity Testing Part 1: The Role of Analysis. London: IFST, October 2024.
- [2] Brasil. Ministério da Agricultura e Pecuária. "MAPA faz ação de combate à fraude em vinagres de maçã em três estados." Governo do Brasil, 30 mar. 2025.
- [3] MÉDECINS SANS FRONTIÈRES. Methanol Poisoning. [S.l.]: Médecins Sans Frontières, atualizado Mar. 2025.
- [4] GÜNTNER, Andreas T.; MAGRO, Leandro; VAN DEN BROEK, Jan; PRATSINIS, Sotiris E. Detecting methanol in hand sanitizers. iScience, v. 24, n. 2, p. 102050, 12 jan. 2021.
- [5] THERMO FISHER SCIENTIFIC. IRMS Food & Beverage Integrity Applications: Isotope Fingerprints in Food Integrity Applications. Brochure BR-30566. [S.l.]: Thermo Fisher Scientific, 2018

## Phantom brônquico para treinamento de broncoscopia guiada por ultrassom

Luz G.<sup>1</sup>, Martins H.<sup>2</sup>, Machado G.<sup>2</sup>, Granja A.<sup>3</sup>, Borges R.<sup>3</sup>, Antunes P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Gabriela Gianini Luz, <sup>2</sup> Faculdade Israelita De Ciências Da Saúde Albert Einstein, <sup>3</sup> Hosp Albert Einstein, <sup>4</sup> Hospital Albert Einstein

**Resumo:** A Ultrassonografia Endobrônquica (EBUS) é essencial no diagnóstico e tratamento de doenças pulmonares, mas exige treinamento rigoroso devido à anatomia complexa e ao caráter invasivo (JACOMELLI, 2020). Modelos atuais de treinamento não reproduzem fielmente a anatomia nem permitem práticas completas de punção (SCHNEIDER et al., 2024). Além de que, em alguns locais, os médicos aperfeiçoam sua técnica diretamente em pacientes reais (GONÇALVES, 2022). A dificuldade de acesso a modelos de simulação dificulta a capacitação de profissionais e aumenta o risco de complicações (JACOMELLI, 2020). Este projeto propõe o desenvolvimento de um phantom sintético que simula com precisão a anatomia brônquica e suas propriedades ultrassônicas, otimizando o treinamento e reduzindo falhas.

**Materiais e métodos:** A manufatura dos modelos foi realizada na impressora 3D Creality K2, utilizando três materiais distintos: TPU, escolhido por sua flexibilidade (Figura A); ABS, por ser comumente utilizado em manufatura aditiva (Figura B); e resina, devido à sua alta precisão de impressão (Figura C). Para assegurar a fidelidade anatômica, utilizou-se o software Creality Print, ajustando parâmetros específicos como velocidade de impressão (20 mm/s para TPU e 300 mm/s para ABS) e preenchimento interno (0%). A fidelidade de forma foi verificada pela comparação entre os valores teóricos do software e os experimentais, obtidos com micrômetro ( $\sigma = 0,005$  mm). Os resultados estão apresentados na Tabela a seguir.

**Resultados e discussões:** O modelo em TPU é o único perfurável da Tabela, com 100% de fidelidade de forma, permitindo simulação tátil e inserção de cateter. O TPU possui propriedades próximas às do tecido brônquico (dureza 95A, módulo de elasticidade 150 MPa, velocidade de propagação sonora 1650–1730 m/s, impedância acústica 1,9–2,0 MRayl), diferindo ~4% dos tecidos moles e garantindo a resposta acústica necessária ao phantom.

| Materiais | Figura | Espessura teórica (mm) | Espessura experimental (mm) | Perfurabilidade | Fidelidade de forma |
|-----------|--------|------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|
| TPU       | A      | 0,870                  | 0,870 ± 0,008               | Perfurável      | 100,00%             |
| ABS       | B      | 0,870                  | 0,914 ± 0,015               | Imperfurável    | 96,50%              |
| Resina    | C      | furo manual            | 3,814 ± 0,082               | Imperfurável    | -                   |

Tabela

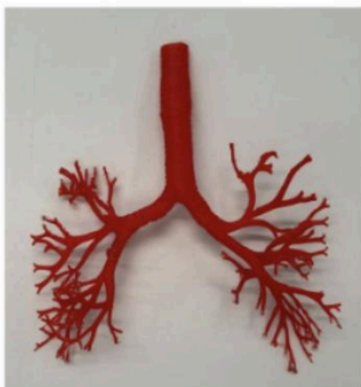


Figura A



Figura B

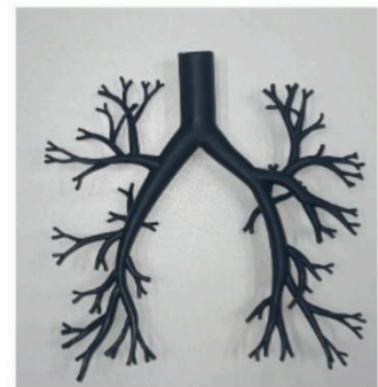


Figura C

**Conclusões:** O phantom desenvolvido a partir do TPU atendeu às exigências iniciais do projeto, fornecendo uma simulação realista e alinhada às demandas de inovação no treinamento em EBUS. Embora ainda esteja em sua versão inicial, os resultados são promissores, indicando uma solução acessível, eficaz e reprodutível para o aprimoramento das habilidades técnicas de profissionais em formação.

**Agradecimento:** Esse projeto contou com a colaboração da Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein (FICSAE), que proporcionou materiais, ferramentas e espaços. O fornecimento das imagens anônimas de ressonância magnética em .dicom pelo Dr. Paulo Rogerio Scordamaglio. Além disso, a assistência do técnico de laboratório, Matheus Pessoa, foi essencial para o desenvolvimento desse projeto. \* Ambos os autores, Gabriela Gianini Luz e Henrique Machiaveli Martins, contribuíram igualmente neste trabalho e são considerados primeiros autores.

**Referências:**

- [1] SCHNEIDER, Philipp; HEER, Lukas M.; REYNAUD, Anne; BUECHELER, Roman; SCHMID, Thomas; TANNER, Nicole; FIECHTER, Raphael. Four different models for simulation-based training of bronchoscopic procedures. BMC Pulmonary Medicine, 2024. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12890-024-02846-9>
- [2] GONÇALVES, Bruna de Oliveira et al. Treinamento em simulação de broncoscopia no mundo pós-pandemia. Jornal Brasileiro de Pneumologia, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/XS85mbPFhwJHPy>
- [3] GONÇALVES, Victor Paes Dias; LOIOLA, Rômulo Leite. Avaliação da capacidade de deformação de materiais

## Estudo Computacional da Focalização de Feixes de Elétrons com Altas Energias (VHEE) no vácuo e em água

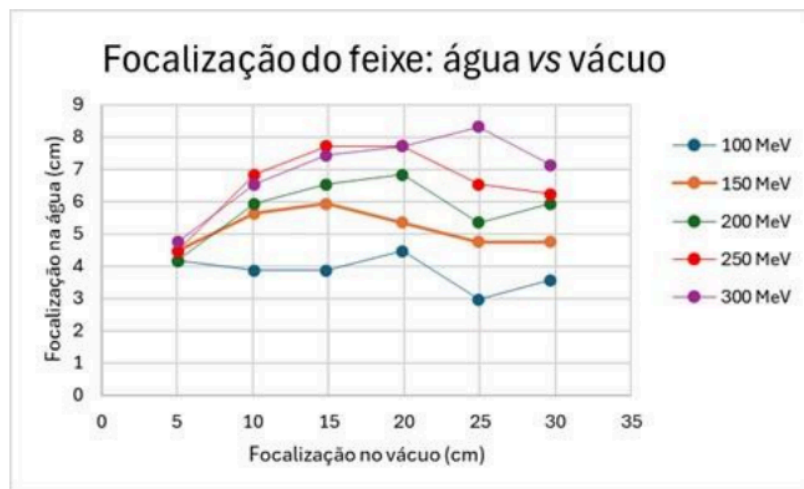
Accorsi L.<sup>1</sup>, Brum F.<sup>1</sup>, Viana M.<sup>2</sup>, Flach P.<sup>3</sup>, Delsantos G., Bonatto A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Pessoa Física, <sup>3</sup> Pedro Flach, <sup>4</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre (Ufcsa)

**Resumo:** A radioterapia com elétrons de altas energias (VHEE, 50-300 MeV [1]) pode oferecer vantagens dosimétricas comparadas à radioterapia convencional. Estudos indicam redução de até 70% na dose em órgãos de risco [2], com benefícios para câncer de próstata [3] e tumores pediátricos cerebrais [4]. A focalização de feixes VHEE [5] permite tratar tumores profundos antes inacessíveis aos elétrons convencionais. Essa focalização requer o uso de quadrupolos, cuja dinâmica das partículas é geralmente determinada no vácuo e aplicada clinicamente em tecidos. Este estudo utiliza simulações Monte Carlo para comparar posições focais no vácuo com as efetivas em phantom de água. Entender a variação da focalização é vital para precisão dosimétrica, pois desvios milimétricos afetam a conformidade da dose [1].

**Materiais e métodos:** Espaços de fase de feixes VHEE com diferentes focalizações foram gerados via Python e utilizados como fontes de radiação em simulações de Monte Carlo realizadas com o código TOPAS[1]. Foram utilizados feixes VHEE focalizados simétricos com 10 mil partículas, distribuição Gaussiana nas energias (médias de 100, 150, 200, 250 e 300 MeV e desvio padrão de 0,75 MeV) e no espaço desvios padrão de 4 mm em x e y). Os cenários simulados foram divididos em duas categorias: propagação em um fantoma de água (30×30×30 cm<sup>3</sup>) e no vácuo, com focalizações distribuídas a cada 5,0 cm de profundidade (eixo z). Foram comparadas as posições focais na água e no vácuo para cada energia.

**Resultados e discussões:** Para as energias analisadas, as posições focais na água ocorreram em profundidades menores que no vácuo, devido à interação da radiação com a matéria. Houve aumento das posições focais até profundidades máximas específicas (4,46; 5,94; 6,83; 7,72 e 8,32 cm para 100, 150, 200, 250 e 300 MeV, respectivamente), seguido por decréscimo causado pelo espalhamento progressivo dos elétrons no meio.



**Conclusões:** A profundidade da posição focal no meio não cresce de forma monotônica como no vácuo. Para as energias estudadas, foram observadas posições focais máximas de 4,46 a 8,32 cm nos cenários. Para profundidades maiores, o feixe VHEE se espalha antes de focalizar. Futuramente, os resultados serão verificados experimentalmente com feixes VHEE gerados por laser no acelerador em desenvolvimento no IPEN.

**Agradecimento:** Os autores agradecem os recursos computacionais disponibilizados pelo LNCC (Sdumont, projeto LPAFARMA) e pelo Grupo de Física de Feixes da UFCSPA (GFF), adquiridos com suporte da FAPERGS (21/2551- 0002027-0 e 24/2551-0001552-3).

**Referências:**

- [1] AN,Chaofan,et al.Optimizing focused very-high-energy electron beams for radiation therapy based on Monte Carlo simulation.Sci Rep.2024;14(1):27495.
- [2] Kokurewicz, K.,et al.Treatment planning for radiotherapy with very high-energy electron beams and comparison of VHEE and VMAT plans.Med Phys.2015;42(5):2615-25.

## Manufatura de Phantom 3D de baixo custo para aplicação em Ressonância Magnética

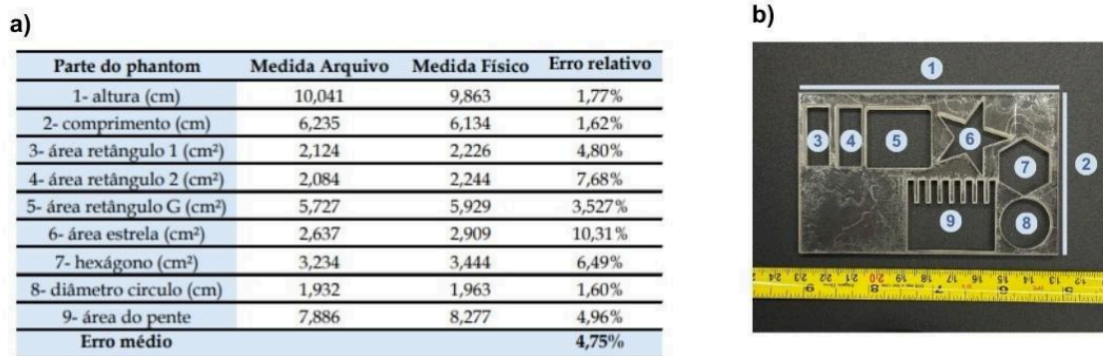
De Souza M.<sup>1</sup>, Da Silva L.<sup>2</sup>, Antunes P.<sup>3</sup>, Borges R.<sup>3</sup>, Granja A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Faculdade Israelita De Ciências E Saúde Albert Einstein, <sup>2</sup> Einstein, <sup>3</sup> Hospital Albert Einstein, <sup>4</sup> Hosp Albert Einstein

**Resumo:** Amplamente utilizada para diagnósticos e intervenções terapêuticas, a ressonância magnética (RM) se destaca por gerar imagens de forma não invasiva e sem radiação ionizante [1]. Contudo, sua precisão pode ser comprometida por deformações na formação da imagem, afetando o diagnóstico e o planejamento clínico [2]. Para abordar essa questão, é crucial ter acesso a tecnologias eficientes de calibração, este projeto propõe a manufatura de um phantom 3D de baixo custo, com formas geométricas de diferentes complexidades preenchidas com materiais identificáveis na RM. A inovação deste reside na sua capacidade de avaliar e quantificar distorções, permitindo uma comparação precisa entre valores reais e os valores obtidos por imagem.

**Materiais e métodos:** O phantom foi modelado em uma base de polimetilmetacrilato [PMMA] preenchido com materiais como: óxido de gadolínio III [3], cloreto de manganês II [4] - visíveis em T1-, hidroxiapatita [3], gesso [5] e sulfeto de cobre II [3] - visíveis em T2. A produção foi feita por meio de cortes a laser, utilizando a máquina Cutmaker CMK6040, em diferentes formatos e complexidades, explorando potências (Pot) entre 70–100 W e velocidade (v) do laser entre 1–10 m/s. Para avaliar os formatos foi feito um teste de forma (Figura 1: (a) e (b)), com o software ImageJ, comparando os comprimento e áreas estratégicas entre o arquivo .stl e as dimensões do phantom produzido, a fim de quantificar o erro relativo.

**Resultados e discussões:** Os resultados obtidos demonstram que a espessura ideal é de 4 a 5 mm de PMMA, com a  $v = 5$  m/s e  $Pot = 80$  W garantindo uma deformação visualmente menor [6]. Devido à perda de precisão dos cortes com o aumento da espessura, optou-se pela construção de camadas mais finas e precisas. O modelo final foi feito utilizando placas de 5mm e uma técnica de colagem por capilaridade.



**Figura 1:** (a) Comparação das medidas do arquivo original com as medidas do Phantom produzido.

(b) Modelo inicial de Phantom desenvolvido com corte a laser.

Fonte: produzido pelos autores.

**Conclusões:** O phantom desenvolvido é uma ferramenta de baixo custo para avaliar e quantificar distorções em RM. Os maiores erros ocorreram em formas complexas, (10,31 %), e os menores em formas simples (1,60 %). Tais erros podem ser minimizados com estratégias adequadas de manufatura. Aliada à escolha dos materiais, resulta em um phantom acessível, capaz de quantificar o erro e aprimorar as aplicações da RM.

**Referências:**

- [1] KANANI, A. et al. Development of a multi-purpose quality control phantom for MRI-based treatment planning in high-dose-rate brachytherapy of cervical cancer. *Journal of Contemporary Brachytherapy*, v. 15, n. 1, p. 57–68, 1 fev. 2023.
- [2] SEIBERT, T. M. et al. Distortion Inherent to Magnetic Resonance Imaging (MRI) Can Lead to Geometric Miss in Radiosurgery Planning. *Practical radiation oncology*, v. 6, n. 6, p. e319–e328, 2016.
- [3] LU, W. et al. Cu/Gd co-doped hydroxyapatite/poly lactic-co-glycolic acid composites enhance MRI imaging and bone defect regeneration. *Journal of Biomaterials Applications*, 8 set. 2024.
- [4] PAN, D. et al. Manganese-based MRI contrast agents: past, present, and future. *Tetrahedron*, v. 67, n. 44, p. 8431–8444, nov. 2011.

## Desenvolvimento de um phantom ósseo heterogêneo de baixo custo para braquiterapia com Ho-166

Nogueira C.<sup>1</sup>, Peixoto B.<sup>2</sup>, Lima L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculdade Israelita Albert Einstein, <sup>2</sup> Ficsae, <sup>3</sup> Lucas Miguel Pereira Da Cruz Lima

**Resumo:** A braquiterapia permite maior concentração de dose na região-alvo, preservando de forma eficaz os tecidos adjacentes. Para uma boa relação dose-resposta em braquiterapias de baixa taxa de dose (LDR), é essencial que a composição do meio seja considerada na estimativa da dose absorvida, como proposto pelo TG-186. Todavia, a implementação deste formalismo exige ainda grandes esforços, sobretudo devido ao alto gradiente de dose e ao alcance limitado da radiação [1-3]. Diante disso, este projeto propõe um phantom heterogêneo, desenvolvido com materiais de baixo custo e equivalentes a tecidos humanos, visando uma avaliação dosimétrica mais precisa e acessível.

**Materiais e métodos:** Um phantom heterogêneo foi desenvolvido por impressão 3D, combinando diferentes proporções de gesso, ácido polilático (PLA) e resina epóxi, com o objetivo de simular diferentes tipos de tecido ósseo humano [4-7]. Corpos de prova foram confeccionados para análise de densidades aparentes (ASTM C20-00) e caracterização elementar por espectroscopia por dispersão de energia (EDS). Os dados obtidos serviram de entrada para as simulações computacionais utilizando o código Monte Carlo N-Particle (MCNP), permitindo a avaliação da curva de dose em profundidade (PDP) e a fluência de partículas em diferentes meios.

**Resultados e discussões:** Os resultados de densidade e EDS forneceram dados essenciais para simulações no MCNP, permitindo comparar os materiais propostos aos tecidos equivalentes comerciais (CIRS). As combinações de gesso, PLA e resina epóxi mostraram potencial para simular ossos cortical, esponjoso, trabecular e esquelético, com propriedades radiológicas distintas.

**Conclusões:** O phantom proposto demonstra potencial como alternativa viável e de baixo custo para validação em braquiterapia óssea e otimização de protocolos clínicos, reproduzindo com fidelidade propriedades radiológicas e dosimétricas dos diferentes tipos de osso. A metodologia permite construir modelos físicos realistas com materiais acessíveis e resultados de qualidade.

**Agradecimento:** Esta pesquisa contou com a colaboração da Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein (FICSAE) para o fornecimento de equipamentos, materiais, espaço para pesquisas e encontros. Ainda, contou com a contribuição da Universidade de São Paulo.

### Referências:

- [1] van Wagenberg T et al. 3D printed head phantom for HDR brachytherapy verification.
- [2] Beaulieu L et al. TG-186 report: Model-based dose calculation in brachytherapy.
- [3] Antunes P et al. Versatile phantom for I-125 dose measurements. Brachytherapy.
- [4] Kim S et al. 3D printed head phantom with PLA-plaster mix for IMRT QA.
- [5] Pereira D et al. PLA as soft tissue substitute in radiotherapy. Radiat Phys Chem.
- [6] Becircic M et al. 3D-printed phantoms for abdominal imaging. Appl Sci.
- [7] ASTM C20-00. Standard test for porosity and density in refractory bricks. ASTM Int; 2022.
- [8] ICRU. Report 44: Tissue substitutes in radiation dosimetry. Available from: <https://www.icru.org/report/tissue-substitutes-in-radiationdosimetry-and-measurement-report-44/>



# **MATERIAIS E SENSORES**

## Nanopartículas Multifuncionais de NaGdF<sub>4</sub> Dopadas com Nd<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> e Ho<sup>3+</sup> para Nanotermometria Luminescente

Thon A.<sup>1</sup>, Queiroz H.<sup>2</sup>, Pereira M.<sup>3</sup>, Araújo M.<sup>2</sup>, Bakuzis A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto De Física Da Universidade Federal De Goiás, <sup>2</sup> Universidade Federal De Goiás, <sup>3</sup> Instituto De Física - Universidade Federal De Goiás, <sup>4</sup> Ufg

**Resumo:** Terapias térmicas aumentam a eficácia de tratamentos como radioterapia e quimioterapia. Além disso, trabalhos recentes apontam para capacidade de ativação do sistema imunológico [1]. Uma das maneiras de se gerar calor é pela terapia fototérmica (PTT), onde nanopartículas (NPs) aumentam sua temperatura local após absorver energia luminosa na faixa do infravermelho próximo (NIR). O monitoramento da entrega de calor de forma não invasiva é um grande desafio do método, que pode ser solucionado com a nanotermometria luminescente (LNT) já que a intensidade da fluorescência apresentada por certos íons e moléculas pode ser um parâmetro termossensível [2]. Nesse trabalho foram realizadas medidas de PTT e LNT em fluoretos de matriz NaGdF<sub>4</sub> com engenharia core-shell [3] dopados com íons de terra rara.

**Materiais e métodos:** Foram sintetizadas NPs de matriz NaGdF<sub>4</sub> dopadas com Nd<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> e Ho<sup>3+</sup> por termodecomposição em meio oleoso. Estrutura cristalina confirmada por difração de raios-X. NPs foram recobertas com ácido poliacrílico e suspensas em meio aquoso formando suspensão estável. Na LNT utilizouse laser de diodo de 808nm para excitar o Nd. Temperatura da superfície da amostra foi monitorada com câmera térmica FLIR SC620. Uma fibra óptica formando um ângulo de 90° com laser captou o sinal de fluorescência emitido, que é analisado por um espectrofotômetro modular (StellarNet). Tomógrafo de fluorescência molecular (FMT) da Perkin Elmer avaliou seu potencial como traçador fluorescente.

**Resultados e discussões:** Essas NPs apresentaram bom desempenho na nanotermometria luminescente e como traçador para imagens de FMT. Assim, essas NPs possuem caráter multifuncional, possuindo potencial como agentes de contraste para ressonância magnética (MRI) devido ao gadolínio na matriz. A sensibilidade térmica medida a 40°C foi de 0.35%, tendo potencial para auxiliar a identificação de tumores em estágios iniciais.

**Conclusões:** As NPs apresentaram bom desempenho na nanotermometria luminescente durante PTT, e bom sinal como traçador para imagens de FMT. As NPs possuem caráter multifuncional e tem potencial como agentes de contraste para MRI devido ao gadolínio na matriz. A sensibilidade térmica é competitiva e será testada no futuro na detecção de tumores em estágios iniciais.

### Referências:

- [1] Yang, Zhe, et al. "Thermal immuno-nanomedicine in cancer." *Nature Reviews Clinical Oncology* v. 20, n. 2, p. 116-134, 2023.
- [2] Vaz, José Divino Barbosa, et al. "Near Infrared Thermoluminescent Liposome Sensor for Real-Time Monitoring of Photothermal Therapy and Magnetic Hyperthermia." *Advanced Materials Technologies* v. 10, n. 2401598, 2025.
- [3] Vinícius-Araújo, Marcus, et al. "Integration of 3D Fluorescence Imaging and Luminescent Thermometry with Core-Shell Engineered NaYF<sub>4</sub>: Nd<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup>/Ho<sup>3+</sup> Nanoparticles." *Inorganic Chemistry* v. 63, n. 4, p. 1840, 2024.

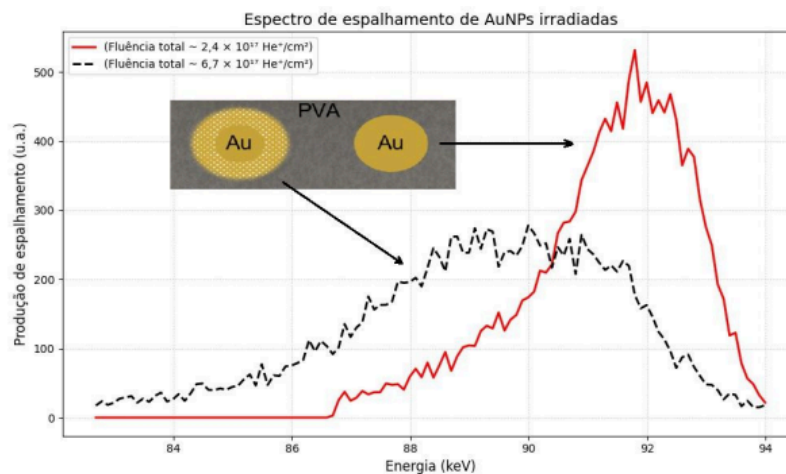
## Degradação in situ de nanopartículas metálicas por feixes utilizados em hadronterapia.

Streibel N.<sup>1</sup>, Trombini H.<sup>1</sup>, Da Silva L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** Os tratamentos de câncer vêm evoluindo com técnicas de hadronterapia, que permitem maior controle local da dose absorvida. Essas modalidades são consideradas o futuro da radioterapia por sua capacidade de escalonar energias e maximizar a conformação da dose ao volume tumoral, minimizando dano a tecidos saudáveis. Apesar dos avanços, ainda busca-se maior eficácia terapêutica com menor dose integral, motivando o uso combinado de agentes radiosensibilizadores, como nanopartículas de ouro (AuNPs), para potencializar o dano letal às células tumorais. Entretanto, pouco se sabe sobre a influência do feixe incidente na integridade das nanopartículas (NPs), parâmetro fundamental para a transição entre estudos para ensaios clínicos sem aumentar a toxicidade sistêmica.

**Materiais e métodos:** Neste trabalho, investigamos a degradação de AuNPs irradiadas com feixes de prótons, alfa e carbono com diferentes fluências (carga integrada, C/cm<sup>2</sup>). Para isso, utilizamos a técnica de espalhamento de íons com energias intermediárias (MEIS, do inglês Medium Energy Ion Scattering). Essa técnica permite quantificar a forma e concentração elementar das NPs irradiadas, ao passo que, gera a degradação das NPs in situ. As NPs foram depositadas em um substrato de Silício através da técnica de spincoating e irradiadas com feixes na faixa de keV, energia próxima da região conhecida como pico de Bragg. Os resultados obtidos foram analisados utilizando o código de simulação PowerMEIS3.



**Resultados e discussões:** Para depositar as NPs em monocamada, utilizamos uma rotação de 4400 rpm com aceleração de 500 rpm/s por 30 s através de um equipamento de spin-coating. Os resultados obtidos através do MEIS mostram que feixes com maior transferência linear de energia (LET) como alfa e carbono apresentam maior poder de degradação das AuNPs. Além disso, essa degradação aumenta com a carga integrada.

**Conclusões:** Esses resultados mostram que a degradação ocorrida nas NPs, devido à interação com o feixe de íons, aumenta com a carga e com altos LET. Essa degradação impacta diretamente no tratamento com nanopartículas metálicas e feixes de íons. Além disso, essa degradação pode afetar a toxicidade das NPs no tecido biológico, parâmetro fundamental para o uso de nanopartículas em tratamentos oncológicos.

**Agradecimento:** Agradeço ao meu orientador e co-orientador pela orientação, apoio e incentivo durante toda a pesquisa. Sou grato ao CNPq pelo financiamento que viabilizou este

trabalho. Agradeço também aos meus familiares, pelo suporte incondicional, e aos amigos, pela motivação e companhia ao longo da jornada acadêmica.

**Referências:**

- [1] CUNNINGHAM, Charnay; DE KOCK, Maryna; ENGELBRECHT, Monique; MILES, Xanthe; SLABBERT, Jacobus; VANDEVOORDE, Charlot. Radiosensitization effect of gold nanoparticles in proton therapy. *Frontiers in Public Health*, v. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.699822>. Acesso em: 26 abr. 2025. [PMC+2uwcscholar.uwc.ac.za+2uwcscholar.uwc.ac.za+](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35212345/)
- [2] ROSA, S.; CONNOLLY, C.; SCHETTINO, G.; et al. Biological mechanisms of gold nanoparticle radiosensitization. *Cancer Nanotechnology*, v. 8, n. 1, p. 2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12645-017-0026-0>. Acesso em: 26 abr. 2025.

## Resina Epóxi Enriquecida com Haletos de Potássio: Aplicação em Radioproteção

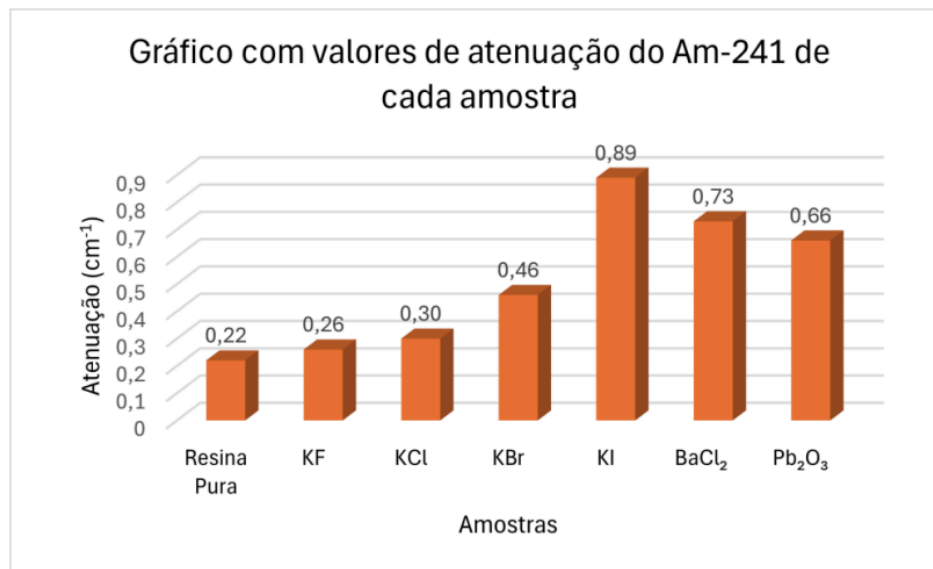
Bueno R.<sup>1</sup>, Muniz R.<sup>2</sup>, Pereira G.<sup>3</sup>, Cellet T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Rodrigo Gabriel Bueno, <sup>2</sup> Universidade Estadual De Maringá, <sup>3</sup> Universidade Estadual De Maringá - Campus De Goioerê

**Resumo:** O desenvolvimento de materiais para blindagem radiológica à base de resina epóxi, isentos de chumbo, representa um avanço na área de radioproteção, considerando os efeitos tóxicos e ambientais associados a esse elemento[1]. As resinas epóxi apresentam propriedades favoráveis, como boa resistência mecânica, estabilidade térmica e resistência à degradação química, garantindo alto desempenho sob exposição à radiação ionizante[2]. Neste estudo, foram preparados compósitos à base de resina epóxi e haletos de potássio como agentes de carga atômica. As propriedades de atenuação dos materiais desenvolvidos foram avaliadas experimentalmente e comparadas às de blindagens radiológicas convencionais.

**Materiais e métodos:** As amostras foram obtidas homogeneizando os componentes da resina epóxi (resina e endurecedor) com KF, KCl, KBr, KI, BaCl<sub>2</sub> ou Pb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na proporção de 10% em massa. Uma amostra controle foi preparada, contendo apenas a resina epóxi. Os reagentes foram dispersos com o auxílio de ultrasonicação (240 segundos) e posteriormente foram moldados em formato cilíndrico (20 mm de raio x 10mm altura) utilizando uma forma de silicone. As medidas de atenuação linear (AL) foram realizadas em triplicata com Am241, sendo detectada a radiação que transpôs 5 mm da amostra com um cintilador de iodeto de sódio acoplado ao contador Ludlum 2000, por 180 segundos.

**Resultados e discussões:** A AL tende a aumentar com uso de elementos de maior número atômico (Z). Assim esperava-se que a amostra com Ba e Pb apresentasse maior AL em relação à com I, no entanto, observou-se o contrário (Fig. 1). O maior desempenho do KI pode ser devido à maior contribuição relativa do I nas interações fotoelétricas a 60 keV, melhor dispersão e possível formação de redes mais densas no compósito[3].



**Conclusões:** A resina epóxi com KI apresentou os melhores coeficientes de atenuação linear, com aumento de até 300% em relação à resina pura e 22% frente à resina com BaCl<sub>2</sub> e 39% em relação a resina com Pb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, demonstrando maior eficácia na blindagem contra radiações de 60 keV, típicas de fontes como Am-241, energia essa amplamente empregada em exames odontológicos.

### **Referências:**

- [1] RAHMAN, Zeeshanur; SINGH, Ved Pal. O impacto relativo de metais pesados tóxicos (MPTs) (arsênio (As), cádmio (Cd), crômio (Cr)(VI), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb)) no meio ambiente como um todo: uma visão geral. *Monitoramento e avaliação ambiental*, v. 191, p. 1-21, 2019.
- [2] JAYAKUMAR, Sangeetha; SARAVANAN, T.; PHILIP, John. A review on polymer nanocomposites as lead-free materials for diagnostic X-ray shielding: Recent advances, challenges and future perspectives. *Hybrid Advances*, v. 4, p. 100100, 2023.
- [3] MOONKUM, Nutthapong et al. Radiation protection device composite of epoxy resin and iodine contrast media for low-dose radiation protection in diagnostic radiology. *Polymers*, v. 15, n. 2, p. 430, 2023.
- [4] GÜNTNER, Andreas T.; MAGRO, Leandro; VAN DEN BROEK, Jan; PRATSINIS, Sotiris E. Detecting methanol in hand sanitizers. *iScience*, v. 24, n. 2, p. 102050, 12 jan. 2021.
- [5] THERMO FISHER SCIENTIFIC. IRMS Food & Beverage Integrity Applications: Isotope Fingerprints in Food Integrity Applications. Brochure BR-30566. [S.l.]: Thermo Fisher Scientific, 2018

## **Biosusceptometria de Corrente Alternada para avaliação de matrizes de liberação prolongada**

Bitencourt M.<sup>1</sup>, Soares G.<sup>2</sup>, Miranda J.<sup>1</sup>, Barboza J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unesp, <sup>2</sup> Unesp Botucatu

**Resumo:** Abordagens multinstrumentais, como a farmacomagnetografia, vem sendo utilizadas para associar parâmetros farmacocinéticos ao monitoramento magnético de formas farmacêuticas sólidas (FFS). Nesse âmbito, sistemas de liberação prolongada, especificamente matrizes hidrofílicas (liberação ocorre via difusão por camada de gel formada no processo de intumescimento, aumento o tempo de retenção gástrica) se tornam atraentes pelas baixas flutuações nas concentrações séricas e baixa frequência de ingestão.

**Materiais e métodos:** Foram elaboradas as formulações F1, F2 e F3 variando em proporção e tipo de polímero hidrofílico (HPMC), utilizando a ferrita de manganês como traçador. Testes in vitro de friabilidade, dissolução, “uptake”, monitoramento magnético foram realizados. Esse estudo se destaca pela implementação de uma metodologia biomagnética, a biosusceptometria de corrente alternada (BAC), baseada num arranjo de bobinas em configuração gradiométrica, capaz de detectar oscilações no fluxo de campo magnético induzido causadas pela ferrita. Análises farmacocinéticas (quantificação sérica do fármaco) e monitoramento magnético via BAC in vivo foram conduzidos concomitantemente, configurando a farmacomagnetografia.

**Resultados e discussões:** A formulação F3 apresentou o perfil mais equilibrado entre os parâmetros analisados, sendo essa a indicada para a fase in vivo. A fase in vivo, foi realizada em dois estados prandiais, jejum e alimentado, sendo possível constatar que o estado interfere significativamente no tempo de retenção gástrica e tempo de trânsito orocecal, além retardar o pico máximo de concentração sérica do fármaco.

**Conclusões:** A farmacomagnetografia se demonstra eficaz na correlação de parâmetros cinéticos e motores de matrizes hidrofílicas magnéticas, sendo capaz de avaliar a influência do estado prandial na ingestão de matrizes. A BAC, evidencia-se como ferramenta para a caracterização tanto in vitro quanto in vivo, auxiliando tanto na elaboração de formulações, controle de qualidade e monitoramento online das FFS.

**Agradecimento:** Gostaria de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

### **Referências:**

- [1] Corá LA, Romeiro FG, Paixão FC, Américo MF, Oliveira RB, Baffa O, et al. Enteric coated magnetic HPMC capsules evaluated in human gastrointestinal tract by AC biosusceptometry. *Pharmaceutical research*. 2006;23:1809-16.
- [2] Cora LA, Romeiro FG, Américo MF, Oliveira RB, Baffa O, Stelzer M, et al. Gastrointestinal transit and disintegration of enteric coated magnetic tablets assessed by ac biosusceptometry. *European journal of pharmaceutical sciences*. 2006;27(1):1-8.
- [3] Soares GA, Pires DW, Pinto LA, Rodrigues GS, Prospero AG, Biasotti GG, et al. The influence of omeprazole on the dissolution processes of pH-dependent magnetic tablets assessed by pharmacomagnetography. *Pharmaceutics*. 2021;13(8):1274.

## Desenvolvimento de nanopartículas de ouro recobertas com moléculas contendo anéis aromáticos para carregamento de oxigênio em radioterapia

Dos Santos E.<sup>1</sup>, Guidelli E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade De São Paulo

**Resumo:** A hipóxia em tecidos tumorais é um desafio para tratamentos convencionais, pois pode gerar resistência terapêutica. Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), como antraceno e naftaleno, têm se destacado por sua capacidade de armazenar e liberar oxigênio singlete, espécie reativa que potencializa os efeitos da radioterapia. No entanto, há divergências quanto ao potencial cancerígeno desses compostos. Diante disso, este projeto propõe a produção de nanopartículas de ouro (AuNPs) recobertas com ácido acetilsalicílico (AAS), que possui um anel aromático capaz de interagir com radiação ionizante. A proposta visa promover a liberação controlada de espécies reativas de oxigênio, aumentando a radiosensibilidade dos tumores e reduzindo os riscos associados aos HAPs tradicionais.

**Materiais e métodos:** O processo inicia-se com a síntese de nanopartículas de ouro (AuNPs) a partir de HAuCl<sub>4</sub>(16mM), NaBH<sub>4</sub> (64 mM), PVA (1,5mg/mL) e posterior diálise. Em seguida, as AuNPs são recobertas com ácido acetilsalicílico (AAS) em etanol (50 mg/mL) em ultrassom por 30 minutos. O complexo é então exposto à luz vermelha na presença de azul de metileno (0,1 mM), promovendo o carregamento do AAS com oxigênio singlete (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>). Por fim, a liberação do oxigênio armazenado ocorre por irradiação com luz (hv), regenerando a estrutura inicial do AAS. Esse sistema visa potencializar a liberação controlada de espécies reativas de oxigênio para aplicações terapêuticas.

**Resultados e discussões:** Os resultados indicaram aumento no tamanho das AuNPs após recobrimento com AAS, sugerindo funcionalização bem-sucedida. O potencial zeta diminuiu, refletindo menor carga superficial. A fluorescência, atribuída às ligações  $\pi$  do AAS, foi reduzida após o carregamento com oxigênio singlete e restaurada após irradiação em 3 diferentes energias, confirmando sua liberação.

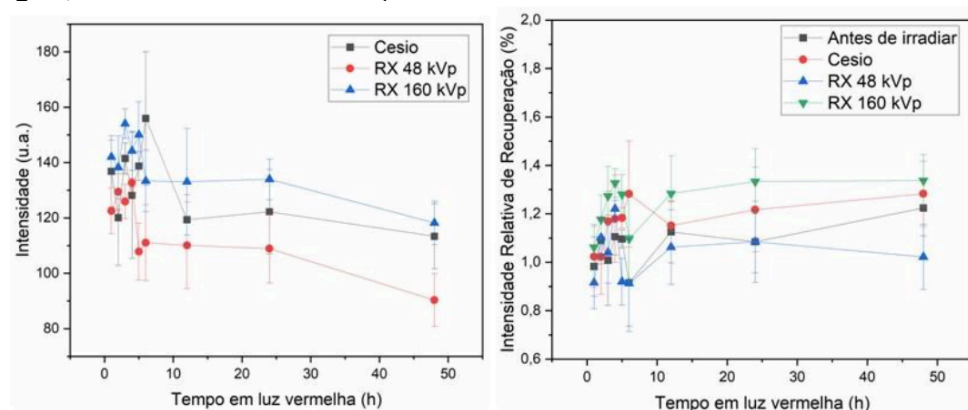


Fig. 1 - Intensidades de fluorescência absolutas à esquerda e relativas às iniciais à direita.

**Conclusões:** A funcionalização das AuNPs com AAS foi bem-sucedida, permitindo o carregamento eficiente de oxigênio singlete e sua liberação controlada por radiação ionizante de três diferentes energias. Esses resultados indicam um potencial promissor para aplicação em radioterapia, aumentando a radiosensibilidade tumoral com menor risco toxicológico.

### Referências:

[1] Oliveira, M.S. et al: Photochem.Photobiol. Sci., 2011, 10, 1546–1555 2 - Hadjur, C. et al: J. Photochem. Photobiol. B: Biology 26, 1994, 67-74. 3 - Aubry, J.M. et al: Accounts of Chemical Research, 2003, 36(9), 668-675

## Síntese e caracterização de nanopartículas metálicas de Ag e Au para ampliação de dose em procedimentos radioterápicos

Ferreira A.<sup>1</sup>, Da Silva L.<sup>1</sup>, Vaz M.<sup>1</sup>, Trombini H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** Na medicina, diversas abordagens são utilizadas no tratamento do câncer, entre elas a radioterapia, pela sua eficácia. A adição de nanopartículas (NPs) metálicas, como por exemplo, ouro (Au) e prata (Ag) ao tratamento radioterápico tem demonstrado potencial para aumentar a radiosensibilidade dos tecidos tumorais. Isso ocorre devido à maior interação das NPs com a radiação, o que intensifica os danos ao tecido neoplásico e pode reduzir os efeitos colaterais no paciente [1]. Neste trabalho, é realizada a síntese química de NPs metálicas de Au e Ag, com o objetivo de aumentar a dose absorvida no tecido tumoral com baixa toxicidade no tecido sadio. A caracterização das NPs, em relação ao tamanho e sua distribuição de tamanhos foi realizada com o uso de espectrofotometria UV/VIS.

**Materiais e métodos:** A síntese das NPs foi realizada utilizando ácido cloroáurico (HAuCl<sub>4</sub>) e nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub>) como precursores metálicos. Para promover a redução dos íons metálicos e garantir estabilidade coloidal, utilizou-se boroidreto de sódio (NaBH<sub>4</sub>) como agente redutor e poliálcool vinílico (PVA) como estabilizante. A caracterização foi conduzida por meio de espectrofotometria UV/VIS, com análise de duas amostras produzidas no Laboratório de Física Médica da UFCSPA. O equipamento mede a absorção da radiação na faixa do ultravioleta ao visível (300 a 700 nm), permitindo estimar o tamanho das partículas e sua estabilidade com base nos picos de absorbância obtidos.

**Resultados e discussões:** As análises por espectrofotometria UV/VIS apresentam o pico de máxima absorbância para os comprimentos de onda de 532 nm para Au e 400 nm para Ag. As larguras à meia altura (FWHM) obtidas foram de 52 e 60 nm para Au e Ag, respectivamente. Esses valores indicam NPs com tamanhos inferiores a 20 nm e baixa dispersão, sugerindo boa uniformidade nas amostras produzidas.

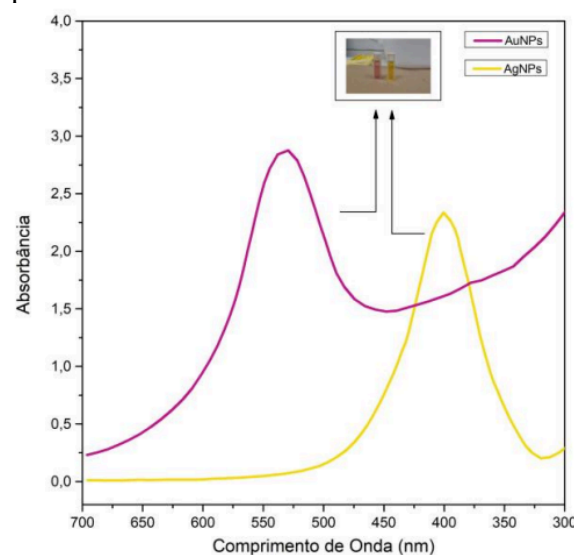


Gráfico referente aos dados coletados no Espectrofotômetro UV/VIS.

**Conclusões:** A continuidade deste estudo permitirá aprimorar as técnicas de síntese e caracterização, favorecendo o desenvolvimento de NPs com maior aplicabilidade em radioterapia. A utilização dessas NPs pode contribuir para a redução da dose no tecido sadio

em tratamentos superficiais, aumentando a eficácia e diminuindo os efeitos adversos em pacientes oncológicos.

**Agradecimento:** Agradeço a Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) pelas instalações e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

**Referências:**

[1] B. Ahmed, A. Rao, B. Sankarshan, C. Vicas, K. Namratha, T. Umesh, R. Somashekar and K. Byrappa. Evaluation of Gold, Silver and Silver–Gold (Bimetallic) Nanoparticles as Radiosensitizers for Radiation Therapy in Cancer Treatment. *Cancer and Oncology Research* 4(3): 42-51, 2016.

## Aumento de emissão azul em nanopartículas SrF<sub>2</sub>:Eu@SrF<sub>2</sub> para aplicação em Terapia Fotodinâmica Ativada por Raios-X (X-TFD)

Teixeira J.<sup>1</sup>, Guidelli E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Nanopartículas cintiladoras (ScNPs) acopladas a fotossensibilizadores (FS) são promissoras na terapia fotodinâmica ativada por raios X (X-TFD). No entanto, a maioria dos FSs com alta geração de espécies reativas de oxigênio (ERO) absorve na região azul [1], e poucas ScNPs apresentam cintilação eficiente nessa faixa [2]. Nosso grupo desenvolveu nanopartículas de SrF<sub>2</sub>:Eu com emissão azul e vermelha que, combinadas à porfirina e irradiadas por raios X, mostraram potencial para reduzir a dose de radiação [3]. A literatura indica que o estado de valência do európio depende da posição na rede [4], assim é possível que o Eu<sup>2+</sup> (azul) esteja no interior e Eu<sup>3+</sup> (vermelho) na superfície. Visando reduzir o Eu<sup>3+</sup> em Eu<sup>2+</sup> e aumentar a emissão azul, foi crescida sobre as SrF<sub>2</sub>:Eu NPs uma casca de SrF<sub>2</sub>.

**Materiais e métodos:** As ScNPs de SrF<sub>2</sub>:Eu foram sintetizadas com 7,02 mmol de precursores (Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + EuCl<sub>3</sub>), para dopagens de 2,5–10%, e 14,05 mmol de NH<sub>4</sub>F, em meio aquoso e etilenoglicol (EG), a 40 °C por 15 h. Em seguida, a solução foi centrifugada (10.000 G, 30 min) e purificada. Para a síntese das nanopartículas (NPs) core-shell, 1 mmol de SrF<sub>2</sub>:Eu foi redisperso em meio aquoso com 1 mmol de Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, seguido da adição de EG e de 2 mmol de NH<sub>4</sub>F (0,011 mL/min), mantendo-se a 40 °C. A purificação foi repetida e as dispersões foram secas a 80 °C. As NPs foram caracterizadas por MET, EDL, potencial zeta, DRX, fotoluminescência e radioluminescência sob radiação de raios X (48 kVp, 0,2 mA).

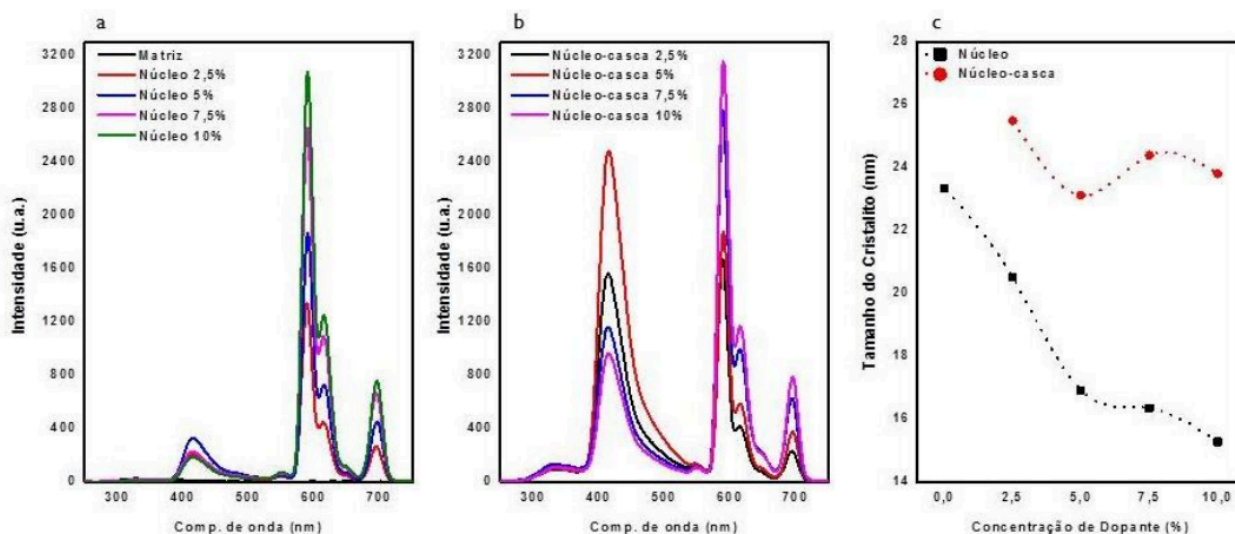


Figura 1: (a) Radioluminescência das SrF<sub>2</sub>:Eu NPs para 0%, 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de dopante. (b) Emissão radioluminescente de estruturas núcleo-casca para diferentes concentrações de európio. (c) Variação do tamanho do cristalito por Debye-Scherrer em função da concentração de dopante.

**Resultados e discussões:** A radioluminescência das ScNPs de SrF<sub>2</sub>:Eu e SrF<sub>2</sub>:Eu@SrF<sub>2</sub> mostrou maior emissão azul para NPs núcleo-casca com 5% de Eu (Fig. 1a e 1b), com razão Eu<sup>2+</sup>/Eu<sup>3+</sup> de 2,05. Para 5% de dopante medidas TEM indicaram tamanhos de 33 ± 9 nm e 20 ± 4 nm para NPs com e sem casca, respectivamente. A DRX revelou cristalito estável nas SrF<sub>2</sub>:Eu@SrF<sub>2</sub> e redução em SrF<sub>2</sub>:Eu com aumento da dopagem (Fig. 1c).

**Conclusões:** As medições de radioluminescência confirmaram um aumento na emissão azul das nanopartículas núcleo-casca, quando comparadas com o núcleo, indicando o crescimento bem-sucedido da casca e sugerindo o aumento da população de íons  $\text{Eu}^{2+}$ .

**Referências:**

- [1] Chen W and ZJ. Using Nanoparticles to Enable Simultaneous Radiation and Photodynamic Therapies for Cancer Treatment. *J Nanosci Nanotechnol.* 2006;6:1159-1166.
- [2] Qiao J, Zhao J, Xia Z. (INVITED) A review on the  $\text{Eu}^{2+}$  doped  $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ -type phosphors and the sites occupancy for photoluminescence tuning. *Optical Materials: X.* 2019;1:100019.
- [3] Policei Marques N, Isikawa MM, Muradova Z, Morris T, Berbeco R, Guidelli EJ. Size-Dependent Blue Emission from Europium-Doped Strontium Fluoride Nanoscintillators for X-Ray-Activated Photodynamic Therapy. *Adv Healthc Mater.* 2024.
- [4] Zavala-Sanchez LA, Hirata GA, Novitskaya E, Karandikar K, Herrera M, Graeve OA. Distribution of  $\text{Eu}^{2+}$  and  $\text{Eu}^{3+}$  Ions in Hydroxyapatite: A Cathodoluminescence and Raman Study. *ACS Biomater Sci Eng.* 2015;1(12):1306-1313.

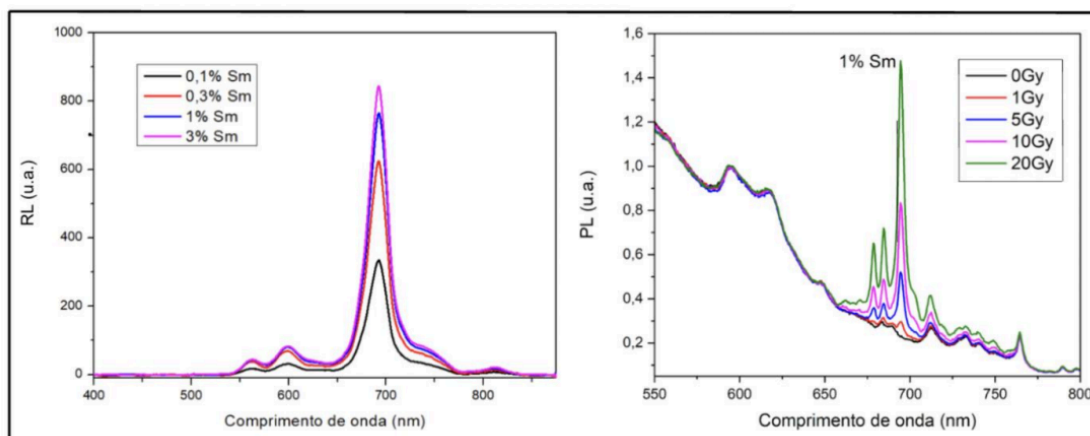
## Desenvolvimento de Nanopartículas de Fluoreto de Lítio, Cálcio e Alumínio dopado com Samário para Aplicações em Dosimetria por Radiofotoluminescência

Castilho C.<sup>1</sup>, Guidelli E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Usp, <sup>2</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Novas técnicas e materiais dosimétricos são estudados visando à produção de dosímetros mais sensíveis e estáveis, garantindo segurança em ambientes com radiação, como na medicina. Entre esses materiais, destacam-se os fluoretos, que, quando dopados, apresentam propriedades luminescentes úteis na detecção da dose. Neste trabalho, foram sintetizadas nanopartículas de  $\text{LiCaAlF}_6:\text{Sm}$  para avaliar sua aplicação em dosimetria por radiofotoluminescência (RPL), técnica relacionada à formação de centros luminescentes durante a exposição à radiação ionizante. No material estudado, o centro RPL se origina da mudança de valência do  $\text{Sm}^{3+}$  para  $\text{Sm}^{2+}$ , induzida por raios X. As partículas em nanoescala visam aumentar a área superficial e, assim, a quantidade de íons  $\text{Sm}^{3+}$ , contribuindo para maior sensibilidade.

**Materiais e métodos:** A síntese de nanopartículas de  $\text{LiCaAlF}_6:\text{Sm}$  foi realizada a partir da metodologia hidrotermal. Inicialmente, são feitas duas soluções em água deionizada, uma com  $\text{NH}_4\text{F}$  e outra contendo os sais de  $\text{LiCl}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{SmCl}_3$ . É feita uma solução final a partir da mistura das duas, a qual é levada ao forno a cerca de  $190^\circ\text{C}$ . Parâmetros como a porcentagem de dopante foram variados, a fim de otimizar sua luminescência. Nesse sentido, a caracterização contou com técnicas como a microscopia eletrônica de transmissão (TEM), o espalhamento dinâmico de luz (DLS), a difração de raios X (DRX), a radioluminescência (RL) e a fotoluminescência (PL).



**Resultados e discussões:** Foram obtidas partículas de 40 a 300 nm, dependendo do parâmetro usado. A análise das propriedades dosimétricas revelou intensas respostas de RL e PL, visíveis na figura. Nota-se que as medidas de PL demonstraram o sinal previsto de RPL, já que o pico relacionado ao  $\text{Sm}^{2+}$  aumenta em função da dose de radiação. Também foi analisada a relação entre o tamanho da partícula e a intensidade do sinal.

**Conclusões:** Os resultados obtidos até o momento demonstram o potencial das nanopartículas de  $\text{LiCaAlF}_6:\text{Sm}$  na dosimetria por RPL, uma vez que foi obtida uma curva linear entre a intensidade de PL e a dose irradiada. Também está em andamento a determinação da dose mínima detectável e a verificação da estabilidade do sinal de RPL, visando maximizar o desempenho das nanopartículas sintetizadas na dosimetria.

**Referências:**

- [1] Yanagida, T., Okada, G., Kato, T., Nakauchi, D., & Kawaguchi, N. (2022). A review and future of RPL dosimetry. *Radiation Measurements*, 158, 106847.
- [2] Okada, G., Kawaguchi, N., Kasap, S., Nanto, H., & Yanagida, T. (2020). Radiophotoluminescence properties of LiCaAlF<sub>6</sub>: Sm. *Radiation Measurements*, 132, 106251.
- [3] Aboelezz, E., & Pogue, B. W. (2023). Review of nanomaterial advances for ionizing radiation dosimetry. *Applied Physics Reviews*, 10(2).

## Avaliação Luminescente de compósitos de CaSO<sub>4</sub>:Tm,Li para Dosimetria de Radiação Ionizante

De Goes L.<sup>1</sup>, Caldas L.<sup>1</sup>, Junot D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uerj - Universidade Do Estado Do Rio De Janeiro, <sup>2</sup> Uerj

**Resumo:** A busca por novos materiais dosimétricos de baixo custo e alta eficiência é um desafio desde a descoberta dos danos provocados pela radiação ionizante. A necessidade em aprimorar a precisão e a confiabilidade dos dosímetros tem impulsionado pesquisas na área há décadas (YUKIHARA e KRON, 2020). Técnicas de luminescência, como termoluminescência (TL) e luminescência opticamente estimulada (OSL), são ferramentas importantes na dosimetria de radiação ionizante. Este estudo investigou as propriedades dosimétricas de compósitos de CaSO<sub>4</sub>:Tm,Li utilizando essas técnicas, visando sua aplicação como dosímetros luminescentes.

**Materiais e métodos:** Os cristais de CaSO<sub>4</sub>:Tm,Li foram sintetizados por meio da rota de evaporação lenta, e sua estrutura foi confirmada por difração de raios X (DRX), revelando a fase anidrita ortorrômbica. As análises ópticas e dosimétricas foram realizadas com um leitor TL/OSL RISø conectado a um espectrômetro. Para a caracterização dosimétrica, foi feita a irradiação do material com uma fonte beta de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y, empregando doses de 0,08 Gy a 10 Gy, e em seguida sua leitura.

**Resultados e discussões:** A curva TL exibiu picos em 120 °C, 160 °C e 275 °C. O espectro de emissão TL mostrou picos em 455 nm, 348 nm, 355 nm, 482 nm e 788 nm, indicando a presença de Tm na estrutura. A técnica de Tm x Tstop auxiliou na identificação dos componentes dos picos TL. Os sinais TL e OSL foram reprodutíveis e lineares na faixa de dose testada (0,81 Gy a 10 Gy).

**Conclusões:** Acredita-se que a presença do lítio na estrutura do CaSO<sub>4</sub> favorece a transferência eficiente de energia para os íons de túlio, resultando na emissão de luz característica. Os sinais TL e OSL apresentaram-se lineares e reprodutíveis. Dessa forma, os resultados indicam que esses compósitos possuem potencial para serem utilizados como dosímetros luminescentes.

### Referências:

[1] YUKIHARA, E. G.; KRON, T. Applications of optically stimulated luminescence in medical dosimetry. Radiation Protection Dosimetry, v. 192, n. 2, p. 122-138, 2020.

## Estudo dosimétrico de compósitos luminescentes à base de CaSO<sub>4</sub>:Eu,Li

De Lima R.<sup>1</sup>, De Almeida F.<sup>1</sup>, Barreto F.<sup>1</sup>, Caldas L.<sup>1</sup>, Junot D. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uerj

**Resumo:** Desde a descoberta dos raios X, a radiação ionizante vem sendo empregada pela sociedade em diversas áreas e mensurá-la é de extrema importância para a proteção radiológica. Nesse sentido, é importante o estudo e desenvolvimento de novos materiais dosimétricos de alta sensibilidade e baixo custo (Junot et al, 2020). Este estudo investigou as propriedades dosimétricas de cristais de CaSO<sub>4</sub> dopados com európio e lítio (CaSO<sub>4</sub>:Eu,Li), utilizando técnicas luminescentes como a termoluminescência (TL) e a luminescência opticamente estimulada (OSL).

**Materiais e métodos:** Os cristais de CaSO<sub>4</sub>:Eu,Li foram produzidos por meio de uma rota de evaporação lenta modificada. O material é obtido na forma de pó e então misturado a Teflon para a obtenção dos compósitos. Para a caracterização dosimétrica, os compósitos foram irradiados com doses de 0,16 Gy a 0,80 Gy de radiação beta da fonte de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y. A leitura do sinal TL/OSL foi realizada com a leitora Risø TL/OSL-DA-20. Foram investigadas características como: estudo das curvas TL e OSL, reprodutibilidade do sinal TL/OSL, desvanecimento, efeito da taxa de dose, avaliação da curva dose-resposta e avaliação da influência do sinal TL no sinal OSL e do sinal OSL no sinal TL.

**Resultados e discussões:** As curvas de emissão TL apresentaram picos em 170°C e 200°C. O sinal OSL apresentou decaimento exponencial rápido. As respostas TL/OSL foram lineares na dose testada. Os compósitos apresentaram boa reprodutibilidade, com variações de 8,1% (TL) e 3,6% (OSL) e desvanecimento de 30% em 30 dias. A leitura OSL prévia reduz levemente o sinal TL; já a leitura TL prévia zera o sinal OSL.

**Conclusões:** Os resultados indicam que os compósitos de CaSO<sub>4</sub>:Eu,Li têm potencial para serem aplicados como dosímetros TL/OSL. Além disso, o estudo contribuiu para a compreensão dos mecanismos de compensação de carga e a identificação dos centros luminescentes responsáveis pelas emissões TL e OSL nos materiais estudados.

### Referências:

[1] JUNOT, D. O.; SOUZA, D. N.; CALDAS, L. V. E.; TL/OSL signal of CaSO<sub>4</sub>:Eu,Ag samples produced by variations of the slow evaporation route. *Radiat. Meas.*, v. 135, p. 106334, 2020.

## Caracterização do revestimento de titanato de cálcio sobre substrato de titânio

De Moura P.<sup>1</sup>, Bucci J.<sup>2</sup>, Carra M.<sup>2</sup>, De Almeida G.<sup>3</sup>, Saeki M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Paulo Yuji Yamamoto Cardoso De Moura, <sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho - Unesp,

<sup>3</sup> Instituto De Biociencias De Botucatu - Departamento De Química E Bioquímica

**Resumo:** As biocerâmicas à base de fosfato de cálcio são amplamente estudadas na correção de fraturas e defeitos ósseos por sua alta capacidade de adsorção e estímulo ao crescimento celular, sendo indicadas como revestimentos em biomateriais metálicos implantáveis [1]. Contudo, sua fragilidade mecânica e baixa adesão ao titânio limitam seu uso em larga escala. O titanato de cálcio, por sua vez, favorece a nucleação de apatitas e acelera a osseointegração com o titânio [2]. Assim, este trabalho visa preparar filmes de titanato de cálcio sobre titânio e caracterizá-los por difração de raios X (DRX) e medidas de ângulo de contato, buscando identificar as fases cristalinas formadas, avaliar a molhabilidade da superfície e relacionar esses fatores com a interação celular.

**Materiais e métodos:** Amostras de titânio comercialmente puro foram lixadas e tratadas em ácido. Para revestir, as placas receberam uma película do sol precursor de titanato de cálcio, por dip-coating, seguida de hidrólise e tratamento térmico. Os sóis tiveram a razão molar de Ca:Ti variados em 1:2, 3:4, 1:1. Todas as amostras foram submetidas à caracterização física por difração de raios X e medidas de ângulo de contato.

**Resultados e discussões:** : Picos de difração atribuídos às fases de óxido de titânio e titanato de cálcio foram identificados e indexados pelos bancos PDF 72-1807, 83-2242 e 842-423. A quantidade de titanato de cálcio aumentou com o teor de cálcio. As medidas de ângulo de contato mostraram que isso elevou a molhabilidade e a rugosidade superficial, favorecendo a interação com fluidos.

**Conclusões:** O método sol-gel com recobrimento por imersão e tratamento térmico foi eficaz na deposição de titanato de cálcio sobre titânio. A razão Ca/Ti influenciou as intensidades dos picos de difração, indicando que as fases formadas podem ser controladas pela concentração de cálcio. O titanato de cálcio também aumentou a molhabilidade da superfície.

### Referências:

- [1] SHRESTHA, S. et al. Micro/nanometer-sized porous structure of zinc phosphate incorporated Ti(HPO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> hydrate bioceramic induces osteogenic gene expression and enhances osteoporotic bone regeneration. *Chemical Engineering Journal*, v. 450, p. 138360, 15 dez. 2022.
- [2] WU, S. et al. Evaluation of the biocompatibility of a hydroxyapatite-CaTiO<sub>3</sub> coating in vivo. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, v. 35, n. 4, p. 296–303, 1 jan. 2015.

## Estudo das Propriedades TL e OSL de CaSO<sub>4</sub>:Tb,Li para Aplicações em Dosimetria

Barreto F.<sup>1</sup>, De Lima R.<sup>1</sup>, De Almeida F.<sup>1</sup>, Caldas L.<sup>1</sup>, Junot D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uerj

**Resumo:** A proteção radiológica exige o controle das doses aplicadas em procedimentos que utilizam radiação ionizantes. Dosímetros de CaSO<sub>4</sub>:Dy são utilizados na monitoração da radiação há anos (Campos, 1998). Entretanto, o estudo acerca de novos materiais dosimétricos é de extrema importância nesse tipo de dosimetria, no sentido de promover dosímetros sensíveis e de baixo custo. Nesse contexto, este projeto objetiva verificar a viabilidade de compostos de CaSO<sub>4</sub>:Tb,Li como dosímetros luminescentes, por meio das técnicas de termoluminescência (TL) e luminescência opticamente estimulada (OSL).

**Materiais e métodos:** Os compostos de CaSO<sub>4</sub>:Tb,Li foram sintetizados por meio da rota de evaporação lenta. Tal rota baseia-se na obtenção de sulfato de cálcio a partir de uma mistura de carbonato de cálcio e ácido sulfúrico. Para a produção das pastilhas, adicionou-se Teflon, a fim de obter-se maior resistência a choques mecânicos. As análises TL e OSL foram obtidas utilizando-se a leitora TL/OSL RISO. Para a caracterização dosimétrica, foi feita a irradiação do material com uma fonte beta de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y, empregando doses de 0,15 Gy a 0,8 Gy.

**Resultados e discussões:** As curvas de emissão TL apresentaram 2 picos, o primeiro em 193 °C e o segundo em 353 °C. O sinal OSL decaiu exponencialmente durante o tempo de estímulo com LEDs azuis de 470 nm, com predominância da componente lenta. As respostas TL e OSL obtidas foram proporcionais às doses empregada e reprodutíveis. Uma prévia leitura OSL reduziu ligeiramente a intensidade do pico em torno de 193 °C.

**Conclusões:** O estudo contribuiu para a identificação dos centros luminescentes responsáveis pelas emissões TL e OSL no material estudado, com o lítio atuando como um centro luminescente e de recombinação de baixa eficiência, transferindo sua energia para o íon de térbio próximo. Os resultados obtidos demonstraram que os materiais desenvolvidos têm potencial de aplicação como dosímetros TL/OSL.

### Referências:

[1] CAMPOS, L. L. Termoluminescência de materiais e sua aplicação em dosimetria da radiação. Cerâmica. p.144, 1998.

## Avaliação das Respostas TL e OSL de $\text{CaSO}_4:\text{Yb,Mn}$ para Dosimetria de Radiação

Da Silva A.<sup>1</sup>, Dos Santos Filho M.<sup>2</sup>, Junot D.<sup>3</sup>, Souza D.<sup>4</sup>, Caldas L.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ipen, <sup>2</sup> Marcelo Filho, <sup>3</sup> Uerj, <sup>4</sup> Universidade Federal De Sergipe

**Resumo:** : Materiais cristalinos apresentam propriedades luminescentes importantes, tornando-os adequados para o monitoramento de diversos fenômenos físicos, incluindo a avaliação de doses provenientes de radiações ionizantes. A termoluminescência (TL) e a luminescência opticamente estimulada (OSL) são técnicas amplamente utilizadas em dosimetria de radiação. Este estudo contribui para o desenvolvimento de novos materiais luminescentes aplicáveis à dosimetria, com foco em fósforos à base de  $\text{CaSO}_4$  dopados com íterbio (Yb) e manganês (Mn).

**Materiais e métodos:** Novos fósforos de  $\text{CaSO}_4:\text{Yb,Mn}$  foram sintetizados por meio da rota de evaporação lenta. A caracterização estrutural foi realizada por difração de raios X (DRX), que confirmou a viabilidade do método empregado. A espectroscopia por dispersão de energia (EDS) foi utilizada para validar a incorporação dos íons Yb e Mn nas matrizes cristalinas. Para a avaliação dosimétrica, as amostras foram irradiadas com radiação beta e moldadas em pastilhas com adição de Teflon, a fim de melhorar a resistência mecânica do material. As medições TL e OSL foram realizadas com o uso dos filtros Schott BG-39 (transmitância entre 320 e 480 nm) e Hoya U-340 (transmitância entre 260 e 400 nm).

**Resultados e discussões:** Curvas de emissão semelhantes foram observadas nas regiões visível e ultravioleta. A análise TL revelou um pico principal em torno de 140 °C. As curvas OSL, obtidas sob estimulação óptica contínua (CW) com tempo de integração de 40 segundos, apresentaram um sinal característico de decaimento exponencial, típico da técnica.

**Conclusões:** Os fósforos de  $\text{CaSO}_4:\text{Yb,Mn}$  sintetizados via evaporação lenta apresentaram respostas luminescentes expressivas frente à radiação ionizante, evidenciando seu potencial como material sensível e promissor para aplicações em dosimetria TL e OSL. Além disso, ao serem comparados com dosímetros comerciais, os materiais desenvolvidos superaram alguns deles em intensidade de sinal.

### Referências:

S/R



# **MEDICINA NUCLEAR**

## Trabalho Completo

Congresso Brasileiro de Física Médica 2025

# Avaliação da dose fetal em procedimento de Medicina Nuclear utilizando simulação Monte Carlo

## Fetal Dose Assessment in Nuclear Medicine Procedure Using Monte Carlo Simulation

Thamires B. Turassa<sup>1</sup>, Arthur de S. B. Z. Alves<sup>2</sup>, Lucio P. Neves<sup>1,3</sup>, Ana P. Perini<sup>1,3</sup>,  
Carla J. Santos<sup>3</sup>, William S. Santos<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

<sup>2</sup>Setor de Medicina Nuclear, Instituto Nacional de Câncer (INCA), Rio de Janeiro, Brasil

<sup>3</sup>Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

<sup>4</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil.

### Resumo

O  $^{99m}\text{Tc}$  é um dos radionuclídeos mais empregado para fins diagnósticos. Embora seu uso seja rigorosamente controlado nesses ambientes, situações atípicas, como a exposição de pacientes gestantes, requerem atenção especial. Para avaliar como gestantes podem ser expostas durante esses procedimentos, foi realizado um estudo por meio de simulações computacionais utilizando o código MCNPX 2.7.0. No arquivo de entrada do código, foram incorporados um simulador antropomórfico baseado em voxels representando uma mulher grávida de 24 semanas e fontes internas de fótons de  $^{99m}\text{Tc}$ , permitindo o transporte da radiação emitida pelas estruturas da paciente. O baço e o útero, quando atuaram como órgãos-fonte, apresentaram os maiores valores do coeficiente S (mGy/MBq·s). O baço contribuiu com a maior dose na gestante, com um valor S de  $1,0 \times 10^{-5}$  mGy/MBq·s, enquanto o útero foi responsável pela maior dose no feto, com um valor de  $1,3 \times 10^{-6}$  mGy/MBq·s.

**Palavras-chave:** Medicina Nuclear, paciente gestante, dosimetria, método Monte Carlo, simulador antropomórfico virtual.

### Abstract

$^{99m}\text{Tc}$  is one of the most widely used radionuclides for diagnostic purposes. Although its use is strictly controlled in these settings, atypical situations, such as exposure of pregnant patients, require special attention. To assess how pregnant women may be exposed during these procedures, a study was conducted using computer simulations with the MCNPX 2.7.0 code. The code's input file incorporated a voxel-based anthropomorphic simulator representing a 24-week pregnant woman and internal photon sources of  $^{99m}\text{Tc}$ , allowing the transport of radiation emitted by the patient's structures. The spleen and uterus, when acting as source organs, showed the highest values of the S coefficient (mGy/MBq·s). The spleen contributed the highest dose to the pregnant woman, with an S value of  $1.0 \times 10^{-5}$  mGy/MBq·s, while the uterus was responsible for the highest dose to the fetus, with a value of  $1.3 \times 10^{-6}$  mGy/MBq·s.

**Keywords:** Nuclear Medicine, pregnant patient, dosimetry, Monte Carlo method, virtual anthropomorphic phantom.

## 1. Introdução

A Medicina Nuclear tem se destacado pela sua capacidade de identificar alterações fisiológicas antes mesmo de manifestações anatômicas, favorecendo diagnósticos precoces e terapias eficazes (1).

Com a ampliação do uso da Medicina Nuclear em populações vulneráveis, como crianças e gestantes, cresce a necessidade de monitoramento rigoroso das doses de radiação administradas. A radiosensibilidade aumentada desses grupos exige abordagens específicas para garantir a segurança radiológica e a eficácia dos procedimentos clínicos (2).

A estimativa de dose absorvida por diferentes órgãos é um desafio, uma vez que não pode ser medida diretamente no corpo humano. Por isso, empregam-se modelos dosimétricos como o formalismo MIRD, que permite calcular a distribuição da radiação a partir da contribuição dos órgãos-fonte nos órgãos-alvo. No entanto, esse modelo apresenta

limitações por considerar distribuições homogêneas e geometrias simplificadas (3).

Objetos simuladores baseados em voxels têm sido introduzidos como alternativa, oferecendo maior precisão por representar a anatomia real dos pacientes e a distribuição dos radiofármacos. Tais avanços possibilitam simulações mais realistas das interações da radiação com os tecidos humanos (3).

Neste contexto, o presente estudo propõe a aplicação do método Monte Carlo para estimar a dose recebida em um conjunto de órgãos de uma paciente gestante, submetida a um procedimento diagnóstico utilizando o radionuclídeo  $^{99m}\text{Tc}$ . O objetivo é estimar coeficientes de dose (em mGy/MBq·s) para os principais órgãos, contribuindo com dados relevantes para a otimização da proteção radiológica em Medicina Nuclear.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Código de transporte de radiação MCNPX 2.7.0

As simulações de transporte de radiação deste estudo foram realizadas utilizando o software MCNPX (*Monte Carlo N-Particle eXtended*), versão 2.7.0, amplamente empregado em aplicações médicas e de proteção radiológica. O MCNPX utiliza um gerador de números pseudoaleatórios para simular o comportamento probabilístico de partículas e suas interações em ambientes complexos (4). As simulações são configuradas por meio de arquivos de entrada que especificam a geometria do problema, as regiões de interesse para medição da grandeza desejada e a fonte radioativa. Neste trabalho, os dados gerados pelo software exigiram processamento adicional para o cálculo dos valores S, fundamentais para a dosimetria proposta.

## 2.2. Simulador antropomórfico computacional

A paciente gestante (24ª semana) foi representada, computacionalmente, pelo simulador antropomórfico virtual Katja (5). O feto é representado por 18 estruturas distintas, abrangendo órgãos e tecidos específicos. Esse modelo combina dados de dois simuladores anteriores: imagens de ressonância magnética de uma gestante e o modelo AF (*Adult Female*), que segue os parâmetros antropométricos de referência da ICRP 110 (6). Como resultado, o objeto simulador Katja fornece uma representação realista e compatível com os padrões internacionais para estudos de dosimetria em mulheres grávidas (5).

## 2.3 Cálculo dosimétrico

O software MCNPX 2.7.0 disponibiliza diversos tipos de contagens para análise de grandezas associadas à radiação em regiões específicas da geometria simulada, chamados de *tallies* (4). Neste trabalho, foi adotado o *tally* \*F8, que calcula a deposição média de energia (em MeV) por partícula fonte em um volume definido, servindo como base para o cálculo dos valores S. Para a simulação do radionuclídeo  $^{99m}\text{Tc}$ , utilizou-se o esquema de decaimento descrito no relatório MIRD nº 3, o qual especifica dois principais fótons emitidos: um com energia de 0,0186 MeV e taxa de emissão de 0,077 partículas por desintegração, e outro com 0,1405 MeV e taxa de 0,879 partículas por desintegração. A partir dessas energias e suas respectivas importâncias relativas, foi possível converter diretamente os resultados obtidos com \*F8 nos valores S. Esses valores  $S(T \leftarrow S)$  representam a dose média absorvida por um órgão-alvo (T), por unidade de atividade acumulada ( $\bar{A}$ ) em um órgão-fonte (S), conforme descrito no formalismo MIRD, apresentado na Equação 1 (7).

$$S(E_i, \Phi_T)_{(T \leftarrow S)} = \sum_i \frac{E_i \Phi_T(T \leftarrow S)}{m_T} \quad (1)$$

Onde  $E_i$  (em unidade de MeV) é a energia média do i-ésimo tipo de radiação multiplicado por sua respectiva probabilidade desse modo de decaimento;  $\Phi_T(T \leftarrow S)$  é a fração de dose absorvida (SAF) no órgão em questão e  $m_T$  é a massa do órgão alvo. A dose em um órgão então é o produto de S e  $\bar{A}$ .

## 2.4. Definição da fonte de fótons ( $^{99m}\text{Tc}$ )

Para simular a radiação emitida internamente em um modelo antropomórfico baseado em voxel, no MCNPX 2.7.0 requer a definição de uma lista de voxels correspondente ao tecido-fonte de interesse, a partir da qual as partículas iniciais são amostradas. Por exemplo, para simular uma fonte no fêmur, o código utiliza todos os elementos da malha associados a essa estrutura. Também é possível agrupar diferentes regiões, como todas as áreas ossificadas do esqueleto fetal, para formar uma fonte combinada. Neste trabalho, foram simuladas  $5 \times 10^7$  histórias de partículas com o objetivo de reduzir os erros estatísticos nas estimativas. As simulações foram realizadas em um computador pessoal com 16 GB de memória RAM, e o tempo de processamento por cenário variou entre 4 e 5 horas, dependendo do órgão-fonte considerado.

## 3. Resultados

Os valores S obtidos para 26 diferentes órgãos e tecidos, tendo como órgãos fonte o fígado, o baço e o útero estão nas Tabelas 1-A e 1-B, onde são apresentados os valores correspondentes aos órgãos alvo da gestante e do feto, respectivamente.

Com base nos valores S apresentados na Tabela 1-A, correspondentes aos órgãos alvo maternos, e considerando os níveis de atividade inicial administrada em distintos tipos de exames diagnósticos segundo a literatura, foi possível calcular as taxas absolutas de dose absorvida em diversos órgãos da gestante. Esses resultados são apresentados nas Figuras 2-A, 2-B e 2-C.

Com base nos valores S apresentados na Tabela 1-B, onde os órgãos alvo correspondem às estruturas fetais, verificou-se que o útero foi o órgão fonte com maior contribuição para a dose absorvida pelo feto, enquanto o baço apresentou a menor influência nesse contexto. No cenário em que o útero foi definido como órgão fonte, as maiores doses foram observadas nos braços do feto, na placenta e no fluido amniótico. Por outro lado, as menores doses ocorreram na vesícula biliar, no cordão umbilical e no fígado fetal. Destaca-se que a distribuição da dose se apresentou mais homogênea quando o útero foi a fonte de radiação, o que pode ser atribuído à proximidade anatômica entre o órgão fonte e os órgãos alvo fetais. As Figuras 3-A, 3-B e 3-C ilustram as taxas de dose absorvida estimadas para diferentes estruturas fetais, considerando os órgãos do feto como regiões alvo da radiação.

**Tabela 1-A.** Valores S (em mGy/MBq.s) calculados para a paciente. Entre parênteses estão os erros relativos percentuais.

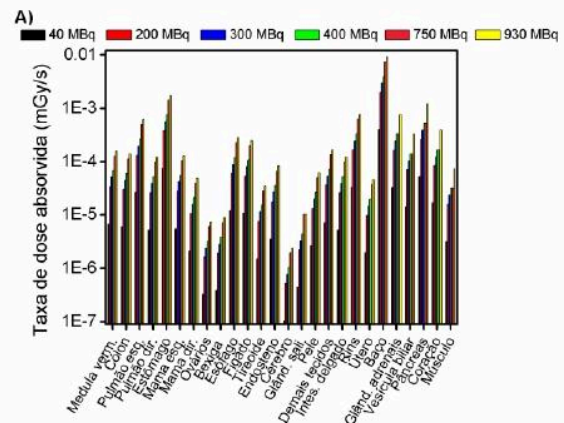
| Órgãos Alvo         | Órgãos Fonte  |               |               |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | Fígado        | Baço          | Útero         |
| Medula Vermelha     | 1,7E-07 (0,1) | 1,7E-07 (0,1) | 1,5E-07 (0,1) |
| Cólon               | 2,0E-07 (0,1) | 1,5E-07 (0,2) | 6,1E-07 (0,1) |
| Pulmão Esquerdo     | 1,6E-07 (0,1) | 6,6E-07 (0,1) | 1,2E-08 (0,5) |
| Pulmão Direito      | 4,7E-07 (0,1) | 1,3E-07 (0,1) | 1,5E-08 (0,4) |
| Estômago            | 6,1E-07 (0,1) | 1,9E-06 (0,1) | 1,5E-07 (0,2) |
| Mama Esquerda       | 1,1E-07 (0,2) | 1,4E-07 (0,2) | 1,1E-08 (0,7) |
| Mama Direita        | 2,3E-07 (0,2) | 5,3E-08 (0,3) | 1,3E-08 (0,6) |
| Ovários             | 1,1E-08 (3,1) | 8,1E-09 (3,5) | 1,9E-07 (0,7) |
| Bexiga              | 1,3E-08 (1,4) | 9,6E-09 (1,7) | 6,1E-07 (0,2) |
| Urinária            |               |               |               |
| Esôfago             | 3,2E-07 (0,3) | 3,0E-07 (0,3) | 1,4E-08 (1,5) |
| Fígado              | 2,3E-06 (0,1) | 2,7E-07 (0,1) | 1,0E-07 (0,1) |
| Tireoide            | 4,6E-08 (1,2) | 3,8E-08 (1,3) | 2,5E-09 (5,1) |
| Endósteno           | 8,9E-08 (0,1) | 8,9E-08 (0,1) | 7,9E-08 (0,1) |
| Cérebro             | 2,7E-09 (0,7) | 2,6E-09 (0,7) | 4,1E-10 (1,7) |
| Glândulas Salivares | 1,2E08 (1,2)  | 1,1E-08 (1,2) | 9,8E-10 (3,9) |
| Pele                | 5,5E-08 (0,1) | 6,6E-08 (0,1) | 4,5E-08 (0,1) |
| Demais tecidos      | 8,9E-08 (0,1) | 1,8E-07 (0,1) | 1,4E-07 (0,1) |
| Intestino Delgado   | 1,3E-07 (0,1) | 1,3E-07 (0,1) | 6,8E-07 (0,1) |
| Rins                | 6,0E-07 (0,1) | 8,3E-07 (0,1) | 2,0E-07 (0,2) |
| Útero               | 9,9E-08 (0,2) | 4,9E-08 (0,2) | 1,8E-06 (0,1) |
| Baço                | 2,7E-07 (0,2) | 1,0E-05 (0,1) | 5,0E-08 (0,4) |
| Glândulas Adrenais  | 1,2E-06 (0,3) | 8,2E-07 (0,3) | 1,0E-07 (0,9) |
| Vesícula Biliar     | 1,8E-06 (0,2) | 3,5E-07 (0,5) | 1,8E-07 (0,8) |
| Pâncreas            | 6,9E-07 (0,1) | 1,3E-06 (0,1) | 2,2E-07 (0,2) |
| Coração             | 3,9E-07 (0,1) | 4,2E-07 (0,1) | 2,0E-08 (0,5) |
| Músculo             | 6,5E-08 (0,1) | 7,9E-08 (0,1) | 7,8E-08 (0,1) |

Fonte: A autora (2025)

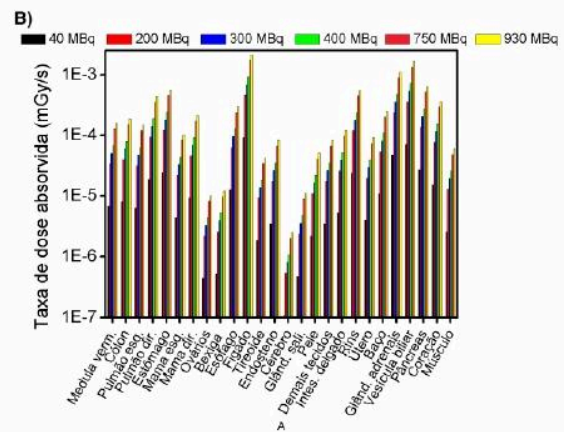
**Tabela 1-B.** Valores S (em mGy/MBq.s) calculados para o feto. Entre parênteses estão os erros relativos percentuais.

| Órgãos Alvo      | Órgãos Fonte  |               |               |
|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                  | Fígado        | Baço          | Útero         |
| Placenta         | 5,5E-08 (0,2) | 2,5E-08 (0,3) | 1,2E-06 (0,1) |
| Cordão Umbilical | 2,4E-07 (0,4) | 6,5E-08 (0,8) | 9,2E-07 (0,2) |
| Fluido Amniótico | 1,6E-07 (0,1) | 6,1E-08 (0,2) | 1,2E-06 (0,1) |
| Tecido da cabeça | 4,5E-08 (0,6) | 2,9E-08 (0,8) | 1,1E-06 (0,1) |
| Fluido Cerebral  | 3,5E-08 (1,9) | 2,1E-08 (2,4) | 1,1E-06 (0,4) |
| Espinha          | 6,6E-08 (1,1) | 7,0E-08 (1,1) | 1,0E-06 (0,3) |
| Pele             | 1,1E-07 (0,3) | 6,5E-08 (0,4) | 1,2E-06 (0,1) |
| Tronco           | 1,4E-07 (0,2) | 1,1E-07 (0,2) | 1,0E-06 (0,1) |
| Braços           | 8,8E-08 (0,5) | 4,6E-08 (0,7) | 1,3E-06 (0,1) |
| Pernas           | 1,9E-07 (0,3) | 7,8E-08 (0,4) | 1,1E-06 (0,1) |
| Cérebro          | 2,9E-08 (0,6) | 1,9E-08 (0,7) | 1,0E-06 (0,1) |
| Olhos            | 4,8E-08 (3,4) | 2,6E-08 (4,6) | 1,1E-06 (0,7) |
| Lentes dos Olhos | 6,0E-08 (11)  | 2,6E-08 (15)  | 1,1E-06 (2,4) |
| Corda Espinhal   | 6,3E-08 (1,5) | 6,9E-08 (1,4) | 1,1E-06 (0,4) |
| Pulmões          | 6,1E-08 (0,8) | 5,9E-08 (0,8) | 1,1E-06 (0,2) |
| Coração          | 7,6E-08 (1,5) | 6,0E-08 (1,7) | 9,9E-07 (0,4) |
| Rins             | 1,0E-07 (0,9) | 1,2E-07 (0,9) | 1,0E-06 (0,3) |
| Fígado           | 9,9E-08 (0,5) | 7,4E-08 (0,6) | 9,7E-07 (0,2) |
| Estômago         | 9,5E-08 (1,9) | 9,4E-08 (1,9) | 1,1E-06 (0,6) |
| Vesícula Biliar  | 1,1E-07 (6,0) | 7,4E-08 (7,1) | 8,7E-07 (2,1) |
| Crânio           | 3,2E-08 (1,0) | 2,0E-08 (1,2) | 1,2E-06 (0,2) |
| Corpo do Feto    | 1,1E-07 (0,1) | 5,5E-08 (0,1) | 1,1E-06 (0,1) |

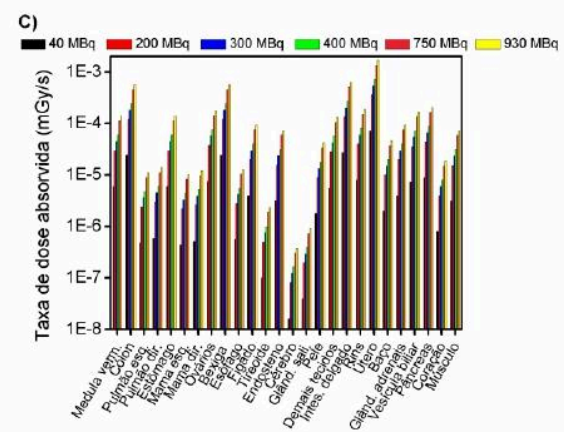
Fonte: A autora (2025)



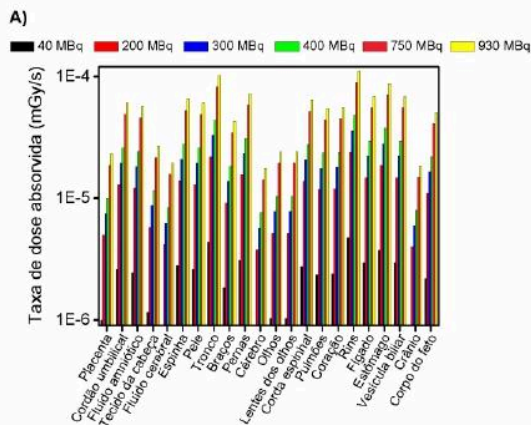
**Figura 2-A:** Taxa de doses absorvidas em função da atividade inicial administrada a paciente considerando o baço como órgão fonte.



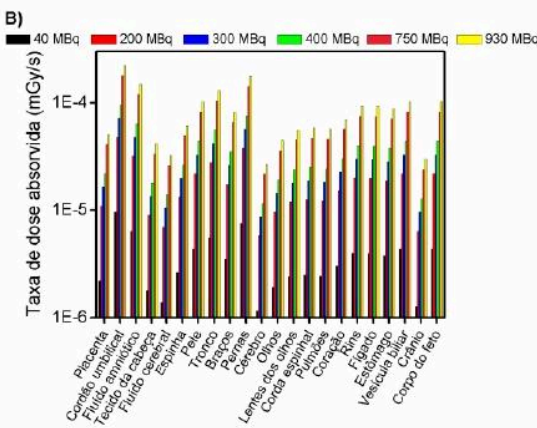
**Figura 2-B:** Taxa de doses absorvidas em função da atividade inicial administrada a paciente considerando o fígado como órgão fonte.



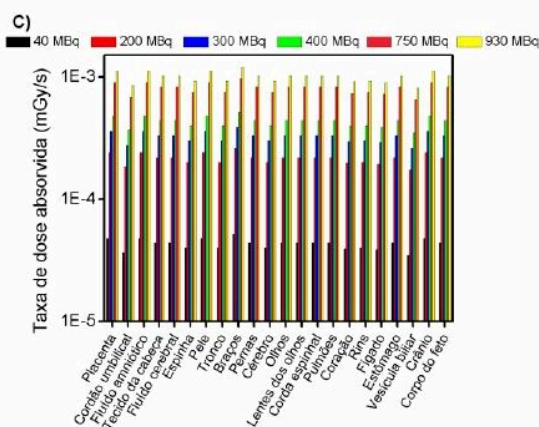
**Figura 2-C:** Taxa de doses absorvidas em função da atividade inicial administrada a paciente considerando o útero como órgão fonte.



**Figura 3-A:** Taxa de doses absorvidas nas estruturas fetais em função da atividade inicial administrada a paciente considerando o baço como órgão fonte.



**Figura 3-B:** Taxa de doses absorvidas nas estruturas fetais em função da atividade inicial administrada a paciente considerando o fígado como órgão fonte.



**Figura 3-C:** Taxa de doses absorvidas nas estruturas fetais em função da atividade inicial administrada a paciente considerando o útero como órgão fonte.

A distribuição de dose no feto demonstrou-se mais uniforme quando o útero foi o órgão fonte, devido à sua proximidade com as estruturas fetais.

#### 4. Discussão

A partir dos dados apresentados, observou-se que o baço foi o órgão fonte que mais contribuiu para a dose absorvida pela gestante, enquanto o útero apresentou a menor contribuição. Quando o baço foi considerado como fonte emissora de radiação, os órgãos que apresentaram as maiores doses absorvidas foram: o próprio baço, seguido pelo estômago e pâncreas. Por outro lado, os órgãos menos afetados pela irradiação incluíram o encéfalo (cérebro), os ovários e a bexiga urinária.

Os resultados dos valores simulados foram compatíveis com dados da literatura, validando a eficácia do uso do simulador Katja e do modelo voxel na simulação da distribuição de dose (8).

É importante destacar que a gravidez não precisa ser considerada um impedimento absoluto para a realização de procedimentos em Medicina Nuclear, especialmente os de caráter diagnóstico que utilizam radionuclídeos de curta meia-vida. Isso é válido desde que haja uma justificativa clínica sólida e que alternativas sem uso de radiação ionizante tenham sido previamente avaliadas (9).

Como princípio geral, mulheres grávidas não devem ser submetidas a tratamentos com substâncias radioativas, exceto em casos extremos, nos quais o tratamento com radionuclídeos seja essencial para preservar sua vida. Nesses casos, é fundamental calcular e informar a dose fetal estimada, além de discutir os riscos envolvidos com a paciente e com o médico responsável. Em situações críticas, pode até ser considerada a possibilidade de interrupção da gestação.

#### 5. Conclusões

As doses absorvidas estimadas para o feto mostraram-se, de modo geral, inferiores às relatadas em estudos anteriores, indicando a adequação do modelo adotado.

Adicionalmente, os achados evidenciam a relevância da utilização de modelos anatômicos computacionais realistas, os quais proporcionam estimativas mais fidedignas da distribuição de dose, quando comparados aos simuladores estilizados, que representam os órgãos por geometrias idealizadas. Assim, os resultados aqui apresentados indicam que as estimativas de dose fetal geradas por este estudo apresentam maior grau de precisão, contribuindo para a evolução da dosimetria interna aplicada a pacientes gestantes.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer às agências de pesquisa: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos projetos de pesquisa 309675/2021-9 (W. S. S), 312160/2023-2 (L.P.N), 312124/2021-0 (A.P.P) UNIVERSAL (407493/2021-2 e 405536/2023-2), Projeto MAI/DAI (403556/2020-1); Programa Conhecimento Brasil - Apoio a Projetos em Rede com Pesquisadores Brasileiros no Exterior, projeto CNPq 444561/2024-2; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de

Minas Gerais (FAPEMIG) pelos projetos de pesquisa APQ-04215-22, APQ-01254-23 e APQ-04348-23. Este trabalho faz parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INCT/INAIS), projeto CNPq 406303/2022-3.

### **Declaração**

Os autores fizeram uso da ferramenta DeepSeek ([www.deepseek.com](http://www.deepseek.com)) para correção gramatical do texto.

### **Referências**

1. Robilotta, CC. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. Revista Panamericana de Salud Pública. 2006, 134-142.
2. Baptista, E et al. Safety of imagiologic exams in pregnancy. Acta Obstet Ginecol Port. 2014, 8(2):176-185.
3. Siegel, JA.; Thomas, SR, Stubbs, JB.; Stabin, MG.; Hays, MT.; Koral KF, et al. MIRD pamphlet no. 16: Techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for use in human radiation dose estimates. J Nucl Med. 1999, 40(2): 37S-61S.
4. Pelowitz, DB. et al. MCNP<sup>X</sup> 2.7.0 and extetensions. Los Alamos National Laboratory (LANL), Los Alamos, NM (United States), 2011.
5. Becker, J. et al. Katja—The 24th week of virtual pregnancy for dosimetric calculations. Polish Journal of Medical Physics and Engineering. 2008, 14(1): 1 – 7.
6. ICRP. Adult Reference Computational Phantoms. 2009, ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39 (2): 1 – 150.
7. ICRP. The ICRP computational framework for internal dose assessment for reference adults: specific absorbed fractions. ICRP Publication 133. 2016, Ann. ICRP 45(2):1–74.
8. Colletti, P. M. PET-CT in the Pregnant Patient. Image Wisely. 2012, 333-337.
9. Bural, GG.; Laymon, CM.; Moutz, JM. Nuclear imaging of a pregnant patient: should we perform nuclear medicine procedures during pregnancy? Molecular imaging and radionuclide therapy, 2012, 21(1): 1 - 5.

### **Contato:**

**Thamires Batista Turassa**  
Avenida João Naves de Ávila, 2121 – Bairro Santa Mônica, Uberlândia – MG, CEP: 38408-100  
[thamires.turassa@ufu.br](mailto:thamires.turassa@ufu.br)

# Dispositivos celulares como ferramentas para detecção de radiação ionizante: revisão da literatura e perspectivas de uso na medicina nuclear

## Cell phones as tools for detecting ionizing radiation: A literature review and perspectives uses in nuclear medicine

Rick B. D. S. Cavalcante<sup>1</sup>, Diego. M. D. Santos<sup>1</sup>, Fernando D. A. Fernandes<sup>1</sup>, João P. M. Assunção<sup>1</sup>, Paola D. S. Balestieri<sup>1</sup>, Ramon M. N. Mendonça<sup>1</sup>, Ryenne B. Bueno<sup>1</sup>, Cláudio T. Mesquita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hospital Universitário Antônio Pedro/Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil

### Resumo

Os dispositivos celulares, inicialmente desenvolvidos há quase cinquenta anos com o propósito de viabilizar a comunicação interpessoal portátil, evoluíram para minicomputadores com elevada capacidade de processamento e múltiplas funcionalidades. Um de seus componentes mais relevantes é o sensor fotográfico, capaz de capturar imagens ao converter luz visível em sinais eletrônicos. Devido à sua natureza semicondutora, esses sensores também conseguem detectar outras faixas do espectro eletromagnético, como radiação infravermelha, raios X e gama. Essa característica tem despertado o interesse da comunidade científica para o uso potencial desses dispositivos na detecção de radiação ionizante. Este estudo realizou uma revisão bibliográfica com o objetivo de identificar o estado da arte sobre o uso de sensores de celulares na medição de radiação, além de explorar possíveis aplicações práticas no contexto da medicina nuclear. Conclui-se que, embora promissora, a utilização de dispositivos celulares para esse fim deve ser restrita ao âmbito da pesquisa, até que estudos adicionais comprovem sua eficácia e segurança em ambientes clínicos.

**Palavras-chave:** Dispositivos Celulares; Medicina Nuclear; Radiação Ionizante; Sensores Fotográficos.

### Abstract

Cell phones, originally developed nearly fifty years ago to enable portable interpersonal communication, have evolved into powerful minicomputers with high processing capacity and a wide range of functionalities. One of their most important components is the photographic sensor, which captures images by converting visible light into electronic signals. Due to their semiconductor nature, these sensors can also detect other parts of the electromagnetic spectrum, such as infrared radiation, X-rays, and gamma rays. This capability has sparked scientific interest in the potential use of mobile devices for detecting ionizing radiation. This study presents a literature review aimed at identifying the state of the art in radiation measurement using mobile phone sensors, as well as exploring potential applications in the field of nuclear medicine. The study concludes that, while promising, the use of mobile devices for this purpose should be limited to research settings until further studies confirm their effectiveness and safety in clinical environments.

**Keywords:** Cellular Devices; Nuclear Medicine; Ionizing Radiation; Photographic Sensors.

### 1. Introdução

Há cerca de 50 anos atrás<sup>1</sup>, os primeiros Dispositivos Celulares (DC) surgiram como uma ferramenta de comunicação portátil, sendo utilizado inicialmente apenas para a realização de chamadas por voz entre duas pessoas.

Atualmente, os DC são a principal forma de comunicação entre indivíduos, estando aquém do que foi imaginado inicialmente. Chamadas por vídeo, bate papo, compartilhamento de fotos e vídeos por redes sociais são os principais usos destes dispositivos, mantendo sua funcionalidade primária de comunicação, porém, estando na era dos celulares inteligentes, carregamos também uma plataforma que vai além de ser um mero minicomputador de bolso, servindo para manipular diversos subsistemas, como relógios, óculos, dispositivos de saúde, dentre outros<sup>2</sup>.

Um dos principais sensores de um DC, é o Sensor Fotográfico (SF), que funciona capturando imagens

formadas por luz visível e convertendo em sinal eletrônico<sup>3</sup>.

Os SF dos DC utilizam fotodiodos semicondutores como elementos detectores, tornando-os sensíveis a um espectro de radiação eletromagnética muito mais amplo do que apenas à luz visível para qual são projetados, abrangendo parte do espectro da radiação infravermelho, até os raios x e gama<sup>3</sup>.

Os principais fotodiodos semicondutores presentes nos SF dos DC são os de tecnologia semicondutora de óxido metálico complementar (CMOS) que também são utilizados em aplicações na área de metrologia das Radiações Ionizantes (RI), servindo como detectores em procedimentos de radiografia médica e industrial<sup>4</sup>.

A detecção da RI pelo SF, é visualizada através de pontos e traços nas imagens produzidas durante o período de aquisição, como visto na imagem 1.

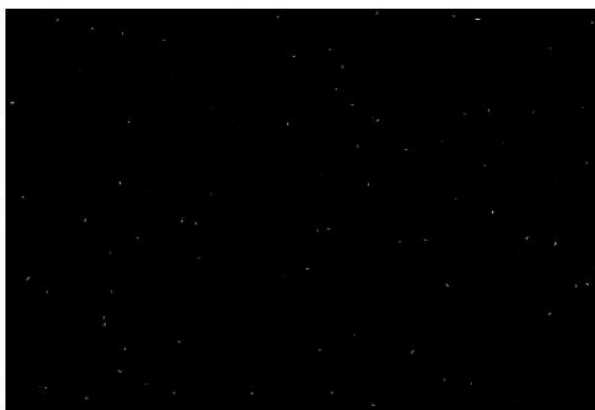


Figura 1. Recorte de imagem produzida pela exposição de um SF a uma fonte de Am-241.

Devido a impossibilidade de distinção dos ruídos, devidos à luz visível e das radiações gama, é necessário que durante a aquisição o sensor fotográfico seja protegido da luz visível, sendo detectada apenas a radiação gama.

Por via de regra, algoritmos utilizam as imagens adquiridas sob exposição de RI e contam a quantidade de pontos e traços presentes nas imagens para quantificar a quantidade presente no ambiente.

Na medicina nuclear, a detecção de RI é realizada a todo momento, desde a preparação dos radiotraçadores para serem administrados aos pacientes, a realização de medidas in vivo, até a busca por contaminações.

Neste trabalho, buscamos realizar uma revisão da literatura sobre o uso dos DC como medidores de radiação e investigar possíveis aplicações na rotina de um Serviço de Medicina Nuclear (SMN).

## 2. Materiais e Métodos

Para o levantamento bibliográfico sobre o uso de SF para medição de radiação ionizante, foram utilizadas bases de dados como Google Scholar, PubMed e SciELO. Foram recuperados trabalhos publicados no período de 2016 a 2022.

A busca por publicações foi realizada com o uso de palavras-chave que relacionassem os termos SF e RI, tanto em português quanto em inglês.

Visando identificar possíveis aplicações na rotina de um SMN, também foram consideradas casos recomendados por especialistas da área. Em cada caso, foi analisada a aplicabilidade do uso de DC como detectores de RI.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Revisão Bibliográfica

Observou-se uma escassez de estudos que investiguem de forma aprofundada a capacidade de detecção de RI por meio dos SF de DC. A seguir, são destacadas as principais publicações analisadas:

**Hoey et al. (5)** investigaram seis aplicativos disponíveis em lojas virtuais no período do estudo. Quatro deles contavam com calibração da taxa de dose realizada pelos desenvolvedores ou permitiam que os próprios usuários realizassem a calibração com fontes conhecidas de RI. Os demais forneciam apenas contagens por minuto. Utilizando uma fonte de Co-60, foi identificado que o tempo mínimo necessário para uma detecção confiável variava entre 10 e 25 minutos, dependendo da taxa de dose incidente no sensor e do algoritmo do aplicativo. O estudo também demonstrou que a resposta do sensor varia conforme o ângulo de exposição e a energia dos fótons incidentes, sendo esta última influência reduzida com o aumento da energia. De acordo com o aplicativo utilizado, foi possível verificar uma variação de 10 a 80 % do valor de taxa de dose medido para o valor de referência.

**Kang et al. (6)** desenvolveram um algoritmo próprio para realizar medições com DC aplicadas à dosimetria médica. Os resultados mostraram uma boa concordância com os resultados de Hoey et al., e concluiu que, embora os DC não possam ser considerados dosímetros confiáveis nas condições do estudo, eles podem funcionar adequadamente como alarmes de níveis de dose.

**Wei et al. (7)** também desenvolveram um algoritmo específico para medição de dose e taxa de dose. Diferentemente dos estudos anteriores, neste caso o sensor do DC não precisou ser protegido da luz visível para permitir a detecção da RI.

**Alessia Mafodda e Clemens Woda (8)** analisaram o aplicativo *RadioactivityCounter* utilizando catorze modelos distintos de smartphones. Os resultados foram semelhantes aos obtidos por Hoey et al., porém, a maior diversidade de dispositivos permitiu classificar os modelos de acordo com o nível de ruído dos sensores, fator que afeta diretamente o limiar de detectabilidade. Além disso, os autores observaram que o pré-processamento de imagem presente em alguns dispositivos interfere nas contagens, mascarando eventos e elevando o limiar de detecção.

**Johary et al. (9)** também analisou o aplicativo *RadioactivityCounter* e verificou que acima de 20  $\mu\text{Sv/h}$  ele consegue oferecer leituras confiáveis a partir de 3 minutos de medição da radiação, oferecendo uma exatidão de 1,44 % para taxas acima de 100  $\mu\text{Sv/h}$ .

### 3.2. Aplicação Em Dosimetria

Segundo a norma **CNEN NN 3.05 (10)**, a avaliação da exposição interna de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) deve ser realizada sempre que houver suspeita de incorporação de material radioativo, que é mais provável em SMN que utilizam o radiotraçador NaI (I-131), devido a sua volatilidade<sup>11</sup>.

Atualmente, os métodos de dosimetria interna são escassos e apresentam grandes desafios em sua realização. Frente a isso, **Dantas et al. (12)**

apresentou uma metodologia para monitoração da exposição interna de IOE de um SMN devido a incorporação de I-131 utilizando monitores de contaminação.

O método consiste na realização da calibração *in-loco* de tais detectores utilizando um simulador de tireoide-pescoço impregnado com solução-padrão de Ba-133 produzida e certificada pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI-IRD-CNEN) (Figura 2), onde o SMN recebe a fonte via empréstimo ou doação, e é responsável por gerar o fator de calibração que permite a utilização de monitores de contaminação para quantificação da atividade incorporada pelo IOE.



**Figura 2.** Simulador de tireoide-pescoço desenvolvido no IRD.  
Fonte: Oliveira *et al.*

Os monitores de contaminação utilizados nos SMN são de tecnologia Geiger-Müller que podem apresentar incertezas de até 20% na rotina de um SMN, tal incerteza supera o erro de aproximadamente 10% para uma taxa de dose de 20  $\mu\text{Sv/h}$  para os DC<sup>8</sup>.

Tal metodologia se mostra candidata se ser adaptada para o uso do DC em substituição aos monitores de contaminação.

### 3.2. Aplicação Como Medidor de Contaminação

Na rotina clínica de um SMN, detectores baseados na tecnologia Geiger-Müller são comumente utilizados para o controle de contaminações nos ambientes. Essas contaminações podem ocorrer por diversos fatores, como erros no manuseio, preparo e administração de materiais radioativos, acidentes, ou ainda devido à volatilidade dos compostos utilizados. Embora sejam esperadas dentro do ambiente controlado do SMN, também podem ocorrer

contaminações externas, relacionadas à presença de pacientes injetados.

Entre todos os pacientes atendidos por um SMN, aqueles submetidos à terapia com radionuclídeos representam o maior risco de contaminação tanto dentro quanto fora do serviço. Por essa razão, esses pacientes recebem orientações específicas com o objetivo de minimizar a propagação da contaminação em seus ambientes familiar e profissional nos dias seguintes ao tratamento.

A contaminação, por sua natureza, é um aspecto inevitável e intrínseco à prática terapêutica com radionuclídeos. Por isso, o manejo adequado é fundamental. Pensando nisso, alguns SMN podem fornecer treinamento e medidores de contaminação aos seus pacientes, como forma de reduzir a propagação do material radioativo e, conseqüentemente, a exposição de familiares e colegas de trabalho.

Entretanto, a disponibilização desses dispositivos aos pacientes ainda é limitada, devido ao alto custo dos equipamentos, que exigem manutenção e calibração periódicas, além da alta demanda de pacientes em muitos serviços. Por esses motivos, poucos SMN conseguem oferecer tais dispositivos de forma rotineira.

A medição de contaminação é, em grande parte, uma atividade qualitativa, basta posicionar o detector próximo ao local de interesse e observar sua resposta. Nesse contexto, os DC se apresentam como candidatos para essa função, especialmente considerando que, presumivelmente, cada paciente já possui um aparelho celular próprio, o que representaria uma economia significativa para os serviços.

No entanto, o uso de DC como detectores requer cautela, dado o grande número de modelos disponíveis no mercado, cada um com diferentes sensibilidades e limiares de detecção. Dessa forma, é essencial que o SMN realize previamente uma análise da capacidade de detecção do dispositivo do paciente antes de autorizar seu uso para esse fim.

### 3.3. Calibração

De acordo com as normas regulatórias vigentes, os detectores do tipo Geiger-Müller utilizados em SMN devem ser calibrados obrigatoriamente a cada dois anos por laboratórios devidamente certificados. Esse procedimento garante a rastreabilidade metrológica das medições e assegura a confiabilidade dos dados obtidos durante o monitoramento da radiação.

Entretanto, os DC, embora promissores como ferramentas alternativas para a detecção de radiação ionizante, não seguem o mesmo protocolo. Isso se deve ao fato de que tais dispositivos não foram originalmente concebidos com essa finalidade, o que compromete sua aceitação normativa como

instrumentos de medição oficiais. Além disso, os laboratórios de calibração atualmente disponíveis no mercado não oferecem serviços específicos para a calibração desses equipamentos, justamente por não serem reconhecidos como detectores de RI.

Alguns aplicativos e softwares desenvolvidos para DC permitem a calibração manual da taxa de dose, utilizando como referência fontes radioativas padrão disponíveis no próprio SMN. Embora essa calibração possa melhorar a precisão relativa das medições, ela carece de rastreabilidade metrológica formal, o que significa que os resultados obtidos não podem ser considerados equivalentes aos de uma calibração realizada por um laboratório acreditado. Essa limitação reforça a ideia de que, embora úteis como ferramentas complementares, os dispositivos celulares ainda não substituem os equipamentos convencionais no que diz respeito à conformidade com os padrões regulatórios e à garantia de precisão nas medições de radiação ionizante.

#### 4. Conclusões

Os DC representam ferramentas tecnológicas versáteis e amplamente acessíveis, o que os torna atraentes para aplicações diversas, inclusive na detecção de radiação ionizante RI. Seu uso nessa finalidade já é reconhecido em alguns estudos e contextos experimentais. No entanto, é imprescindível cautela na escolha dos aplicativos utilizados, uma vez que cada software apresenta sensibilidade distinta e adota diferentes grandezas para expressar a medição da RI, o que pode impactar significativamente na confiabilidade dos resultados.

Apesar do potencial promissor, os DC ainda não podem substituir os medidores convencionais de RI em aplicações clínicas na medicina nuclear. Isso se deve, em grande parte, à escassez de publicações científicas que explorem detalhadamente seu uso nesse campo específico, sendo que nenhuma delas é dedicada exclusivamente à prática da medicina nuclear. A ausência de validação sistemática limita sua adoção como ferramenta principal em ambientes clínicos que demandam alta precisão e rastreabilidade metrológica.

Dessa forma, recomenda-se que, antes da eventual incorporação desses dispositivos à rotina dos SMN, sejam conduzidos estudos controlados que avaliem sua eficácia e reprodutibilidade nos diferentes cenários de prática clínica. Além disso, a implementação dessa tecnologia deve ser supervisionada por um especialista em Física Médica ou por um profissional com formação em metrologia aplicada à radiação ionizante, a fim de garantir a segurança e a confiabilidade das medições no ambiente clínico.

#### Referências

1. Murphy T. 40 years after the first cell phone call: who is inventing tomorrow's future? *IEEE Consum Electron Mag.* 2013 Oct;2(4):44-6. doi:10.1109/MCE.2013.2273653.
2. Blahnik V. Smartphone imaging technology and its applications. *Arch Transp.* 2021;61(3):7-18. doi:10.1515/aot-2021-0023.
3. Stefanov KD. CMOS image sensors. Bristol (UK): IOP Publishing; 2022.
4. Guerrini N. Design of CMOS detectors for electrons and X-rays. In: 21st International Workshop on Radiation Imaging Detectors; 2019 Jul 7-12; Sundsvall, Sweden. Geneva: CERN; 2019. Available from: <https://indico.cern.ch/event/774201/contributions/3463471/>
5. Van Hoey O, Salavrakos A, Marques A, Nagao A, Willems R, Vanhavere F, et al. RADIATION DOSIMETRY PROPERTIES OF SMARTPHONE CMOS SENSORS. *Radiation Protection Dosimetry.* 2015 Jun 3;ncv352.
6. Kang, Han Gyu, et al. "An Investigation of Medical Radiation Detection Using CMOS Image Sensors in Smartphones." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 823, July 2016, pp. 126-134, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.04.007>. Accessed 17 Sept. 2022.
7. Wei, Qing-Yang, et al. "Surveying Ionizing Radiations in Real Time Using a Smartphone." *Nuclear Science and Techniques*, vol. 28, no. 5, 31 Mar. 2017, <https://doi.org/10.1007/s41365-017-0215-x>. Accessed 17 May 2022.
8. Mafodda, Alessia, and Clemens Woda. "External Dose-Rate Measurements Based on Smartphone CMOS Sensors." *Radiation Measurements*, vol. 137, Sept. 2020, p. 106403, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106403>. Accessed 15 May 2022.
9. Johary, Yehia H., et al. "The Suitability of Smartphone Camera Sensors for Detecting Radiation." *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, 16 June 2021, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92195-y>.
10. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear: norma CNEN NN 3.05. Resolução CNEN/CD nº 159/2013. Rio de Janeiro: CNEN; 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/nomas/grupo-6/grupo6-nrm305.pdf>
11. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. Vienna: IAEA; 1999. (IAEA-TECDOC-1092).
12. Dantas BM, de Oliveira SM, Dantas ALA, de Assis JC. Avaliação da sensibilidade de monitores de contaminação para aplicação em monitoração da exposição interna de trabalhadores em medicina nuclear. *Braz. J. Rad. Sci.* [Internet]. 2015 May 21 [cited 2025 Apr. 25];3(1A (Suppl.). Available from: [https://bjrs.org.br/revista\\_33014/index.php/REVISTA/article/view/95](https://bjrs.org.br/revista_33014/index.php/REVISTA/article/view/95)

#### Contato:

Rick Bruno da Silva Cavalcante  
Hospital Universitário Antônio Pedro - Universidade Federal Fluminense  
Av. Marquês do Paraná, 303 - Centro, Niterói - RJ, 24033-900  
[Rick.cavalcante@ebserh.gov.br](mailto:Rick.cavalcante@ebserh.gov.br)

## Imagem de PET/CT no Carcinoma Hepatocelular: Comparando o Desempenho entre 18F-FDG e 18F-PSMA.

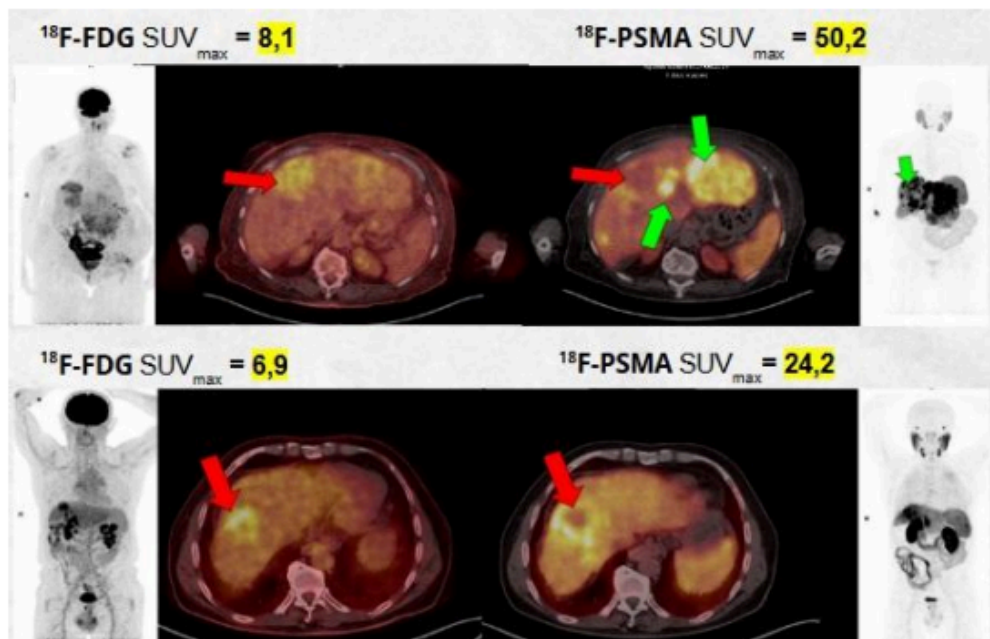
Bordoni G.<sup>1</sup>, Takahashi M.<sup>2</sup>, Ramos C.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Giulia Bordoni, <sup>2</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>3</sup> Universidade Estadual De Campinas - Unicamp

**Resumo:** O carcinoma hepatocelular (CHC) desafia a imagem molecular pela heterogeneidade biológica e baixa captação de 18F-FDG em tumores bem diferenciados [1–3]. Nesse cenário, o 18F-PSMA — originalmente direcionado ao câncer de próstata — desponta como alternativa promissora por sua afinidade com vasos de neoangiogênese [4]. A aplicação desse radiotraçador em tumores hepáticos representa uma expansão inovadora das fronteiras da Medicina Nuclear e da Física Médica, com potencial para melhorar a detecção, a quantificação e a análise radiômica no CHC [5,6]. Sendo assim, o objetivo deste estudo é comparar o potencial quantitativo do 18F-FDG e do 18F-PSMA em PET/CT, destacando suas contribuições para aprimorar a precisão funcional e a análise radiômica no CHC.

**Materiais e métodos:** O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da UNICAMP (parecer nº 4.153.179). Onze pacientes com carcinoma hepatocelular (seis BCLC C, cinco BCLC B; idade mediana 74 anos, intervalo 59– 86) foram recrutados nos ambulatórios do Hospital das Clínicas da UNICAMP. Os exames PET/CT foram realizados no scanner Siemens Biograph mCT 40, 0,10 mCi/kg (3,70 MBq/kg). As imagens de FDG foram adquiridas aos 60 e 120 min [PSMA 90-150 min]. A tomografia de baixa dose utilizou protocolos de 100 kV e 50-80 mA no modo Care Dose. A análise quantitativa do SUV<sub>max</sub> das lesões hepáticas foi realizada utilizando o software Arya®. A correlação foi avaliada pelo coeficiente de Spearman ( $\rho$ ), com  $p < 0,05$ .

**Resultados e discussões:** Das 75 lesões detectadas, o SUV<sub>max</sub> variou de 3,5 a 50,2. No BCLC-B: mediana 6,3 (FDG) e 17,2 (PSMA); no BCLC-C: 8,1 e 23,3.  $\Delta$ SUV<sub>max</sub> indicou washout mais expressivo com PSMA: - 30,17% (BCLC-B) e -0,47% (BCLC-C). Não houve diferença significativa entre tempos de aquisição, de modo que a correlação negativa e não significativa ( $\rho = -0,5357$ ;  $p = 0,2357$ ) indica perfis metabólicos distintos, alinhado a estudos que destacam a sensibilidade do 18F-PSMA no CHC.



**Conclusões:** O PET/CT com 18F-FDG e 18F-PSMA oferece insights complementares no CHC BCLC-B/C. A ausência de correlação entre os traçadores reforça a necessidade de abordagens integradas para avaliar alvos biológicos distintos, como a neoangiogênese refletida pelo PSMA. O washout observado no 18F-PSMA destaca seu potencial teranóstico, cuja avaliação quantitativa depende da expertise multidisciplinar.

**Agradecimento:** Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador, Prof. Dr. Celso Dario Ramos, e à minha coorientadora, Profa. Maria Emilia Seren Takahashi, pelo suporte essencial. À Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, onde curso o doutorado, e aos preceptores da Residência em Medicina Nuclear, pela formação e inspiração contínuas. Ao Serviço de Medicina Nuclear da UNICAMP, incluindo biomédicos e médicos nucleares, pela colaboração técnica e clínica. Reconheço, ainda, o apoio dos colegas dos Departamentos de Medicina Nuclear, Centro de Engenharia Biomédica, de Física, de Oncologia e Hematologia da UNICAMP. Por fim, agradeço ao programa CEPID CANCERTHERA/FAPESP pelo suporte institucional imprescindível ao desenvolvimento desta pesquisa

### **Referências:**

- [1] CHEDID, M. F. et al. Hepatocellular carcinoma: diagnosis and operative management. *Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva*, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 272-278, 2017. DOI: 10.1590/0102-6720201700040011.
- [2] BASU, S. et al. Fundamentals of PET and PET/CT imaging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, New York, v. 1228, n. 1, p. 1-18, 2011. DOI: 10.1111/j.1749-632.2011.06077.x.
- [3] KHAN, M. A. et al. Positron emission tomography scanning in the evaluation of hepatocellular carcinoma. *Journal of Hepatology*, Amsterdam, v. 32, n. 5, p. 792-797, 2000. DOI: 10.1016/S0168-8278(00)80248-2.
- [4] RIZZO, A. et al. Can PSMA-targeting radiopharmaceuticals be useful for detecting hepatocellular carcinoma using positron emission tomography? An updated systematic review and meta-analysis. *Pharmaceuticals*, Basel, v. 15, n. 11, p. 1368, 2022. DOI: 10.3390/ph15111368.
- [5] AMETAMEY, S. M.; HONER, M.; SCHUBIGER, P. A. Molecular imaging with PET. *Chemical Reviews*, Washington, v. 108, n. 5, p. 1501- 1516, 2008. DOI: 10.1021/cr0782426.
- [6] COOK, G. J. R. et al. Radiomics in PET: principles and applications. *Clinical and Translational Imaging*, Berlin, v. 2, p. 269–276, 2014. DOI: 10.1007/s40336-014-0064-0.

## Comparação de Métodos de Segmentação para Avaliação da Captação Hepática de 18F-FDG em Imagens PET/CT

De Souza F.<sup>1</sup>, Takahashi M.<sup>1</sup>, Ramos C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>2</sup> Universidade Estadual De Campinas - Unicamp

**Resumo:** O 18F-FDG é um radiotraçador análogo à glicose, marcado com flúor-18, amplamente utilizado em oncologia devido à sua afinidade por células metabolicamente ativas. A tomografia por emissão de pósitrons (PET) permite identificar e quantificar áreas com alta captação desse traçador, por meio do valor de captação padronizado (SUV). O fígado, devido à sua estabilidade metabólica e taxa constante de absorção de glicose, é comumente utilizado como referência visual. Este estudo comparou diferentes métodos de segmentação para avaliar como a captação hepática de 18F-FDG é afetada, através dos valores de SUV máximo e médio.

**Materiais e métodos:** Foram analisadas, retrospectivamente, 73 imagens de pacientes com mieloma múltiplo submetidos a exames de 18F-FDG PET/CT de corpo inteiro. Os critérios de inclusão foram: idade acima de 18 anos, ambos os sexos e ausência de tratamento prévio. Imagens com artefatos foram excluídas. Três métodos de segmentação hepática foram comparados: (1) VOI esférico no lobo direito, volume fixo de 34,3 ml; (2) autosegmentação (AS) com o software FIJI [2]; e (3) segmentação por inteligência artificial (IA) com o software TotalSegmentator [3]. O teste de Kruskal-Wallis, com pós-teste de Dunn (5% de significância), foi usado para comparar os métodos.

**Resultados e discussões:** Os valores médios de SUV foram semelhantes entre VOI ( $2,3 \pm 0,5$ ), AS ( $2,2 \pm 0,4$ ) e IA ( $2,1 \pm 0,4$ ), sem diferença significativa ( $p=0,058$ ). O SUV máximo variou mais, sendo menor no VOI fixo ( $p<0,001$ ). Hirata et al[4] também não encontraram diferenças no SUV médio entre método semi-automático e VOI esférico. Diferenças no SUVmax são esperadas, pois AS e IA abrangem área maior do fígado.

**Conclusões:** Esses achados indicam que a escolha do método VOI esférico não compromete a avaliação clínica do SUV médio em comparação aos métodos automatizados e de inteligência artificial. Portanto, o uso do VOI esférico é vantajoso por ser prático e confiável. Já para o SUV máximo, a escolha do método deve considerar a precisão na delimitação do volume hepático avaliado.

**Agradecimento:** Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Unicamp (PIBIC/Unicamp).

### Referências:

- [1] RAMOS, Celso D. et al. FDG-PET standardized uptake values in normal anatomical structures using iterative reconstruction segmented attenuation correction and filtered back-projection. *European journal of nuclear medicine*, v. 28, p. 155-164, 2001.
- [2] CYPESS, Aaron M. et al. Identification and importance of brown adipose tissue in adult humans. *New England journal of medicine*, v. 360, n. 15, p. 1509-1517, 2009.
- [3] WASSERTHAL, Jakob et al. TotalSegmentator: robust segmentation of 104 anatomic structures in CT images. *Radiology: Artificial Intelligence*, v. 5, n. 5, p. e230024, 2023.
- [4] HIRATA, Kenji, et al. A semi-automated techniq

## **Análise da Exposição Ocupacional em Medicina Nuclear Frente ao Aumento de Exames e Estratégias de Radioproteção Adotadas**

Balestieri P.<sup>1</sup>, Mesquita C.<sup>1</sup>, Dos Santos D.<sup>1</sup>, Assunção J.<sup>2</sup>, Mendonça R.<sup>3</sup>, Bueno R.<sup>4</sup>, Fernandes F.<sup>5</sup>, Cavalcante R.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Paola Dos Santos Balestieri, <sup>2</sup> Universidade Federal De Uberlândia, <sup>3</sup> Ramon Matias Nunes Mendonça, <sup>4</sup> Rylene Bañolas Bueno, <sup>5</sup> Empresa Brasileira De Servicos Hospitalares - Ebserh, <sup>6</sup> Rick Bruno S Cavalcante

**Resumo:** A medicina nuclear utiliza radiofármacos para diagnóstico e terapia, exigindo controle rigoroso das doses ocupacionais dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE). Em um hospital universitário, observou-se aumento expressivo na quantidade de exames realizados, gerando preocupação quanto à possível elevação da exposição dos trabalhadores à radiação ionizante. Este estudo analisa os dados dos dosímetros individuais antes e após esse aumento, relacionando-os às práticas de radioproteção adotadas no serviço, à luz da legislação vigente e das recomendações internacionais (CNEN, 2011; ICRP, 2007).

**Materiais e métodos:** Foram analisados relatórios de leitura dos dosímetros termoluminescentes (TLDs) de todos os trabalhadores do setor de medicina nuclear, abrangendo dois períodos: 12 meses antes e 12 meses após o aumento da demanda. As doses mensais foram comparadas por função, considerando média, desvio padrão e variação percentual. Além disso, foram descritas as medidas implementadas para otimização da radioproteção, como treinamentos periódicos, reorganização de tarefas, reforço em barreiras físicas e rotinas de verificação de blindagens (CNEN, 2011; Vanhavere et al., 2020).

**Resultados e discussões:** Apesar do aumento no número de procedimentos, as doses permaneceram dentro dos limites legais. A manutenção dos níveis dosimétricos foi possível por meio de estratégias como divisão equilibrada de tarefas entre os IOEs, treinamentos focados em tempo-distância-blindagem, uso sistemático de protetores móveis e revisão contínua dos protocolos operacionais.

**Conclusões:** Mesmo com o aumento da carga de trabalho, a análise demonstrou estabilidade nas doses ocupacionais, atribuída às práticas de proteção radiológica adotadas. O serviço reforçou o compromisso com a segurança, mantendo níveis dentro dos limites legais e evidenciando a importância de treinamentos, planejamento e cultura de radioproteção contínuos.

### **Referências:**

[1] CNEN. Diretrizes básicas de proteção radiológica. CNEN NN 3.01, 2011. Disponível em: [https://www.gov.br/cnen/pt-br](https://www.gov.br/cnen/pt-br). Acesso em: [Data de acesso].. ICRP Publication 103.

[1] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Vanhavere F. et al. Occupational radiation exposure in nuclear medicine: A review. Radiation Protection Dosimetry, 2020.

## Uso de Detectores Geiger-Müller na Estimativa Preliminar de Contaminação Interna em Serviço de Medicina Nuclear

Balestieri P.<sup>1</sup>, Mesquita C.<sup>1</sup>, Dos Santos D.<sup>1</sup>, Fernandes F.<sup>2</sup>, Assunção J.<sup>3</sup>, Mendonça R.<sup>4</sup>, Bueno R.<sup>5</sup>, Cavalcante R.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Paola Dos Santos Balestieri, <sup>2</sup> Empresa Brasileira De Servicos Hospitalares - Ebserh, <sup>3</sup> Universidade Federal De Uberlândia, <sup>4</sup> Ramon Matias Nunes Mendonça, <sup>5</sup> Ryenne Bañolas Bueno, <sup>6</sup> Rick S Cavalcante

**Resumo:** A avaliação da possível contaminação interna é relevante na medicina nuclear, especialmente com a crescente adoção de abordagens teranósticas. Com a inauguração de um novo Serviço de Medicina Nuclear (SMN) em um hospital universitário, será implementada uma metodologia que utiliza detectores Geiger-Müller (GM) para monitoramento externo da taxa de dose, como forma indireta de inferir a presença de radionuclídeos potencialmente incorporados. A replicação dessa metodologia visa validar sua aplicação prática no novo SMN, promovendo segurança radiológica, controle de qualidade e suporte aos protocolos clínicos.

**Materiais e métodos:** A metodologia será reproduzida com base no trabalho de Silva & Macambira (2015), utilizando detectores GM calibrados e adaptados para medições externas da taxa de dose emitida por fontes com <sup>131</sup>I. Serão empregados suportes, blindagens e distanciamentos conforme o modelo original. A calibração será realizada com fontes de atividade conhecida, e os dados convertidos para estimativas de atividade e dose, com o objetivo de apoiar o monitoramento radiológico ocupacional e triagem de exposições.

**Resultados e discussões:** Espera-se boa correlação entre as contagens dos detectores GM e os valores de atividade conhecidos. O método pode contribuir como ferramenta complementar de segurança, ampliando a vigilância quanto à exposição interna, ainda que de forma indireta.

**Conclusões:** A metodologia apresenta-se viável como estratégia complementar de triagem e monitoramento ocupacional. Sua implementação pode gerar dados preliminares úteis à prática clínica e à formação acadêmica, promovendo a cultura de proteção radiológica.

### Referências:

[1] Silva, R. A., & Macambira, M. (2015). Utilização de detectores Geiger-Müller para dosimetria interna. BJRS – Brazilian Journal of Radiation Sciences.

## **Avaliação da Inteligência Artificial na Resposta às Principais Dúvidas de Pacientes em um Serviço de Medicina Nuclear**

Mendonça R.<sup>1</sup>, Balestieri P.<sup>2</sup>, Mesquita C.<sup>2</sup>, Dos Santos D.<sup>2</sup>, Fernandes F.<sup>3</sup>, Assunção J.<sup>4</sup>, Bueno R.<sup>5</sup>, Cavalcante R.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Ramon Matias Mendonça, <sup>2</sup> Paola Dos Santos Balestieri, <sup>3</sup> Empresa Brasileira De Servicos Hospitalares - Ebserh, <sup>4</sup> Universidade Federal De Uberlândia, <sup>5</sup> Ryenne Bañolas Bueno, <sup>6</sup> Rick Bruno S Cavalcante

**Resumo:** O Serviço de Medicina Nuclear (SMN) utiliza materiais radioativos de forma controlada para diagnóstico e terapia. Contudo, a limitada compreensão dos pacientes sobre a radiação [1] frequentemente gera dúvidas e apreensão. Simultaneamente, cresce a popularidade das inteligências artificiais (IA) generativas, ou Grandes Modelos de Linguagem (LLMs), que se tornaram fontes primárias de pesquisa para muitos, inclusive para questões de saúde [2]. Diante deste cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar, sob a perspectiva de um físico médico, a acurácia e a adequação das respostas geradas por diferentes IAs (ChatGPT, Gemini e Meta AI) às principais indagações de pacientes de medicina nuclear, verificando sua confiabilidade como ferramenta informativa.

**Materiais e métodos:** Serão analisadas as respostas de três LLMs: ChatGPT, Gemini e Meta AI, para as cinco perguntas mais frequentes de pacientes. As mesmas perguntas serão submetidas a cada IA em um contexto idêntico. Uma equipe de físicos e médicos do SMN avaliará os textos gerados, atribuindo notas de 0 a 10. Os critérios de avaliação são: Rigor científico, para verificar a conformidade com as diretrizes de proteção radiológica [3, 4]; Relevância para a dúvida do paciente, para medir a utilidade da resposta; Clareza da informação e Abrangência da resposta, para avaliar a capacidade de comunicação da IA com o público leigo.

**Resultados e discussões:** A análise das notas permitirá avaliar o nível de confiabilidade das IAs. A avaliação da clareza e abrangência indicará se a tecnologia consegue traduzir conceitos técnicos de forma eficaz. O estudo discutirá a capacidade dessas ferramentas de esclarecer dúvidas e mitigar a ansiedade dos pacientes, um desafio conhecido na comunicação em saúde [5], concluindo se são fontes seguras de consulta.

**Conclusões:** Este trabalho avaliará o desempenho das IAs perante questões cruciais de pacientes. A metodologia adotada permitirá compreender a perspectiva que estas tecnologias constroem sobre a medicina nuclear. O objetivo é determinar se o uso de LLMs como ferramenta de pesquisa por pacientes representa um recurso de apoio viável e seguro para a educação em saúde.

**Agradecimento:** Agradeço ao Hospital Universitário Antônio Pedro (HUAP-UFF) e seus profissionais por participarem desta pesquisa.

### **Referências:**

- [1] ATTIX, F. H. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. John Wiley & Sons, 2008.
- [2] ALI, R. et al. Chatbots in public health: a review of the evidence and future directions. The Lancet Digital Health, v. 5, n. 10, p. e734- e741, 2023.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). CNEN NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro, 2024.

- [4] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). CNEN NN 3.05: Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear. Rio de Janeiro, 2013.
- [5] JOHNSON, D.; VIVEK, R. The role of artificial intelligence in patient education and engagement. Journal of Medical Internet Research, v. 25, p. e45631, 2023.

## SIMULAÇÃO MONTE CARLO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL EM PROCEDIMENTOS ROLL COM $^{99m}\text{Tc}$

Ferreira J.<sup>1</sup>, Ferro A.<sup>2</sup>, Souza D.<sup>3</sup>, Santos W.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Jose Rafael, <sup>2</sup> Estudante, <sup>3</sup> Universidade Federal De Sergipe, <sup>4</sup> Ufs

**Resumo:** A medicina nuclear utiliza radiofármacos tanto em exames quanto em tratamentos, exigindo controle rigoroso de radioproteção, pois o paciente passa a ser uma fonte secundária de radiação que pode atingir a equipe de saúde. Este trabalho concentra-se no procedimento ROLL (Radioguided Occult Lesion Localization), empregado na marcação de lesões mamárias não palpáveis com tecnécio-99m. Para quantificar a exposição ocupacional de uma médica e exposição de uma paciente, foram realizadas simulações Monte Carlo com o código MCNPX 2.7.0 (1) e o fantoma antropomórfico FASH (2). O estudo objetiva estimar as taxas de doses nos envolvidos e avaliar a eficiência de diferentes barreiras de proteção, levando em conta o acúmulo de exposição à radiação ionizante.

**Materiais e métodos:** O estudo empregou o código Monte Carlo MCNPX 2.7.0 (1) para simular a interação da radiação com a matéria, usando dois simuladores antropomórficos femininos FASH (2) para representar paciente e médica. Foram avaliados três cenários de proteção radiológica: sem proteção, com avental de chumbo e com biombo de chumbo ambos com 0,5 mm Pb. A sala cirúrgica foi modelada segundo um ambiente padrão, com a médica a 20 cm da paciente deitada sobre mesa de fibra de carbono (1,15 g/cm<sup>3</sup>) (3). Como fonte, utilizou-se tecnécio-99m conforme a ICRP 107 (4), simulando 1 bilhão de trajetórias de partículas para manter incertezas abaixo de 1 % nas taxas de doses.

**Resultados e discussões:** Na ausência de proteção, os órgãos mais expostos da médica foram os olhos (255  $\mu\text{Gy/h}$ ), mama (7,09  $\mu\text{Gy/h}$ ) e estômago (5,55  $\mu\text{Gy/h}$ ). O uso do avental plumbífero reduziu as doses para 83  $\mu\text{Gy/h}$  (olhos) e 1,55  $\mu\text{Gy/h}$  (mama), além da diminuição da dose efetiva de 3,38  $\mu\text{Gy/h}$  para 0,83  $\mu\text{Gy/h}$ . O biombo de chumbo teve menor eficácia na proteção individual direta, embora possa atuar como barreira complementar.

**Conclusões:** O estudo revela que o ROLL com  $^{99m}\text{Tc}$  expõe significativamente a equipe médica se não usar EPI. O avental de chumbo atenua eficazmente a dose torácica e é imprescindível; o biombo, embora menos potente, funciona bem como barreira complementar. A paciente recebe altas doses nos órgãos próximos à injeção, destacando a importância de seguir o ALARA com protocolos que minimizem ao máximo sua exposição.

### Referências:

- [1] PELOWITZ, D.B. MCNPX User's Manual, Version 2.7.0. Report LA-CP-11-00438. Los Alamos National Laboratory, 2011.
- [2] CASSOLA, V.F.; DE LIMA, V.J.; KRAMER, R.; KHOURY, H.J. FASH and MASH: Female and Male Adult Human Phantoms Based on Polygon Mesh Surfaces. Part II: Dosimetric Calculations. Phys. Med. Biol., 55: 163–189, 2010.
- [3] MCCONN, R.J.; GESG, C.J.; PAGH, T.T.; RUCKER, R.A.; WILLIAMS, R.G. Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling. Pacific Northwest National Laboratory, USA, 2011.
- [4] ICRP. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38(3), 2008.

## Análise da Produção de Molibdênio-99 via Detecção de Fótons com Energias Características

Viana M.<sup>1</sup>, Brum F.<sup>1</sup>, Rodrigues E.<sup>1</sup>, Accorsi L.<sup>2</sup>, Flach P.<sup>3</sup>, Delsantos G.<sup>1</sup>, Bonatto A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pessoa Física, <sup>2</sup> Ufcsa, <sup>3</sup> Pedro Flach, <sup>4</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre (Ufcsa)

**Resumo:** Radioisótopos médicos são produzidos em reatores nucleares, gerando resíduos radioativos e dependência de poucos fornecedores. Uma alternativa é a fotoativação usando feixes de elétrons de aceleradores de plasma a laser (LWFA) para gerar fótons de bremsstrahlung [1]. O <sup>99m</sup>Tc, amplamente utilizado na medicina nuclear, é obtido do decaimento do <sup>99</sup>Mo via reação <sup>100</sup>Mo( $\gamma$ ,n)<sup>99</sup>Mo [2]. Enquanto simulações permitem contagem direta dos núcleos produzidos, experimentos requerem detecção indireta via fótons característicos. Este trabalho compara a produção do <sup>99</sup>Mo com a detecção externa de fótons associados a essa produção, determinando geometrias que correlacionam adequadamente detecção externa com produção interna do radioisótopo.

**Materiais e métodos:** Simulações Monte Carlo no TOPAS utilizarão feixes de elétrons de 150 MeV incidindo em alvos de tântalo e molibdênio. A produção de <sup>99</sup>Mo por fotoativação será estimada por dois métodos: (1) detectores volumétricos internos com Scorer "OriginCount", contabilizando eventos de criação do <sup>99</sup>Mo; e (2) detector esférico externo registrando fótons característicos de 739,5 e 777,9 keV dos raios gama emitidos pelo <sup>99</sup>Mo [3]. O objetivo será correlacionar a detecção externa com a produção interna, auxiliando no desenvolvimento de detectores experimentais para essa finalidade.

**Resultados e discussões:** Espera-se correlacionar a contagem de fótons externos com a produção interna de <sup>99</sup>Mo estimada pelo OriginCount. Na continuidade do trabalho, diferentes geometrias de alvo e detector externo serão simuladas para otimizar essa correlação. Resultados contribuirão para o desenvolvimento de sistemas experimentais no Centro de Lasers e Aplicações do IPEN.

**Conclusões:** A detecção de fótons característicos demonstra ser alternativa viável para quantificar <sup>99</sup>Mo em simulações, sendo uma ponte essencial entre modelagem computacional e experimentação prática. Geometrias otimizadas permitirão correlações precisas entre medição externa e produção interna, fornecendo base sólida para futuras aplicações experimentais no Centro de Lasers e Aplicações do IPEN.

**Agradecimento:** Os autores agradecem os recursos computacionais disponibilizados pelo LNCC (Sdumont, projeto LPAFARMA) e pelo Grupo de Física de Feixes da UFCSPA (GFF), adquiridos com suporte da FAPERGS (21/2551-0002027-0 e 24/2551-0001552-3).

### Referências:

- [1] B. S. Nunes, "Bayesian optimization of laser wakefield acceleration in the self-modulated regime (SM-LWFA) aiming to produce molybdenum-99 via photonuclear reactions," *Phys. Plasmas*, vol. 32, p. 033101, 2025.
- [2] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Molybdenum-99 for Medical Imaging*. Washington (DC): National Academies Press (US); 2016.
- [3] Morillon C, Bé M, Chechev V, Egorov A. *Comments on evaluation of decay data for Mo + Tc*. Gif sur Yvette, France: CEA-BNM/LNHB; 2000. Atualizado em 2004.

## **Proposta de protocolo de controle de qualidade em câmaras com detectores CZT modelo D-SPECT, fabricante Spectrum Dynamics**

Batista V.<sup>1</sup>, Baptista I.<sup>1</sup>, Pianoschi T.<sup>1</sup>, Sánchez M.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Ufcsa

**Resumo:** A introdução dos detectores de Telureto de Cádmiio e Zinco (CZT) em câmaras de Medicina Nuclear, como a D-SPECT (Spectrum Dynamics), representou um avanço na resolução, sensibilidade e uma melhor efetividade na aquisição das imagens. No entanto, a ausência de protocolos específicos de controle de qualidade para essa tecnologia pode comprometer a padronização e a segurança dos exames. Este trabalho pretende propor um protocolo de controle de qualidade adaptado às características da D-SPECT, com base em boas práticas e diretrizes existentes.

**Materiais e métodos:** Pretendemos elaborar uma proposta de protocolo de controle de qualidade voltado à aceitação e rotina da D-SPECT, considerando suas características tecnológicas, parâmetros de desempenho e aplicabilidade clínica. Para embasar essa proposta, realizamos uma revisão bibliográfica sobre os princípios dos detectores CZT e as especificidades da câmera D-SPECT, além da análise de diretrizes nacionais e internacionais de controle de qualidade em Medicina Nuclear.

**Resultados e discussões:** Foram realizados os testes de aceitação pelo fabricante do D-SPECT, avaliando homogeneidade, pico de energia, registro de imagem, sensibilidade e taxa de contagens do sistema, com resultados satisfatórios. No entanto, esses métodos diferem, ou não são contemplados pela legislação vigente. Diante disso, está sendo desenvolvido e testado um protocolo específico, alinhado à literatura e ao fabricante.

**Conclusões:** Pretendemos concluir que a criação de um protocolo específico de controle de qualidade para a D-SPECT é viável e necessária. A proposta poderá preencher lacunas existentes nas diretrizes atuais, contribuindo para a prática clínica e a gestão em Medicina Nuclear, promovendo maior segurança do paciente, segurança radiológica e confiabilidade nos exames.

**Agradecimento:** Agradeço ao Ilo, coorientador e preceptor de estágio, pela valiosa contribuição a este trabalho, por sua orientação atenciosa e por compartilhar seus amplos conhecimentos com notável clareza e entusiasmo. Sua postura profissional e dedicação à Física Médica.

### **Referências:**

- [1] ZANDONA, Ednaldo Alexandre. Gama Câmara CZT: alteração de paradigmas em aquisição de imagens de medicina nuclear. 2010. 1 CDROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2010.
- [2] Mouden M, Timmer JR, Ottervanger JP, et al. Impact of a new ultrafast CZT SPECT camera for myocardial perfusion imaging: fewer equivocal results and lower radiation dose. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012;39:1048– 1055. Quality control of nuclear medicine instruments.
- [3] IAEA-TECDOC-6.02; 1991. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Radioproteção. CNEN-NN-3.01. 2005. IAEA Fundamental Safety Standards. Fundamental Safety Principles. 2006.

## Terapia Alfa Direcionada para Glioblastoma: Simulações de Monte Carlo utilizando phantom cerebral para $^{213}\text{Bi}$ , $^{211}\text{At}$ e $^{225}\text{Ac}$ .

Soares L.<sup>1</sup>, Da Silva C.<sup>2</sup>, De Sá L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Do Rio De Janeiro, <sup>2</sup> Instituto De Radioproteção E Dosimetria

**Resumo:** O Glioblastoma Multiforme (GBM) é o tumor cerebral primário mais agressivo e comum, com alta taxa de crescimento, infiltração difusa e resistência aos tratamentos, resultando em uma taxa de sobrevida em 5 anos de apenas 4 a 17%. Pesquisas atuais com a terapia alfa-direcionada (TAT) em pacientes com GBM comprovam a eficácia clínica e a extensão da sobrevida. A TAT utiliza radionuclídeos emissores alfa, como  $^{213}\text{Bi}$  ( $t_{1/2} = 46$  min),  $^{211}\text{At}$  ( $t_{1/2} = 7,2$  h) e  $^{225}\text{Ac}$  ( $t_{1/2} = 10$  d), que possuem LET (Transferência de Energia Linear) elevado e curto alcance nos tecidos, capazes de provocar quebras duplas de DNA e evitar danos ao tecido sadio circundante. O objetivo deste trabalho é calcular, através da simulação Monte Carlo, a fração de energia depositada no tumor e nas demais estruturas cerebrais.

**Materiais e métodos:** Inicialmente, foi modelado um glioblastoma (volume: 29,6 cm<sup>3</sup>) em um fantoma cerebral com 57 estruturas. Foram realizadas simulações de Monte Carlo com código GATE para os radionuclídeos Actínio-225, Bismuto-213 e Astató-211, considerando as respectivas cadeias de decaimento. O tumor foi definido como órgão-fonte nas simulações. A partir dos dados obtidos, as frações de deposições de energia no tumor em relação às outras estruturas foram calculadas para avaliar a eficácia da terapia com radionuclídeos alfa-emissores no tratamento do GBM.

**Resultados e discussões:** As frações de energia calculadas para cada radionuclídeo foram:  $^{225}\text{Ac}$  (9,71),  $^{213}\text{Bi}$  (4,98) e  $^{211}\text{At}$  (1,89). Os resultados indicam que o  $^{225}\text{Ac}$  apresenta a maior fração de energia depositada no tumor, seguido pelo  $^{213}\text{Bi}$  e  $^{211}\text{At}$ . As variações entre as cadeias de decaimento refletem diferentes perfis de distribuição de energia, influenciando a escolha do radionuclídeo para a terapia alfa direcionada.

**Conclusões:** Os três radionuclídeos apresentam frações de energia significativas no tumor, sendo todos eles adequados para a terapia alfa direcionada. No entanto, o  $^{225}\text{Ac}$  se destaca como o mais eficaz, considerando a maior fração de energia depositada no tumor. Desta forma, o tratamento para o GBM com Ac-225 proporciona a máxima energia depositada no tumor e maior preservação dos tecidos saudáveis.

### Referências:

- [1] SARRUT, David et al. The OpenGATE ecosystem for Monte Carlo simulation in medical physics. *Physics in Medicine & Biology*, v. 67, n. 18, p. 184001, 2022.
- [2] HINDIÉ, Elif; ZANOTTI-FREGONARA, Paolo; QUINTO, Michele A.; MORGAT, Clément; CHAMPION, Christophe. Dose deposits from  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{111}\text{In}$ , and  $^{161}\text{Tb}$  in micrometastases of various sizes: implications for radiopharmaceutical therapy. *Journal of Nuclear Medicine*, v. 57, n. 5, p. 759–764, 2016.
- [3] EL SABRI, Maram et al. Targeted alpha therapy for glioblastoma: review on in vitro, in vivo and clinical trials. *Targeted Oncology*, v. 19, p. 511–531, 2024.

## Parâmetros-Chave para Determinação dos Níveis de Referência Diagnóstico (NRD) Locais em Medicina Nuclear

Hirota P.<sup>1</sup>, Santos L.<sup>2</sup>, Wichert-Ana L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hc-Fmrp Usp, <sup>2</sup> Hospital Das Clínicas Da Faculdade De Medicina De Ribeirão Preto - Hcrp/Usp-Rp, <sup>3</sup>  
Hospital Das Clínicas Fmrp-Usp

**Resumo:** Como toda exposição à radiação ionizante envolve riscos, tem-se buscado estabelecer níveis de referência diagnóstico (NRD) locais e regionais, com o objetivo de promover a padronização das boas práticas em medicina nuclear. No entanto, a definição dos NRD locais é influenciada por parâmetros que variam entre diferentes instalações nucleares, o que pode impactar os níveis regionais calculados a partir desses dados. Este trabalho busca estabelecer os NRD locais para o serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (HCFMRP-USP), e investigar os principais fatores que influenciam a atividade administrada em exames de cintilografia convencional, discutindo também a qualidade das metodologias utilizadas na determinação desses níveis de referência.

**Materiais e métodos:** Estudo transversal, descritivo e com abordagem quantitativa, realizado mediante coleta de dados na base de informações do HCFMRP-USP, segundo as variáveis de pacientes que realizaram exames de cintilografia convencional (SPECT). As informações investigadas foram as relacionadas aos valores de atividade dos radiofármacos administrados em pacientes para diferentes protocolos clínicos da medicina nuclear convencional durante o período de janeiro de 2019 a dezembro de 2024. A partir da coleta foi aplicada estatística descritiva com a utilização do Excel a fim de organizar os resultados de pesquisa.

**Resultados e discussões:** Foram analisados nove dos principais protocolos de cintilografia convencional realizados no Setor de Medicina Nuclear do HCFMRP-USP, utilizando Tc-99m. As análises estatísticas permitiram determinar as médias e medianas das atividades administradas e estabelecer os NRD locais. As atividades médias variaram de 19,9 mCi (paratireoides) a 48,3 mCi (miocárdio).

**Conclusões:** O estudo permitiu determinar os NRD locais e investigar fatores associados à variação dos níveis de referência, como a idade, especialmente relevante em pacientes pediátricos. Os resultados reforçam a importância de considerar características específicas da população na definição dos NRD, sugerindo a necessidade de níveis diferenciados para diferentes grupos de pacientes.

### Referências:

[1] MACHADO, Maria Helena Brás Cota. "Determinação dos Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) em Medicina Nuclear num Hospital Oncológico". Departamento de Física e Astronomia da Universidade do Porto. 2023.

## Comparação de Métodos de Segmentação para Avaliação da Medidas de Atividade Metabólica da Aorta Descendente em Imagens 18F-FDG PET/CT

Monteiro G.<sup>1</sup>, Takahashi M.<sup>2</sup>, Etchebehere E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gustavo Monteiro, <sup>2</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>3</sup> Faculdade De Ciências Médicas, Unicamp

**Resumo:** A tomografia por emissão de pósitrons (PET), com o uso do radiotraçador 18Ffluordesoxiglicose (18F-FDG), constitui uma técnica de imagem que permite avaliar processos fisiológicos por meio da análise do consumo de glicose. As imagens resultantes são interpretadas por médicos nucleares, visando identificar regiões com captação de 18F-FDG que se afastem da atividade basal esperada. Entretanto, a análise quantitativa desses dados carece de padronização, sendo influenciada por diferentes metodologias, o que pode gerar variabilidade nos valores obtidos. Diante disso, este estudo propõe uma abordagem metodológica e realiza uma comparação entre distintos métodos de segmentação, a fim de avaliar a atividade metabólica da aorta descendente por meio da métrica Standardized Uptake Value (SUV).

**Materiais e métodos:** Foram analisados 36 exames de PET/CT com 18F-FDG de corpo inteiro, em pacientes de ambos os sexos, maiores de 18 anos, sendo 11 mulheres (29,73%) e idade média de 60,4 anos. Compararam-se dois métodos de segmentação: uma ROI manual da aorta, do coração ao diafragma, no plano sagital no FIJI [1]; e segmentação por IA com o TotalSegmentator [2], seguida de ROI no FIJI. Usou-se o teste de Mann-Whitney (significância de 5%) para comparar os valores de SUV.

**Resultados e discussões:** Segmentação manual: SUVmean 1,73±0,54; SUVpeak 2,6±0,5; SUVmax 1,81±0,55. IA: SUVmean 1,8±0,5; SUVpeak 3,1±0,5; SUVmax 5,1±1,2. O teste de Mann-Whitney indicou ausência de diferença significativa para SUVmean e SUVpeak ( $p>0,5$ ), mas diferença significativa para SUVmax ( $z=2,36735$ ;  $p=0,01778$ ).

**Conclusões:** Embora mais rápida que a segmentação manual, a abordagem por IA demanda maior poder computacional e pode incluir regiões fora da aorta devido à segmentação baseada em imagens de CT, o que pode explicar o aumento significativo do SUVmax. Os resultados indicam que, apesar do potencial da IA, ainda há desafios técnicos para sua implementação clínica padronizada.

**Agradecimento:** Este projeto faz parte de um estudo da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA).

### Referências:

- [1] CYPESS, Aaron M. et al. Identification and importance of brown adipose tissue in adult humans. *New England journal of medicine*, v. 360, n. 15, p. 1509-1517, 2009.
- [2] WASSERTHAL, Jakob et al. TotalSegmentator: robust segmentation of 104 anatomic structures in CT images. *Radiology: Artificial Intelligence*, v. 5, n. 5, p. e230024, 2023.

## Desenvolvimento e validação de um simulador educacional para cálculo de ângulos sólidos em física médica

Dos Santos M.<sup>1</sup>, De Freitas A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> If Goiano - Campus Ceres

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento do software educacional E-mission, voltado ao ensino de conceitos fundamentais da Física Médica, com ênfase no cálculo do ângulo sólido, fundamental para a calibração de detectores de radiação como câmaras de ionização. O método de Monte Carlo é utilizado para simular a emissão de partículas isotrópicas e calcular o ângulo sólido, favorecendo a aprendizagem ativa e a aplicação prática dos conceitos de Física Médica.

**Materiais e métodos:** O E-mission foi implementado com um backend em Java e frontend interativo utilizando Angular. O software permite simular diferentes geometrias de fontes e aberturas e calcular probabilisticamente o ângulo sólido. Foram realizados testes de validação comparando os resultados com limites analíticos conhecidos ( $\Omega \rightarrow 0$  e  $\Omega \rightarrow 2\pi$ ).

**Resultados e discussões:** A validação quantitativa do simulador demonstrou sua precisão, especialmente nos limites de abertura grande ( $\Omega \rightarrow 0$ ) e pequena ( $\Omega \rightarrow 2\pi$ ). A ferramenta apresentou um desempenho adequado na simulação de diferentes geometrias e no cálculo do ângulo sólido, facilitando a compreensão dos conceitos relacionados à detecção de radiação e dosimetria, principalmente envolvendo eficiência geométrica.



The screenshot shows a web interface titled "Listagem de Simulações" (Simulation List) for the LaFis system. It displays a table of simulation records with the following columns: Date and Time, Type of Aperture, Type of Source, Quantity of Emissions, and Status. Each record includes a "Visualizar Relatório" (View Report) button and, for the first record, an "Iniciar Simulação" (Start Simulation) button.

| Data e Hora              | Tipo de Abertura | Tipo de Fonte | Quantidade de Emissões | Status   | Ações                                   |
|--------------------------|------------------|---------------|------------------------|----------|---|
| Mar 23, 2025, 6:28:32 PM | circular         | cylindrical   | 500,000,000            | created  | Visualizar Relatório, Iniciar Simulação |
| Mar 22, 2025, 6:03:44 PM | circular         | cylindrical   | 100,000,000            | finished | Visualizar Relatório                    |
| Mar 22, 2025, 6:01:37 PM | circular         | cylindrical   | 100,000,000            | finished | Visualizar Relatório                    |
| Mar 21, 2025, 1:36:09 AM |                  |               |                        |          |   |

**Conclusões:** O software E-mission é uma ferramenta eficaz para o ensino de Física Médica, permitindo a simulação de diferentes cenários geométricos e a exploração de conceitos fundamentais como o ângulo sólido. Sua implementação facilita a compreensão de calibração e eficiência geométrica de detectores, especialmente câmaras de ionização tipo poço.

### Referências:

- [1] M.S. Badawi. "Accurate calculation of well-type detector geometrical efficiency using sources with different shapes and geometries". Em: Journal of Instrumentation 10 (2015).
- [2] Hamid Reza Baghani e Behzad Aminafshar. "An inter-comparison between calculated solid angle for different geometrical correlations of source-detector through analytical and Monte Carlo approaches". Em: Indian Journal of Physics (2024).



# **PROCESSAMENTO DE SINAIS E IMAGENS**

## Trabalho Completo

Congresso Brasileiro de Física Médica 2025

# Qualidade de Imagens PET/CT: Um Estudo Quantitativo Baseado em Componentes Principais

## PET/CT Image Quality: A Quantitative Study Based on Principal Components

Matheus S. Pestana<sup>1</sup>, Allan Kardec D. B. Filho<sup>1</sup>, Moizés C. B. Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, São Luís – MA, Brasil

<sup>2</sup>Serviço de Medicina Nuclear, Hospital São Domingos, São Luís – MA, Brasil

### Resumo

Este trabalho propõe uma metodologia para análise de imagens médicas DICOM de exames PET/CT, visando otimizar a qualidade das imagens com doses reduzidas de radiofármacos através da Análise de Componentes Principais (PCA). O método permite processamento, visualização e extração de características principais, utilizando métricas como PSNR, SSIM, MSE, MAE e diferença de entropia para avaliação quantitativa. A redução dimensional via PCA preservou características estruturais e estatísticas, garantindo alta similaridade com as imagens originais. A inclusão da diferença de entropia possibilitou uma análise complementar da complexidade da imagem. As principais contribuições incluem a integração do PCA com redução de radiofármacos, uso de métricas normalizadas em um ranking ponderado e a estimativa de métricas para comparação entre análises computacionais e avaliações profissionais.

**Palavras-chave:** Análise de Componentes Principais; PET/CT; Redução Dimensional; Radiofármacos; Qualidade de Imagem.

### Abstract

*This work proposes a methodology for analyzing medical DICOM images from PET/CT scans, aiming to optimize image quality with reduced radiopharmaceutical doses through Principal Component Analysis (PCA). The method enables processing, visualization, and extraction of principal features using metrics such as PSNR, SSIM, MSE, MAE, and entropy difference for quantitative evaluation. Dimensionality reduction via PCA preserved structural and statistical characteristics, ensuring high similarity to the original images. The inclusion of entropy difference allowed for a complementary analysis of image complexity. The main contributions include the integration of PCA with radiopharmaceutical dose reduction, the use of normalized metrics in a weighted ranking, and the estimation of metrics for comparison between computational analyses and professional evaluations.*

**Keywords:** Principal Component Analysis; PET/CT; Dimensionality Reduction; Radiopharmaceuticals; Image Quality.

## 1. Introdução

A Medicina Nuclear (MN) é uma especialidade médica que utiliza materiais radioativos para diagnóstico, tratamento e pesquisa, fornecendo informações funcionais e metabólicas de órgãos e tecidos. Diferentemente das técnicas de imagem anatômicas, a MN permite a visualização de processos fisiológicos em tempo real por meio do uso de radiofármacos, sendo especialmente relevante em áreas como Oncologia, Cardiologia e Neurologia (5).

Os radiofármacos são compostos por um radionuclídeo ligado a uma molécula bioativa, distribuindo-se no organismo conforme sua afinidade biológica. A radiação emitida por esses elementos possibilita a obtenção de imagens funcionais, fundamentais para a identificação de doenças como câncer, enfermidades cardíacas e distúrbios endócrinos (21). Técnicas como a Gama Câmara e a Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) captam essa radiação, gerando imagens tridimensionais com o uso de isótopos como tecnécio-99m, iodo-131 e flúor-18 (17).

O PET é uma técnica avançada que emprega radionuclídeos emissores de pósitrons, como o <sup>18</sup>F-FDG, essencial no diagnóstico e monitoramento de neoplasias, doenças cardíacas e neurodegenerativas (1). O PET/CT, a Tomografia por Emissão de

Pósitrons aliada a Tomografia Computadorizada, ao combinar imagens anatômicas e funcionais, melhora a precisão diagnóstica, sendo amplamente utilizado em Oncologia e Neurologia.

Este estudo propõe a aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) para otimização da qualidade de imagens PET utilizando o software *Q.Clear*. O PCA reduz redundâncias nas variáveis de reconstrução, permitindo diagnósticos precisos com menores doses de radiofármacos, aumentando a segurança do paciente e a eficiência clínica. Além disso, a combinação do PCA com o *Q.Clear* gera valores de *Standard Uptake Value* (SUV) mais precisos, minimizando variações observadas em métodos tradicionais como o OSEM (12, 29).

Estudos recentes demonstram que técnicas de segmentação baseadas em redes neurais siamesas melhoram o acompanhamento de metástases prostáticas (15). Em neurologia, o uso de <sup>18</sup>F-FDG-PET/CT tem sido pivotal para caracterizar padrões metabólicos em doenças neurodegenerativas (24), embora desafios persistem na visualização de lesões pequenas. Soluções como a *mirror-Unet* (18) emergem para superar essas limitações, combinando segmentação anatômica e funcional com impacto direto na personalização terapêutica. A pesquisa demonstra a viabilidade do uso de técnicas

estatísticas multivariadas, como o PCA, em um campo tradicionalmente dominado por métodos iterativos de reconstrução. A redução da dose de radiofármacos sem comprometer a qualidade diagnóstica representa um avanço relevante, beneficiando principalmente pacientes pediátricos e vulneráveis, redução do custo operacional e de transporte do radiofármaco. A validação clínica do *Q.Clear* reforça a adoção de práticas mais seguras e eficientes, contribuindo para a evolução científica e a melhoria das aplicações da Medicina Nuclear.

## 2. Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET)

A Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) é definida como técnica aplicada em imagens médicas que permite a visualização de processos metabólicos no corpo (18). Para isso, utiliza-se de radiofármacos ou marcadores de isótopos radioativos para detecção de alterações metabólicas em células. O *scanner* PET detecta pósitrons, partículas subatômicas que têm a mesma massa que os elétrons, mas possuem carga elétrica positiva, emitidos pelo decaimento do radioisótopo, que colidem com elétrons, produzindo raios gama. Esses raios são captados pelo *scanner*, que cria imagens tridimensionais detalhadas, permitindo aos médicos identificar anomalias funcionais antes que mudanças estruturais ocorram.

Enquanto o PET busca examinar funções biológicas, as outras formas de tomografia, como a tomografia computadorizada (TC), examinam somente estruturas corpóreas. Esse diferencial o torna especialmente útil em Oncologia, Neurologia e Cardiologia (7). A combinação de PET com tomografia computadorizada (PET/CT) melhora ainda mais a precisão diagnóstica, fornecendo informações tanto funcionais quanto anatômicas (27).

O princípio do PET baseia-se na administração de radiofármacos que se acumulam em regiões de alta atividade metabólica, como tumores. Os pósitrons emitidos colidem com elétrons, resultando na aniquilação e na emissão de dois fótons gama em direções opostas. Esses fótons, com energia de 511 keV, são detectados por cristais de cintilação, que os convertem em luz visível. Posteriormente, essa luz é transformada em sinais elétricos por fotomultiplicadores ou fotodiodos de avalanche, permitindo a determinação da linha de resposta (LOR) e a localização do evento de aniquilação. No entanto, a precisão da técnica é limitada por incertezas na determinação exata da posição da aniquilação (13).

A tomografia por emissão de pósitrons emerge como ferramenta de significativa relevância no campo da Oncologia, principalmente devido à sua capacidade de detectar alterações metabólicas precoces, muitas vezes imperceptíveis em exames de imagem convencionais. Essa propriedade singular permite a identificação de processos biológicos característicos de tumores, como o aumento da taxa de metabolismo da glicose, visualizado através da metabolização do radiofármaco  $^{18}\text{F}$ -FDG (16, 26).

A detecção precoce proporcionada pela técnica, aliada à capacidade de determinar a extensão do tumor e avaliar a resposta ao tratamento, torna o PET um aliado crucial no estadiamento do câncer e na personalização terapêutica. Adicionalmente, a possibilidade de detecção de recidiva tumoral, identificando áreas de atividade metabólica sugestivas de recrudescência neoplásica, reforça a importância da técnica no acompanhamento oncológico, impactando diretamente o prognóstico e a qualidade de vida dos pacientes (2, 6).

A instrumentação do PET inclui detectores dispostos em anéis ao redor do paciente para captar os fótons gama emitidos. A detecção de coincidências entre fótons é fundamental para a reconstrução das imagens, e a técnica de Tempo de Voo (TOF) melhora a precisão ao medir a diferença temporal entre a chegada dos fótons aos detectores. Contudo, fatores como coincidências aleatórias e dispersão podem introduzir ruído nas imagens, sendo necessária a aplicação de técnicas de correção para garantir a qualidade do exame. A reconstrução das imagens PET ocorre a partir da conversão da luz visível gerada nos cristais de cintilação em sinais elétricos, que são processados e armazenados para a reconstrução tomográfica em modos bidimensional (2D) ou tridimensional (3D) (8, 22).

O PET é uma ferramenta essencial no diagnóstico e acompanhamento de neoplasias, sendo o  $^{18}\text{F}$ -FDG o radiofármaco mais utilizado devido à sua semelhança com a glicose e à sua alta captação por células tumorais. A técnica é crucial para o estadiamento do câncer, a avaliação da resposta ao tratamento e a detecção de recidivas. No entanto, a captação inespecífica do  $^{18}\text{F}$ -FDG pode gerar falsos-positivos, destacando a necessidade de novos radiofármacos e protocolos para aprimorar a precisão diagnóstica. A integração do PET com a TC permite correlacionar informações metabólicas e anatômicas, contribuindo para um diagnóstico mais acurado e um planejamento terapêutico otimizado (9).

## 3. Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais (PCA, do inglês *Principal Component Analysis*) é uma técnica estatística utilizada para reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados complexos, transformando variáveis potencialmente correlacionadas em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas, denominadas componentes principais (CPs). Cada CP é uma combinação linear das variáveis originais, sendo que a primeira componente principal (CP1) captura a maior parte da variância dos dados, seguida pela CP2, que captura a segunda maior variância, e assim sucessivamente. As CPs são ortogonais entre si, o que garante sua independência e ausência de correlação (4, 10).

A PCA é realizada por meio do cálculo de autovalores e autovetores da matriz de covariância ou correlação dos dados originais. Os autovetores representam as direções das CPs, enquanto os autovalores indicam a quantidade de variância

explicada por cada componente. A técnica é particularmente útil para simplificar a interpretação de dados multivariados, permitindo a identificação de padrões e a redução de redundâncias (11, 20).

### 3.1. Matriz de Dados

Considere um conjunto de dados com  $n$  observações e  $p$  variáveis, representado pela matriz  $X$  de dimensão  $n \times p$ :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

A PCA transforma as variáveis originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$  em um novo conjunto de variáveis  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ , as CPs, que são não correlacionadas e ordenadas por variância decrescente. A transformação é realizada por meio da decomposição da matriz de covariância  $S$  ou da matriz de correlação  $R$  dos dados originais (9).

### 3.2. Matriz de Covariância

A matriz de covariância  $S$ , de ordem  $p \times p$ , é simétrica e contém as variâncias e covariâncias das variáveis originais:

$$S = \begin{bmatrix} \widehat{Var}(X_1) & \widehat{Cov}(X_1, X_2) & \dots & \widehat{Cov}(X_1, X_p) \\ \widehat{Cov}(X_2, X_1) & \widehat{Var}(X_2) & \dots & \widehat{Cov}(X_2, X_p) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{Cov}(X_p, X_1) & \widehat{Cov}(X_p, X_2) & \dots & \widehat{Var}(X_p) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Quando as variáveis possuem unidades de medida diferentes, é recomendável padronizá-las para média zero e variância unitária, utilizando a transformação  $X_{std} = \frac{X - \mu}{\sigma}$ , onde  $\mu$  e  $\sigma$  são a média e o desvio padrão, respectivamente (10).

### 3.3. Determinação das Componentes Principais

As CPs são obtidas resolvendo a equação característica  $|R - \lambda I| = 0$ , onde  $R$  é a matriz de correlação e  $\lambda$  são os autovalores. Para cada autovalor  $\lambda_i$ , existe um autovetor  $a_i$  correspondente, que define a combinação linear das variáveis originais para formar a CP  $Y_i$ :

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p \quad (3)$$

As CPs são ordenadas por variância decrescente, com  $\widehat{Var}(Y_i) = \lambda_i$ . A soma das variâncias das CPs é igual à variância total dos dados originais, e as CPs são ortogonais entre si, garantindo que  $\widehat{Cov}(Y_i, Y_j) = 0$  para  $i \neq j$  (9).

### 3.4. Interpretação e Contribuição das CPs

A contribuição de cada CP é expressa como a proporção da variância total que ela explica:

$$C_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \cdot 100 \quad (4)$$

A escolha do número de CPs a serem retidas pode ser baseada na proporção acumulada de variância explicada, comumente adotando-se um limite de 70% ou mais. A interpretação das CPs é realizada por meio dos coeficientes de ponderação (*loadings*) das variáveis originais, que indicam a influência de cada variável na formação da CP (10).

A PCA é uma ferramenta poderosa para a redução de dimensionalidade e a identificação de padrões em conjuntos de dados multivariados. Sua aplicação requer cuidados na padronização dos dados e na interpretação das componentes principais, garantindo que a análise seja robusta e informativa.

## 4. Métricas de Avaliação da Qualidade das Imagens

### 4.1. Métricas Utilizadas

Neste estudo, foram empregadas diversas métricas para avaliar a qualidade das imagens processadas, com destaque para o Erro Quadrático Médio (MSE), o Erro Absoluto Médio (MAE), o Índice de Similaridade Estrutural (SSIM), a Relação Sinal-Ruído de Pico (PSNR) e a Entropia. O MSE, definido por (14):

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i, j) - K(i, j))^2 \quad (5)$$

quantifica o erro quadrático entre os valores de intensidade dos pixels das imagens original  $I$  e processada  $K$ , atribuindo maior peso a diferenças significativas. O MAE, por sua vez, é calculado como (25):

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |I(i, j) - K(i, j)| \quad (6)$$

sendo menos sensível a *outliers* devido à ausência de quadratura. O SSIM, que avalia a similaridade estrutural entre as imagens, é dado por (28):

$$SSIM(I, K) = \frac{(2\mu_I\mu_K + C_1)(2\sigma_{IK} + C_2)}{(\mu_I^2 + \mu_K^2 + C_1)(\sigma_I^2 + \sigma_K^2 + C_2)} \quad (7)$$

onde  $\mu_I$ ,  $\mu_K$ ,  $\sigma_I$ ,  $\sigma_K$  e  $\sigma_{IK}$  representam as médias, variâncias e covariância das imagens, respectivamente. O PSNR, expresso em decibéis (dB), é definido como (3):

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{R_{max}^2}{MSE} \right) \quad (8)$$

sendo  $R_{max}$  o valor máximo de intensidade do pixel. A Entropia, que quantifica a incerteza ou informação em uma imagem, é calculada por (23):

$$H(I) = - \sum_{i=1}^L P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (9)$$

onde  $P(x_i)$  é a probabilidade de ocorrência da intensidade  $x_i$ . Essas métricas foram normalizadas e ponderadas conforme sua relevância para a análise de qualidade, garantindo uma avaliação robusta e abrangente das imagens processadas.

#### 4.2. Normalização das Métricas de Avaliação

A avaliação da qualidade das imagens originais e reconstruídas foi realizada com base em métricas quantitativas amplamente utilizadas: PSNR, SSIM, MSE, MAE e Entropia. Cada métrica captura aspectos distintos da fidelidade da imagem reconstruída em relação à original.

O MSE e o MAE quantificam discrepâncias pixel a pixel, com o primeiro atribuindo maior peso a diferenças elevadas e o segundo sendo menos sensível a *outliers*. O SSIM avalia similaridade estrutural considerando luminância, contraste e estrutura, sendo particularmente adequado para análise de imagens médicas. O PSNR, expresso em decibéis, mede a relação entre o sinal máximo e o ruído, sendo útil na quantificação da degradação da imagem. A entropia, por sua vez, é empregada para avaliar a complexidade e a quantidade de informação na imagem, sendo relevante na análise de padrões texturais em imagens médicas.

Para garantir comparabilidade entre as métricas, foi realizada uma normalização conforme descrita a seguir:

**Tabela 1.** Normalização das Métricas de Avaliação

| Item   |
|--|
| PSNR: Normalizado pela divisão pelo limite de 50 dB;               |
| SSIM: Mantido em sua escala natural entre 0 e 1;                   |
| MSE: Normalizado pelo valor máximo teórico de $255^2$ ;            |
| MAE: Normalizado pelo valor máximo teórico de 255;                 |
| Diferença de Entropia: Normalizada pelo valor máximo teórico de 8. |

Fonte: O autor (2025).

As equações de normalização adotadas são:

$$PSNR_{norm} = \min\left(\frac{PSNR}{50}, 1\right) \quad (10)$$

$$MSE_{norm} = \min\left(\frac{MSE}{255^2}, 1\right) \quad (11)$$

$$MAE_{norm} = \min\left(\frac{MAE}{255}, 1\right) \quad (12)$$

$$Entropia_{norm} = \min\left(\frac{\Delta E}{8}, 1\right) \quad (13)$$

onde  $\Delta E = |Entropia_{original} - Entropia_{reconstruída}|$ .

Essa normalização possibilita a integração das métricas em uma análise unificada, permitindo a construção de um ranking quantitativo de qualidade das imagens reconstruídas.

### 5. Metodologia

O presente estudo utilizou imagens PET/CT de 26 pacientes atendidos no Hospital São Domingos, em São Luís – MA, com aprovação do Comitê de Ética da instituição. A identificação das lesões foi realizada por especialistas do Departamento de Medicina Nuclear, liderados pelos médicos Dr. Wawryk Mendonça e Dra. Aline Santos Farias. As imagens no formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) foram processadas e analisadas com softwares específicos, tanto

localmente quanto por acesso remoto. O padrão DICOM é amplamente reconhecido internacionalmente para armazenamento, transmissão e visualização de imagens médicas, garantindo interoperabilidade entre diferentes sistemas e modalidades de imagem, como CT, RM e PET/CT. Além disso, o DICOM incorpora metadados estruturados, essenciais para rastreabilidade e reprodutibilidade das análises.

A metodologia proposta envolveu a leitura e armazenamento de imagens DICOM em uma matriz tridimensional, seguida da conversão para escala de cinza e aplicação da Decomposição em Valores Singulares (SVD). A SVD permitiu a redução de dimensionalidade, mantendo as características mais relevantes das imagens. Após a transformação dos dados, as imagens foram reconstruídas a partir dos componentes principais, permitindo a avaliação da fidelidade da reconstrução. O fluxo de trabalho incluiu a visualização das imagens originais, dos componentes principais e das imagens reconstruídas, garantindo a validação do processo.

A qualidade das imagens originais e reconstruídas através de PCA foi avaliada com base em métricas como PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*), SSIM (*Structural Similarity Index*), MSE (*Mean Squared Error*), MAE (*Mean Absolute Error*) e Entropia. Essas métricas foram normalizadas e combinadas em um ranking ponderado, permitindo uma análise objetiva da qualidade das imagens. O PSNR e o SSIM avaliaram a similaridade estrutural e a relação sinal-ruído, enquanto o MSE e o MAE quantificaram os erros pixel a pixel. A entropia foi utilizada para medir a complexidade e a quantidade de informação nas imagens. O ranking combinado é calculado como uma média ponderada das métricas normalizadas.

$$Ranking = w_1 PSNR_{norm} + w_2 SSIM_{norm} + w_3 MSE_{norm} + w_4 MAE_{norm} + w_5 Entropia_{norm} \quad (14)$$

A avaliação visual das imagens foi realizada pela equipe médica do Hospital São Domingos, com base em critérios como nitidez, contraste, fidelidade de cores e detecção de características. As imagens foram classificadas em uma escala de 0 a 1, categorizadas como inaceitável, insatisfatória, aceitável, boa ou excelente. A nitidez e o contraste foram essenciais para a identificação de detalhes anatômicos e anomalias, enquanto a fidelidade de cores garantiu a precisão cromática necessária para diagnósticos precisos. A detecção de características permitiu a identificação de lesões e estruturas relevantes, facilitando a análise clínica.

$$Avaliação = \frac{Nitidez + Contraste + Fidelidade + Detecção}{4} \quad (15)$$

### 6. Resultados

#### 6.1. Avaliação Multicritério da Qualidade de Imagem

A análise comparativa entre as imagens originais de PET/CT e aquelas reconstruídas por Análise de Componentes Principais (PCA) foi conduzida com

base em um Ranking Combinado, cujos valores estão apresentados na Tabela 1. Os pesos atribuídos às métricas utilizadas foram definidos empiricamente como  $w = [0,19; 0,75; 0,005; 0,005; 0,05]$  para PSNR, SSIM, MSE, MAE e diferença de entropia, respectivamente.

**Tabela 1.** Valores de Ranking obtido entre a Imagem Original advinda do PET/CT e a Imagem Reconstruída pelo PCA.

| Paciente Analisado | Ranking Combinado |
|--------------------|-------------------|
| Paciente 00        | 0,86488           |
| Paciente 01        | 0,19096           |
| Paciente 02        | 0,70697           |
| Paciente 03        | 0,59332           |
| Paciente 04        | 0,86762           |
| Paciente 05        | 0,19403           |
| Paciente 06        | 0,62188           |
| Paciente 07        | 0,85139           |
| Paciente 08        | 0,63602           |
| Paciente 09        | 0,29812           |
| Paciente 10        | 0,86833           |
| Paciente 11        | 0,87290           |
| Paciente 12        | 0,77845           |
| Paciente 13        | 0,28694           |
| Paciente 14        | 0,78273           |
| Paciente 15        | 0,87597           |
| Paciente 16        | 0,50537           |
| Paciente 17        | 0,65268           |
| Paciente 18        | 0,86428           |
| Paciente 19        | 0,20357           |
| Paciente 20        | 0,87513           |
| Paciente 21        | 0,86515           |
| Paciente 22        | 0,86832           |
| Paciente 23        | 0,58760           |
| Paciente 24        | 0,69427           |
| Paciente 25        | 0,70309           |

Fonte: O autor (2025).

A entropia, utilizada para quantificar a incerteza ou a quantidade de informação presente nas imagens, foi calculada individualmente para cada paciente, expressando-se em termos percentuais em relação ao maior valor de entropia observado. Os valores de entropia apresentaram ampla variação entre os pacientes, destacando-se o Paciente 05, com o menor valor (0,0053), e o Paciente 06, com o maior (0,81415). De maneira geral, a maioria dos pacientes exibiu valores de entropia inferiores a 0,1, excetuando-se os Pacientes 01, 06, 13 e 16, cujas imagens reconstruídas apresentaram maior dispersão informacional. Esses achados indicam que, embora a técnica de PCA preserve, em grande parte, a congruência das imagens originais, casos específicos podem demandar ajustes metodológicos ou indicar limitações do método para determinadas características das imagens analisadas.

A reconstrução das imagens via PCA demonstrou elevada fidelidade na maioria dos casos, com exceção de alguns pacientes que apresentaram valores de entropia elevados. A análise percentual da entropia revelou-se um instrumento relevante para identificar potenciais limitações do método e

aperfeiçoar o processo de reconstrução de imagens médicas.

### 6.2. Avaliação Multicritério da Qualidade de Imagem

A análise dos dados da Tabela 2, que apresenta a avaliação das métricas visuais entre a imagem original obtida por PET/CT e a imagem reconstruída por Análise de Componentes Principais (PCA), evidencia variações no desempenho da reconstrução entre os diferentes pacientes analisados.

**Tabela 2.** Valores da Avaliação das métricas visuais entre a Imagem Original advinda do PET/CT e a Imagem Reconstruída pelo PCA.

| Paciente Analisado | Média Avalistas |
|--------------------|-----------------|
| Paciente 00        | 0,75            |
| Paciente 01        | 0,75            |
| Paciente 02        | 0,75            |
| Paciente 03        | 0,7             |
| Paciente 04        | 0,8             |
| Paciente 05        | 0,7             |
| Paciente 06        | 0,7             |
| Paciente 07        | 0,825           |
| Paciente 08        | 0,875           |
| Paciente 09        | 0,9             |
| Paciente 10        | 0,6             |
| Paciente 11        | 0,725           |
| Paciente 12        | 0,75            |
| Paciente 13        | 0,975           |
| Paciente 14        | 0,95            |
| Paciente 15        | 0,625           |
| Paciente 16        | 0,75            |
| Paciente 17        | 0,8             |
| Paciente 18        | 0,725           |
| Paciente 19        | 0,725           |
| Paciente 20        | 0,725           |
| Paciente 21        | 0,975           |
| Paciente 22        | 0,65            |
| Paciente 23        | 0,75            |
| Paciente 24        | 0,75            |
| Paciente 25        | 0,8             |

Fonte: O autor (2025).

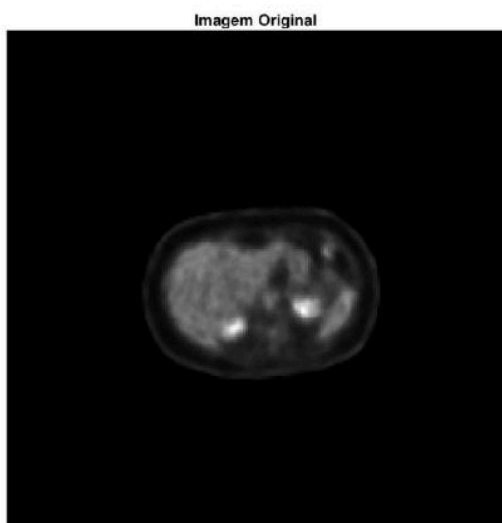
Os valores médios atribuídos pelo Avalistas variam de 0 (Paciente 19) a 0,975 (Pacientes 13 e 21), indicando que, embora o método de reconstrução por PCA tenha apresentado resultados satisfatórios em diversos casos, há discrepâncias significativas. Em particular, a avaliação do Paciente 19 sugere um desempenho insatisfatório do PCA nesse caso específico.

Observa-se que a maioria dos pacientes apresenta médias superiores a 0,7, o que sugere uma boa qualidade na reconstrução das imagens. Destacam-se os Pacientes 13 e 21, cujas avaliações máximas (0,975) indicam que o PCA preservou de maneira mais eficiente os detalhes das imagens. A variabilidade nos resultados pode estar associada a fatores como características individuais das imagens PET/CT, a complexidade da reconstrução ou a sensibilidade do PCA a determinadas particularidades das imagens analisadas.

Adicionalmente, pacientes com médias entre 0,7 e 0,8, como os Pacientes 00, 01, 02, 04 e 07, indicam um desempenho globalmente adequado do método de reconstrução, embora haja margem para otimização. A discrepância observada em casos com avaliações mais baixas, como o Paciente 19, sugere a necessidade de aprimoramentos no algoritmo para garantir maior consistência e qualidade na reconstrução das imagens em diferentes cenários clínicos.

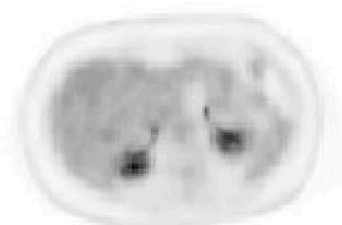
### 6.3. Avaliação Multicritério da Qualidade de Imagem

Com base nos resultados obtidos, foram selecionados três casos clínicos de pacientes com lesões cancerígenas em diferentes regiões do corpo, extraídos do banco de dados do Hospital São Domingos, garantindo a privacidade e confidencialidade dos dados conforme diretrizes éticas. Esses casos ilustram distintos perfis clínicos e padrões de acometimento, permitindo uma análise abrangente do diagnóstico e tratamento. Para demonstrar a metodologia proposta, foi analisado o paciente 04, portador de lesão estomacal, cuja imagem PET/CT axial (Figura 1) serviu de base para a extração das componentes principais. O exame, segmentado em trinta e sete *frames* do diretório 37 e armazenado em formato DICOM, teve sua matriz tridimensional  $U$  ( $192 \times 192$ ) normalizada e submetida à decomposição em valores singulares, resultando em quatro componentes principais (Figuras 2 a 5). A reconstrução da imagem via PCA (Figura 6) possibilitou a detecção e comparação de pontos de interesse, contribuindo para a validação dos resultados.



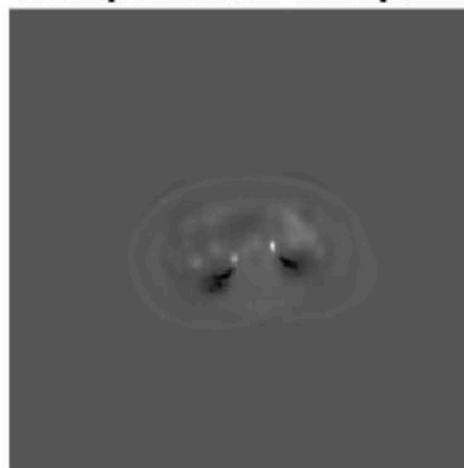
**Figura 1.** Imagem original de PET/CT do paciente com lesão cancerígena localizada na região estomacal.

## Componente Principal 1



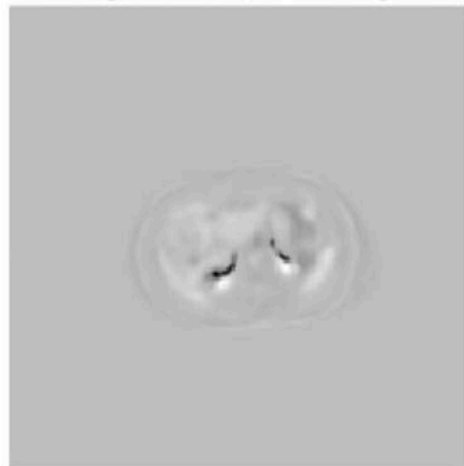
**Figura 2.** Primeira componente principal obtida a partir da aplicação do PCA no exame de PET/CT do paciente com lesão cancerígena na região estomacal.

## Componente Principal 2



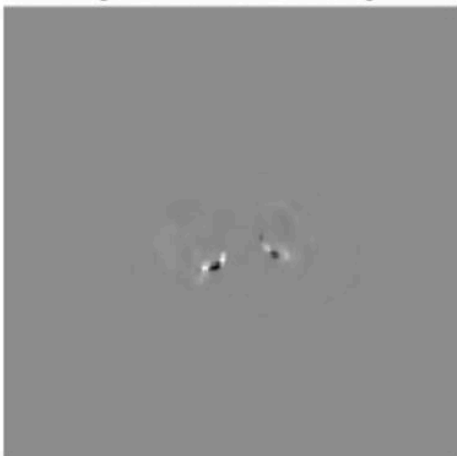
**Figura 3.** Segunda componente principal obtida a partir da aplicação do PCA no exame de PET/CT do paciente com lesão cancerígena na região estomacal.

## Componente Principal 3



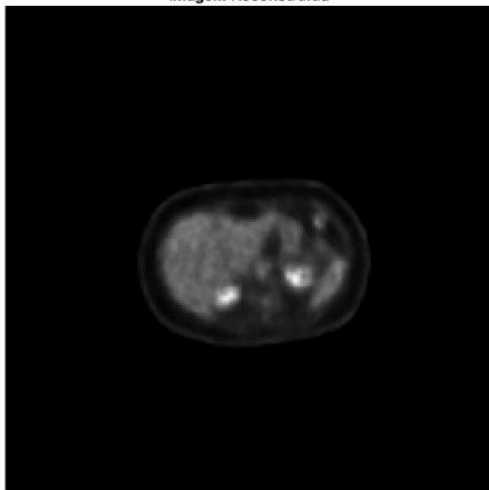
**Figura 4.** Terceira componente principal obtida a partir da aplicação do PCA no exame de PET/CT do paciente com lesão cancerígena na região estomacal.

## Componente Principal 4



**Figura 5.** Quarta componente principal obtida a partir da aplicação do PCA no exame de PET/CT do paciente com lesão cancerígena na região estomacal.

Imagem Reconstruída



**Figura 6.** Imagem reconstruída após a aplicação do PCA no exame de PET/CT do paciente com lesão cancerígena localizada na região estomacal.

## 5. Conclusões

A presente dissertação propôs uma abordagem metodológica para a análise de imagens médicas no formato DICOM, oriundas de exames PET/CT, enfatizando a utilização de doses reduzidas de radiofármacos. A aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) demonstrou-se eficaz na extração de características fundamentais das imagens, permitindo uma avaliação quantitativa rigorosa da qualidade das reconstruções. As métricas utilizadas, incluindo PSNR, SSIM, MSE, MAE e diferença de entropia, possibilitaram uma análise abrangente ao capturar diferentes propriedades estruturais e estatísticas das imagens. A preservação da qualidade das reconstruções foi evidenciada pelos elevados valores do ranking combinado, superando 0,8 em diversos casos, indicando a capacidade da PCA de manter a fidelidade estrutural das imagens ao mesmo tempo que reduzia a dimensionalidade dos dados.

As contribuições desta pesquisa incluem o desenvolvimento de uma metodologia baseada na PCA para análise de imagens PET/CT com doses reduzidas de radiofármacos, a integração de diferentes métricas de avaliação de qualidade em um ranking combinado e a proposição de um modelo quantitativo para correlacionar a avaliação computacional com a percepção profissional. Além disso, a utilização da diferença de entropia como métrica complementar proporcionou uma análise mais abrangente das alterações estruturais das imagens reconstruídas. Essas contribuições destacam a relevância da PCA como ferramenta para otimização do processamento de imagens médicas, possibilitando a redução da necessidade de altas doses de radiofármacos e favorecendo diagnósticos mais precisos e acessíveis.

## Agradecimentos

Agradeço ao PPGEE da UFMA pelo suporte acadêmico, a CAPES pelo apoio financeiro e ao Serviço de Medicina Nuclear do Hospital São Domingos pelo apoio técnico e disponibilização de recursos

## Referências

1. Akinc, A. et al. (2019). *The onpatro story and the clinical translation of nanomedicines containing nucleic acid-based drugs*. *Nature Nanotechnology*, 14(12), 1084–1087.
2. Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
3. Bovik, A.C. (2009). *The essential guide to image processing*. Academic Press.
4. Comon, P. (1994). *Independent component analysis - a new concept*. *Signal Processing*.
5. Dantas, A.L.A. and de Oliveira, S.M. (2020). *Avaliação das exposições ocupacionais internas em medicina nuclear – dificuldades e alternativas*. *Revista Brasileira de Física Médica*, 13.
6. Garcia, L. (2021). *Color accuracy in pathological imaging*. *Journal of Pathology Informatics*, 12(3), 234–245.
7. Giammarile, F. and Houzard, C.L.C. (2011). *Principles and practice of PET/CT part 2: a technologist's guide*. European Association of Nuclear Medicine, 50–58.
8. Hogg, P., Meadows, A., and Heathcote, A. (2010). *Principles and practice of PET/CT: part 1: a technologist's guide*. European Association of Nuclear Medicine.
9. Johnson, R. A. and Wichern, D.W. (1999). *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice-Hall.
10. Jolliffe, I. (2002). *Principal component analysis*. Springer.
11. Khatree, R. and Naik, D. (2000). *Multivariate data reduction and discrimination with SAS software*. SAS Institute Inc.
12. Khiewvan, B., Torigian, D.A., Emamzadehfard, S., Paydary, K., Salavati, A., Houshmand, S., Werner, T.J., and Alavi, A. (2017). *An update on the role of PET/CT and PET/MRI in ovarian cancer*. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 44, 1079–1091.
13. Kramer, E.L., Ko, J.P., Ponzo, F., and Mourtzikos, K. (2008). *Positron emission tomography computed tomography: a disease-oriented approach*. Informa Healthcare.
14. Lemos, A., Caminhas, W., and Gomide, F. (2010). *Multivariable Gaussian evolving fuzzy modeling system*. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 19(1), 91–104.
15. Liu, X. et al. (2024). *Persistent free radicals on biochar for its catalytic capability: A review*. *Water Research*, Elsevier, v. 250, p. 120999.
16. Lonsdale, M. and Beyer, T. (2010). *Dual-modality PET/CT instrumentation—today and tomorrow*. *Eur J Radiol*, 73, 452–460.

17. Machado, M.A.D., Menezes, V.O., Queiroz, C.C., da Silva, D.C., Sampaio, L.J.L., and Almeida, A. (2021). *Radioproteção aplicada à medicina nuclear*. Revista Brasileira de Física Médica, 14.
18. Marinov, Z. et al. (2023). *Mirror U-Net: Marrying multimodal fission with multi-task learning for semantic segmentation in medical imaging*. In: Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops. p. 2283–2293.
19. Mettler, F.A. and Guiberteau, M.J. (2012). *Essentials of nuclear medicine imaging*. Essentials of Nuclear Medicine Imaging, 6.
20. Regazzi, A. (2000). *Análise multivariada, notas de aula INF 766*. Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa.
21. Saha, G.B. (2018). *Fundamentals of Nuclear Pharmacy*. Springer International Publishing, 7ª edição.
22. Saha, G.B. and Gopal, B. (2005). *Basics of PET imaging: physics, chemistry, and regulations*. Springer.
23. Shannon, C.E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press.
24. Souza, G. G. de and Lucero, M. J. (2024). *A importância da espectroscopia por ressonância magnética para avaliação de lesões neoplásicas do sistema nervoso central*. Repositório Institucional do UNILUS, v. 3, n. 1.
25. Szeliski, R. (2022). *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Nature.
26. Townsend, D. (2008). *Combined positron emission tomography-computed tomography: the historical perspective*. Semin Ultrasound CT MR, 4.
27. Valk, P.E., Delbeke, D., Bailey, D.L., Townsend, D.W., and Maisey, M.N. (2006). *Positron emission tomography: clinical practice*. Springer Science & Business Media.
28. Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., and Simoncelli, E.P. (2004). *Image quality assessment: from error visibility to structural similarity*. IEEE Transactions on Image Processing, 13(4), 600–612.
29. Yau, J.W., Teoh, H., and Verma, S. (2015). *Endothelial cell control of thrombosis*. BMC Cardiovascular Disorders, 15, 1–11.

**Contato:**

Matheus Silva Pestana  
UFMA  
Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís  
- MA, 65080-805  
matheus.pestana@discente.ufma.br

## Neuroimagem em Física Médica: Estudo Volumétrico da Amígdala em Pacientes com Neuralgia do Trigêmeo

Gamardelli A.<sup>1</sup>, Gama T.<sup>2</sup>, Maia A.<sup>3</sup>, De Castro P.<sup>3</sup>, Dos Santos M.<sup>3</sup>, Ramos L.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Ufrj, <sup>3</sup> Universidade Federal Do Rio De Janeiro

**Resumo:** A neuralgia do trigêmeo (NT) é uma condição crônica marcada por episódios intensos de dor facial. Estudos indicam que essa dor pode estar associada a alterações estruturais no cérebro, especialmente na amígdala, região envolvida no processamento emocional e modulação da dor. A ressonância magnética (RM), por permitir a visualização de tecidos moles com alta resolução e sem uso de radiação ionizante, é uma ferramenta útil para estudar tais alterações. Este estudo busca investigar alterações volumétricas da amígdala e suas sub-regiões em pacientes com NT, correlacionando estes achados com a sintomatologia dos pacientes.

**Materiais e métodos:** Foram utilizadas imagens de RM estrutural de 111 pacientes com NT e 48 controles saudáveis. Todos os exames foram adquiridos usando um scanner de 3T (Ingenua, Philips Healthcare, Holanda), com uma bobina de cabeça de receptor de 16 canais. O protocolo de imagem cerebral incluiu sequências convencionais de RM e imagens ponderadas por T1 3D de alta resolução. A sequência ponderada T1 foi adquirida com os seguintes parâmetros: tempo de repetição (TR) = 6,56 ms, tempo de eco (TE) = 2,95 ms, campo de visão (FOV) = 256 x 256 mm, ângulo de inversão = 8°, tamanho da matriz = 256 x 256, espessura da fatia = 1 mm. A duração total da digitalização foi de aproximadamente 30 minutos.

**Resultados e discussões:** Pacientes com NT apresentaram redução significativa dos volumes da amígdala esquerda ( $p < .01$ ,  $d = 0.47$ ) e direita ( $p = .01$ ,  $d = 0.56$ ). Houve diminuição bilateral nos núcleos medial, cortical e de transição córtico-amigdalóide, além do núcleo basal acessório na amígdala direita. Observou-se correlação negativa entre o volume da amígdala bilateral (D:  $r = -0.25$ ,  $p = 0.02$ ; E:  $r = -0.21$ ,  $p = 0.05$ ) os escores de dor.

**Conclusões:** As alterações volumétricas na amígdala e em suas sub-regiões, associadas à intensidade da dor, reforçam seu papel no processamento e modulação da dor crônica em pacientes com NT, sugerindo possíveis mecanismos disfuncionais envolvidos nesse processo.

### Referências:

- [1] ARAYA, E. et al. Trigeminal neuralgia: pathophysiology and current treatment modalities. *Journal of Pain Research*, v. 13, p. 1203–1210, 2020. FILIMONOVA, E. et al. A large-scale MRI dataset of patients with trigeminal neuralgia. *OpenNeuro*, 2024. DOI: 10.18112/openneuro.ds005713.v1.0.1. FISCHL, B. et al. Whole brain segmentation: automated labeling of neuroanatomical structures in the human brain. *Neuron*, v. 33, p. 341–355, 2002.
- [2] LAMBRU, G.; ZAKRZEWSKA, J.; MATHARU, M. Trigeminal neuralgia: a practical guide. *Practical Neurology*, v. 21, n. 5, p. 392–402, 2021. SHEN, S. et al. Gray matter volume reduction with different disease duration in trigeminal neuralgia. *Journal of Neurology*, [S. l.], v. 269, p. 4395–4404, 2021. DOI: 10.1007/s00415-021-10760-7.

## Técnicas computacionais de análise de sinais de EEG para a classificação de idosos em diferentes estágios da doença de Alzheimer

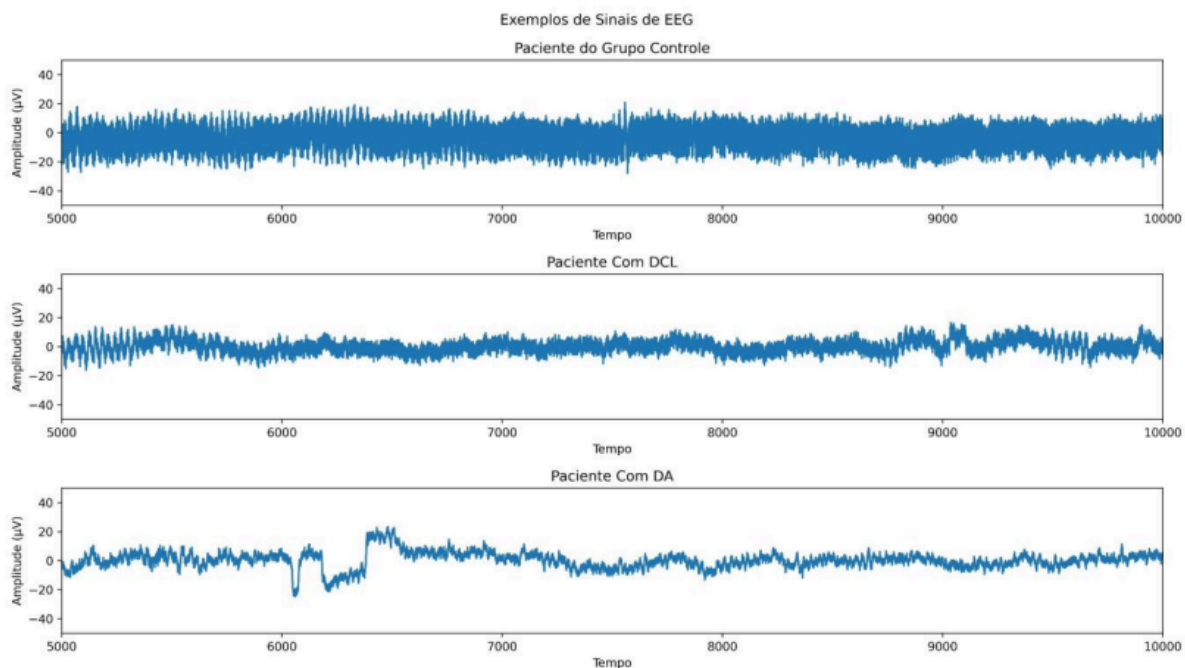
Gomes M.<sup>1</sup>, Vicchietti M.<sup>2</sup>, Campanharo A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Marceline Esperança Gomes, <sup>2</sup> Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais, <sup>3</sup> Ibb/Unesp, Departamento De Biodiversidade E Bioestatística

**Resumo:** A doença de Alzheimer (DA) é o tipo mais comum de patologia neurodegenerativa, caracterizada por demência progressiva e por sintomas neuropsiquiátricos. A DA não tem cura, por isso o diagnóstico precoce da doença, particularmente no seu estágio de declínio cognitivo leve (DCL), tem grande importância, uma vez que os tratamentos são mais eficazes nessa fase inicial [1, 2, 3]. Um conjunto crescente de evidências sugere que biomarcadores de eletroencefalografia (EEG) podem ser usados para identificar anormalidades na função neural, tornando possível sua aplicação no estudo da DA. Durante a coleta do EEG, a atividade elétrica cerebral é registrada na forma de série temporal, e pode ser analisada por meio de técnicas computacionais de processamento de sinais [4].

**Materiais e métodos:** Os sinais de EEG foram coletados segundo o sistema 10-20, com frequência de 256 Hz, em 105 pacientes (20 saudáveis, 37 com DCL e 48 com DA) do centro IRCCS Neurolesi “Bonino Pulejo” (Messina, Itália). Utilizando a wavelet Coiflet 1, os sinais foram decompostos nas bandas alfa, beta, teta e delta. Foram utilizadas três técnicas para a análise dos sinais: mapeamento em Grafos de Quantis (GQ) [5,6], dimensão fractal pelo algoritmo de Katz [7] e entropia quadrática. A partir do GQ, os sinais foram mapeados em redes complexas e analisados com cinco caracterizadores topológicos. Por fim, a máquina de vetores de suporte (SVM) foi usada para classificar os estágios da doença e avaliar as acurácias

**Resultados e discussões:** As acurácias obtidas a partir do SVM mostraram que as técnicas em análise foram eficientes na classificação dos pacientes em diferentes condições de saúde (saudáveis, pacientes com DCL e com a DA). Pôde-se observar que a maior acurácia, com valor de 0,7619, foi obtida na análise do sinal original (eletrodo F8), com o uso da técnica GQ.



**Conclusões:** A partir das acurácias calculadas é possível deferir que a técnica mais apta para a diferenciação entre os três grupos de pacientes foi a GQ. Os resultados sugerem que os métodos aqui estudados podem ser incluídos em procedimentos de aprendizado de máquina para o apoio à identificação precoce da DA. Em trabalhos futuros, outros caracterizadores topológicos e outros dados de EEG serão analisados.

**Agradecimento:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Processo nº 2024/05536-0.

**Referências:**

- [1] C. Sorg, V. Riedl, M. Muhlau, V. D. Calhoun, T. Eichele, L. Lauer, A. Drzezga, H. Förstl, A. Kurz, C. Zimmer, et al. Selective changes of resting-state networks in individuals at risk for Alzheimer’s disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(47):18760–18765, 2007.
- [2] J. Sheng, M. Shao, Q. Zhang, R. Zhou, L. Wang, and Y. Xin. Alzheimer’s disease, mild cognitive impairment, and normal aging distinguished by multi-modal parcellation and machine learning. *Scientific Reports*, 10(1):5475, 2020.
- [3] J. Dauwels, F.-B. Vialatte, and A. Cichocki. On the early diagnosis of Alzheimer’s disease from EEG signals: a mini-review. In *Advances in Cognitive Neurodynamics (II) Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Neurodynamics-2009*, pages 709–716. Springer, 2010.
- [4] A. M. Pineda, F. M. Ramos, L. E. Betting, and A. S. Campanharo. Quantile graphs for EEG-based diagnosis of Alzheimer’s disease. *Plos one*, 15(6):e0231169, 2020.
- [5] A. S. Campanharo, M. I. Sirer, R. D. Malmgren, F. M. Ramos, and L. A. N. Amaral. Duality between time series and networks. *PloS one*, 6(8):e23378, 2011
- [6] M. L. Vicchiatti et al. Computational methods of EEG signals analysis for Alzheimer’s disease classification. *Scientific Reports*, v. 13, n. 1, p. 8184, 2023.
- [7] M. J. Katz. Fractals and the analysis of waveforms. *Computers in biology and medicine*, 18(3):145–156, 1988

## Framework Multicanal em R para Decomposição de Sinais via Matching Pursuit

Padilha E.<sup>1</sup>, Rybarczyk Filho J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unesp Ibb, <sup>2</sup> Ibb-Unesp

**Resumo:** O algoritmo Matching Pursuit (MP) é utilizado em larga escala na decomposição de sinais não estacionários, com ênfase em EEG e outros sinais biomédicos. Existem implementações não amigáveis em linguagem MATLAB e C, mas ainda não existe uma versão otimizada para análise de sinais em ambiente R. Este trabalho desenvolve um framework multicanal em R, capaz de decompor simultaneamente diversos canais com suporte a diferentes átomos (Gabor, senoidais, chirplets). A ferramenta busca preencher essa lacuna, oferecendo uma solução acessível, modular e adequada a aplicações em pesquisa de processamento de sinais.

**Materiais e métodos:** O framework foi desenvolvido em R, com suporte à multicanais. Foram utilizadas estruturas vetorizadas e bibliotecas do ecossistema Tidyverse para otimização computacional. Desenvolvemos funções para geração e seleção de átomos (Gabor, senoidais e chirplets), projeções multicanais e reconstrução por extração iterativa de coeficientes. A arquitetura modular permite customização de dicionários e critérios de parada. Os testes foram realizados com sinais reais obtidos no ISRUC-SLEEP, processando todos os canais simultaneamente.

**Resultados e discussões:** O framework demonstrou boa capacidade de decomposição multicanal, preservando a fidelidade dos sinais reconstruídos e proporcionando adequada separação espectral. Em testes com banco ISRUC-SLEEP (30 registros, 6 canais), o tempo médio de execução por sujeito foi de 120,2 s com dicionário Gabor e 226,8 s com chirplets. Tempo de execução compatível com as implementações em MATLAB ou C.

**Conclusões:** O framework multicanal desenvolvido em R oferece uma solução flexível e robusta para decomposição de sinais por MP. Sua estrutura modular e personalizável o torna adequado para aplicações em pesquisa e ensino. A iniciativa contribui para o avanço das ferramentas de análise temporal no ambiente R, especialmente em sinais biomédicos multicanais.

**Agradecimento:** CNPq

### Referências:

[1] DURKA, Piotr J. Matching pursuit and unification in EEG analysis. Boston: Artech House, 2007.

## Métodos de visão computacional para classificação de radiografias de pacientes com e sem tuberculose.

Gonçalves L.<sup>1</sup>, Mariotto L.<sup>2</sup>, Alves A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Não Consta, <sup>2</sup> Nycolas Mariotto, <sup>3</sup> Instituto De Biociências De Botucatu - Unesp

**Resumo:** A tuberculose (TB) voltou a ser a principal causa de morte por agente infeccioso no mundo, após a pandemia de COVID-19. Segundo a OMS, em 2023, cerca de 10,8M de pessoas adoeceram por TB globalmente, com um total de 1,25M de mortes. Erradicar a epidemia de tuberculose até 2030 é uma meta dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, com investimento estimado de US\$22B anuais. A radiografia do tórax pode indicar sinais sugestivos de atividade ou sequela da TB. A Organização PanAmericana de Saúde recomenda aos países das Américas a utilizarem radiografias assistidas por IA para identificar casos da doença. Portanto, o trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta automatizada para classificação de pacientes com e sem TB, utilizando técnicas de visão computacional.

**Materiais e métodos:** Utilizou-se o dataset TBX-11K, com mais de 11 mil imagens rotuladas, incluindo casos de tuberculose ativa e latente, e pacientes saudáveis. As imagens contêm marcações das regiões acometidas. Utilizamos modelos de visão computacional Roboflow (Fast e Accurate) e YOLOv11, capazes de identificar e classificar os casos. O desempenho foi avaliado por métricas como mAP e matriz de confusão. Foram aplicadas técnicas de pré-processamento e data augmentation. O treinamento usou 100 épocas, com tamanho de lote 16 e dimensões de 640 x 640 pixels. O otimizador foi configurado para ajuste automático, permitindo uma adaptação eficiente dos parâmetros do modelo ao longo do processo de aprendizagem.

**Resultados e discussões:** Os modelos YOLOv11 e Roboflow foram treinados com o dataset TBX-11K e apresentaram desempenho semelhante, com mAP em torno de 70% para ambos. Os resultados são considerados preliminares e indicam que há espaço para melhorias na performance dos modelos. Técnicas adicionais de otimização, aumento de dados e ajustes nos hiperparâmetros podem contribuir para um aumento da precisão na detecção da TB.

**Conclusões:** O desenvolvimento da ferramenta automatizada baseada em visão computacional mostrou-se promissor na classificação de pacientes com e sem tuberculose. Os métodos YOLOv11 e Roboflow obtiveram resultados iniciais satisfatórios, mas com margem para aprimoramento. Ajustes nos modelos, bem como o refinamento das estratégias de treinamento, devem contribuir para uma maior acurácia e robustez do sistema.

**Agradecimento:** Gostaria de expressar minha gratidão ao professor Allan Felipe Fattori Alves, pelo apoio constante, paciência e dedicação em cada orientação ao longo deste trabalho. Agradeço, também, aos meus amigos pela parceria e pelos momentos de aprendizado compartilhado.

### Referências:

- [1] LIU, Yun; WU, Yu-Huan; BAN, Yunfeng; et al. TBX11K: Tuberculosis X-ray dataset. 2019.
- [2] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Tuberculosis. Geneva: WHO, 14 mar. 2025.
- [3] MOSQUERA, Katherine Duran et al. Multi-Omic Analysis of Symbiotic Bacteria Associated With Aedes aegypti Breeding Sites. *Frontiers in Microbiology*, [S.l.], v. 12, 2021.
- [4] ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Tuberculose ressurge como a principal causa de morte por doença infecciosa. Brasília: OPAS, 1 nov. 2024.

- [5] MARCHIORI, Edson et al. Imagem em tuberculose pulmonar. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 329–336, nov./dez. 2001.
- [6] FRONTIERS MEDIA S.A.. YOLOv8's advancements in tuberculosis identification from chest images. *Frontiers in Big Data*, v. 7, 2024

## O uso de redes neurais para a segmentação e extração da densidade mamária a partir de imagens mamográficas

Aline Yoshida Machado <sup>1</sup>, Rodrigo Trevisan Massera <sup>2</sup>, Alessandra Tomal <sup>3 1</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>2</sup> Instituto De Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual De Campinas, <sup>3</sup> 04011173916

**Resumo:** O câncer de mama é o mais comum entre mulheres no Brasil e, devido à alta incidência, sua detecção precoce é um desafio prioritário à saúde pública. A mamografia é o principal método de rastreamento, e estimar a densidade da mama a partir destas imagens, mostra-se essencial, uma vez que a densidade da mama influencia na sensibilidade da imagem e é um fator de risco do câncer de mama. A densidade volumétrica da mama (VBD), razão entre os volumes glandular e total, é amplamente utilizada, mas geralmente estimada de forma qualitativa via BI-RADS, o que limita a precisão. Neste contexto, este trabalho propõe uma ferramenta para quantificar a VBD por meio de modelos de deep learning treinados com imagens geradas por simulação Monte Carlo (MC) usando phantoms antropomórficos de mama.

**Materiais e métodos:** Para gerar as imagens de treinamento, foram simulados 308 phantoms de mama 3D com o BreastPhantom, representando diferentes anatomias. As máscaras (ground truth) foram obtidas por ray tracing, e as imagens de mamografia (features) nas projeções CC e MLO foram geradas via simulação Monte Carlo com o código MC-GPU, totalizando 3485 imagens. Para quantificar a VBD, três redes neurais foram treinadas: a Rede I segmenta os tecidos, a Rede II estima a altura relativa e a Rede III prevê a distribuição da altura glandular. A VBD é calculada a partir das previsões das três redes. As previsões foram avaliadas pelo Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) e o Índice de Similaridade Estrutural (SSIM).

**Resultados e discussões:** A Rede I resultou em um MAPE de  $(0,46 \pm 0,25)\%$  para a área da mama, com maior erro na segmentação da pele  $(8,6 \pm 6,5)\%$ . A Rede II resultou em um MAPE de  $(4,39 \pm 2,62)\%$  com dificuldade na previsão nas bordas da mama. Por fim, a Rede III alcançou SSIM de 0,91 e MAPE de  $(12,5 \pm 23)\%$ . Os resultados demonstram um bom desempenho, mas refletem a complexidade da tarefa e os erros acumulados nas diferentes etapas.



**Conclusões:** Este trabalho desenvolveu um framework com redes neurais para estimar a VBD usando imagens de mamografia simuladas via MC, a partir de phantoms antropomórficos. Os modelos mostraram bom desempenho e generalização, apesar dos erros concentrados nas regiões de borda. Trata-se de uma abordagem promissora, com potencial impacto na melhoria do rastreamento e da detecção precoce do câncer de mama.

**Agradecimento:** A autora agradece ao CNPq (Processo nº 100241/2024-7) pelo apoio financeiro, bem como ao IFGW/UNICAMP e ao grupo GFRMd pelo suporte técnico e infraestrutura. Agradece, com especial apreço, à Prof<sup>a</sup> Dra. Alessandra Tomal pela orientação fundamental. Este trabalho foi apoiado pelas agências FAPESP (Processos 2015/21873-8, 2018/05982-0, 2021/08923-7, 2023/03535-4) e CNPq (100241/2024-7).

**Referências:**

- [1] Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA), Estimativa 2023: Incidência de câncer no Brasil
- [2] R. T. Massera and A. Tomal, “Breast glandularity and mean glandular dose assessment using a deep learning framework: Virtual patients study”, *Physica Medica*, vol. 83, pp. 264–277, 2021.
- [3] Badal, A. and Badano, A., “Accelerating Monte Carlo simulations of photon transport in a voxelized geometry using a massively parallel graphics processing unit,” *Med. Phys.* 36(11), 4878–4880 (2009)

## Entropia em imagens de ressonância magnética funcional

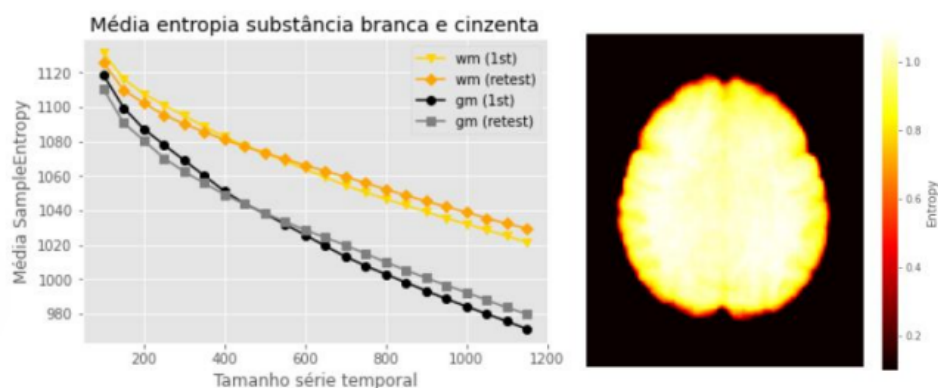
Gambaro G.<sup>1</sup>, Leoni R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** O envelhecimento e doenças cerebrais, como esquizofrenia e Alzheimer, alteram a complexidade da atividade cerebral, cuja caracterização quantitativa pode ser feita pelo cálculo de entropia. Dentre os diversos métodos, utilizamos a sample entropy, que mede o logaritmo natural negativo da probabilidade condicional de duas sequências que são semelhantes continue sendo semelhantes no próximo ponto, onde a auto-contagem não é inclusa. No entanto, sua aplicação em dados de imagem por ressonância magnética funcional (fMRI) demanda uma melhor compreensão quanto sua reprodutibilidade em diferentes condições de aquisição. Investigamos sua reprodutibilidade, dependência ao comprimento da série temporal e capacidade de distinguir regiões cerebrais, para futura avaliação do envelhecimento saudável.

**Materiais e métodos:** Utilizamos imagens funcionais do Human Connectome Project (HCP) de 44 sujeitos saudáveis que continham mais de uma aquisição, adquiridas em repouso no equipamento Siemens 3T (gradiente eco EPI, TR de 720ms, TE de 33.1ms e voxels de 2.0mm) e pré-processadas utilizando a pipeline mínima do HCP. Após exclusão dos 50 volumes iniciais para garantir estabilidade do sinal, a sample entropy foi calculada em nível de voxel ( $m=3$  e  $r=0.6std$ ). Na análise foi avaliada a reprodutibilidade comparando os mapas médios das duas aquisições de cada sujeito, investigou-se a dependência da entropia em relação ao comprimento da série temporal e a variação regional utilizando um atlas funcional (HCP-ICA).

**Resultados e discussões:** A sample entropy não pôde ser calculada para séries com menos de 50 pontos e mostrou alta dependência com o tamanho da série temporal. Apesar disso, apresentou boa reprodutibilidade entre as aquisições e foi capaz de diferenciar substâncias branca e cinzenta, com menor entropia na cinzenta, (figura 1) e a rede de modo padrão das redes fronto-parietal, linguagem, saliência e motora sensorial.



**Conclusões:** Os resultados indicam que a sample entropy, embora apresente alta dependência ao comprimento da série, é uma boa métrica para caracterizar a complexidade dos sinais de fMRI. Sua boa reprodutibilidade entre aquisições e capacidade de distinguir substância branca e cinzenta, rede de modo padrão e outras redes confirmam sua aplicabilidade como ferramenta complementar na análise funcional cerebral.

### Referências:

- [1] Richman JS, Moorman JR. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy.
- [2] Glasser M. F. et al. (2013). The minimal preprocessing pipelines for the Human Connectome Project.

## Geração de Imagens Mamográficas Sintetizadas: Um Novo Framework para Aumento de Dados com Ray Tracing, Simulação de Monte Carlo e Deep Learning

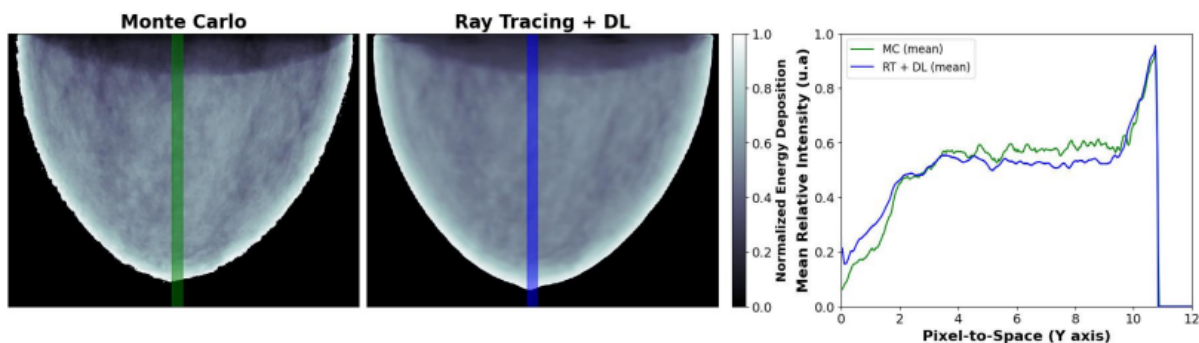
Machado A.<sup>1</sup>, Massera R.<sup>2</sup>, Tomal A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>2</sup> Instituto De Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual De Campinas, <sup>3</sup> 04011173916

**Resumo:** Ensaios clínicos virtuais têm se beneficiado da geração de imagens mamográficas sintetizadas a partir de phantoms antropomórficos, que se destacam como alternativa ética e segura aos ensaios tradicionais, contribuindo para a redução de custos e riscos associados à radiação. Ademais, essas imagens ampliam conjuntos de dados para treinar algoritmos de deep learning (DL). Embora o método Monte Carlo (MC) seja preciso para geração da imagem total (primária + espalhada), seu alto custo computacional motiva o uso de modelos de DL como alternativa mais rápida. Este estudo propõe um framework híbrido, integrando ray tracing (RT), simulações MC e DL para gerar imagens de mamografia sintéticas, a partir de phantoms antropomórficos de mama com foco em aplicações em ensaios clínicos virtuais.

**Materiais e métodos:** Neste estudo, 311 phantoms de mama foram gerados usando o software BreastPhantom (VICTRE) e utilizados para simular 6.220 imagens com o código MCGPU, considerando dez feixes monoenergéticos e duas projeções (CC e MLO). Um modelo de deep learning baseado em ResNet foi treinado com imagens primárias, espessura do phantom e energia do feixe para estimar a imagem total. Após o treinamento, imagens primárias foram geradas por RT para feixes monoenergéticos e combinadas com o espalhamento predito pela rede. Finalmente, usando ponderação pela energia para feixes polienergéticos, foram geradas imagens de mamografia sintetizadas com contribuições da radiação primária e espalhada.

**Resultados e discussões:** As imagens totais previstas pelo modelo ResNet têm alta similaridade com o ground truth, com um SSIM ( $0,98 \pm 0,02$ ) e erro percentual médio ( $2,49 \pm 4,04$ )%. A maior discrepância foi para as bordas da mama e feixes de baixa energia. A geração de imagens sintetizadas foi testada para um phantom de espessura de 3,9 cm e espectro de W/Rh (30 kV), resultado em uma boa concordância com as simulações MC.



**Conclusões:** Este estudo propôs uma pipeline eficiente para gerar imagens mamográficas sintetizadas integrando RT, MC e DL. A abordagem reduziu o tempo de geração de cada imagem de horas para minutos, mantendo alta similaridade com simulações MC. O framework mostrou-se promissor tanto para ensaios clínicos virtuais quanto para o treinamento de modelos de deep learning em mamografia.

**Agradecimento:** A autora agradece à Prof<sup>ª</sup>. Dra. Alessandra Tomal pela orientação e suporte, assim como ao IFGW/UNICAMP pela infraestrutura. Além disso, este trabalho foi financiado pelas agências brasileiras FAPESP [ número de concessão 2015/21873-8, 2018/05982-0,

2021/08923-7 e 2023/03535-4]; pelo Cnpq [número de concessão 100241/2024-7 e 313600/2021-0] e pelo FAEPEX/UNICAMP [número de concessão 2581/23 e 2027/25].

### **Referências:**

- [1] Massera, R. T., & Tomal, A. (2021). Breast glandularity and mean glandular dose assessment using a deep learning framework: Virtual patients study. *Medical Physics*, 83, 264–277.
- [2] Mendes, H. R., & Tomal, A. (2024). Thor: Inclusion of charge carriers' creation and transport in semiconductor detectors in the Penelope MC simulation code. *Radiation Physics and Chemistry*, 229, 112437.
- [3] Sharma, D., Graff, C. G., Badal, A., Zeng, R., Sawant, P., Sengupta, A., Dahal, E., & Badano, A. (2019). Technical note: In silico imaging tools from the VICTRE clinical trial. *Medical Physics*, 46(9), 3924–3928.

## Determinação do número atômico efetivo e densidade eletrônica por tomografia computadorizada com resolução energética: simulações Monte Carlo.

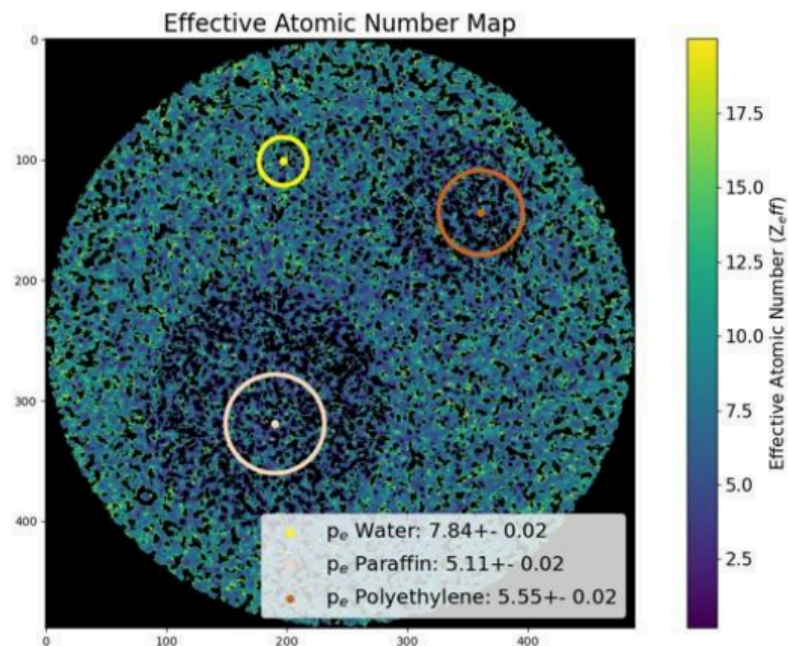
Da Silva G.<sup>1</sup>, Dos Santos R.<sup>1</sup>, Tomal A.<sup>2</sup>, Boiset G.<sup>3</sup>, Costa P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto De Física Da Universidade De São Paulo, <sup>2</sup> 04011173916, <sup>3</sup> Ifusp, <sup>4</sup> Instituto De Física Da Usp

**Resumo:** A tomografia computadorizada (CT) permite a visualização de estruturas internas de pacientes sem sobreposições nas imagens. Dentre as diversas técnicas de aquisição, destaca-se a tomografia por contagem de fótons (PCCT). Foi desenvolvida uma metodologia tomográfica baseada em um detector com resolução energética para a determinação do número atômico efetivo ( $Z_e$ ) e da densidade eletrônica ( $\rho_e$ ) de materiais. Esta metodologia utiliza simulações pelo método Monte Carlo (Geant4 v11.1.2).

**Materiais e métodos:** As simulações consideraram um espectro de raios X gerado por um alvo de W a 50 kV. Foram simulados  $3 \times 10^6$  fótons com uma energia de corte de 30 keV, estabelecendo faixas para baixas e altas energias. Um detector de contagem de fótons com eficiência ideal foi modelado. As imagens foram reconstruídas pelo método FBP. Os HUs foram estimados para as imagens de baixa (HU<sub>low</sub>) e alta (HU<sub>high</sub>) energia de um phantom virtual de água, preenchido com materiais com  $\rho_e$  e  $Z_e$  conhecidos (PP, SiO<sub>2</sub>, PTFE, PC e PA). Estes materiais foram usados para ajustar duas funções lineares que determinam  $\rho_e$  e  $Z_e$  em função de HU<sub>low</sub> e HU<sub>high</sub>. Um phantom de teste (polietileno e parafina) foi usado para validar o modelo.

**Resultados e discussões:** A partir da imagem CT do phantom de calibração, foram ajustadas as relações lineares para determinação de  $\rho_e$  ( $R^2 = 0.9406$ ); e  $Z_e$  ( $R^2 = 0.9995$ ). Ao aplicar essas funções aos HUs dos materiais do phantom de teste, os valores de  $\rho_e$  foram estimados com exatidão de 6,6% (água), 2,2% (parafina) e 4,5% (polietileno). Os valores de  $Z_e$  foram estimados com exatidão de 4,9%, 6,9% e 0,9%, respectivamente.



**Figura:** Mapa de número atômico efetivo para o *phantom* de teste. Os valores *pixel a pixel* foram calculados a partir da modelagem da equação linear que correlaciona  $Z_e$  e  $HU_i/\rho_e$ , obtida a partir do ajuste dos dados do *phantom* de calibração. Na imagem, em rosa claro, vemos a ROI (região de interesse) usada para calcular o  $Z_e$  da parafina, em laranja a do polietileno e em amarelo a da água.

**Conclusões:** O modelo de PCCT simulado se mostrou eficiente na caracterização dos materiais, permitindo a estimativa da densidade eletrônica e do número atômico efetivo com exatidão superior a 7% para todos os casos. A melhor estimativa foi obtida para o  $Z_e$  do polietileno, avaliado com 0.9%.

**Agradecimento:** O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processos nº 2022/11457-0, 2023/03945-8 e 2023/13993-0.

**Referências:**

[1] SAITO, M. Potential of dual-energy subtraction for converting CT numbers to electron density based on a single linear relationship. *Medical Physics*, v. 39, n. 4, p. 2021-30, Apr 2012. ISSN 0094-2405. Disponível em: . Acesso em: 21 abr. 2025.

[2] SAITO, M.; SAGARA, S. A simple formulation for deriving effective atomic numbers via electron density calibration from dual-energy CT data in the human body. *Medical Physics*, v. 44, n. 6, p. 2293–2303, jun. 2017. DOI: 10.1002/mp.12176. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28236659>. Acesso em: 21 abr. 2025.

## Avaliação de Técnicas de Inteligência Artificial para Detecção e Segmentação em Scratch Assay de Células Endoteliais

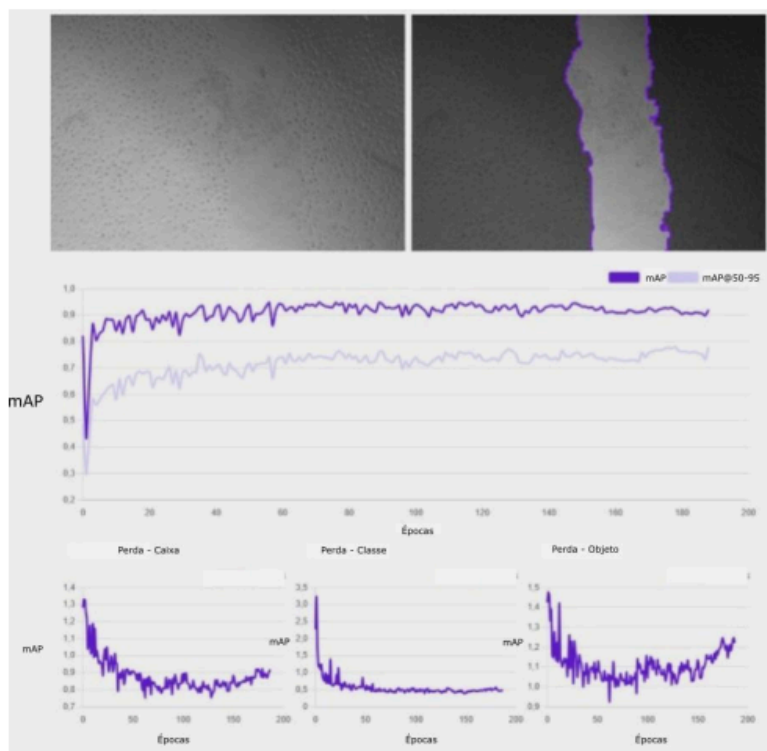
Fioschi G.<sup>1</sup>, Mariotto N.<sup>2</sup>, Dos Santos G.<sup>3</sup>, Higino A.<sup>4</sup>, Alves A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Geovana Ramos Fioschi, <sup>2</sup> Nycolas Mariotto, <sup>3</sup> Geovana Andrade Dos Santos, <sup>4</sup> Andria Cristini Marata Higino, <sup>5</sup> Instituto De Biociências De Botucatu - Unesp

**Resumo:** A migração celular é essencial na cicatrização e angiogênese, sendo especialmente relevante no estudo da pré-eclâmpsia. O scratch assay é uma técnica amplamente utilizada, porém a análise manual demanda tempo e é suscetível a erros subjetivos. O uso da inteligência artificial (IA) permite automatizar essa tarefa com rapidez, padronização e reprodutibilidade. Neste trabalho, avaliamos modelos de IA para detecção e segmentação de imagens microscópicas, buscando otimizar o fluxo de análise biomédica. A principal vantagem da IA neste contexto é identificar com precisão regiões de migração celular, reduzindo o viés humano e acelerando o diagnóstico. O ground truth foi composto por segmentações manuais realizadas por biólogos com mais de 10 anos de experiência em microscopia óptica.

**Materiais e métodos:** Foram utilizadas 716 imagens de culturas celulares simulando condições de pré-eclâmpsia, anotadas semiautomaticamente via Roboflow. As imagens passaram por normalização, redimensionamento (640×640 px), conversão para escala de cinza e aumento de dados. O conjunto foi dividido em treino, validação e teste. Avaliaram-se quatro modelos: Roboflow 3.0 e YOLOv11, nas versões Fast e Accurate. As métricas utilizadas incluíram acurácia, precisão, recall, F1-score, mAP e tempo de inferência. O tempo de treinamento por época também foi registrado. As anotações manuais de referência, realizadas por especialistas, compuseram o ground truth do estudo. A robustez a ruído não foi avaliada neste trabalho.

**Resultados e discussões:** Todos os modelos apresentaram bom desempenho. O Roboflow Fast treinou em 100s/época; o Accurate, em 180s. O YOLOv11 Fast levou 220s/época e o Accurate, 280s. O Roboflow Fast teve 99,6% de precisão e 94,9% de mAP. O tempo de inferência foi inferior a 5s em todos os modelos. As curvas de mAP e de perdas por classe, caixa e objeto ilustram o comportamento do treinamento.



**Conclusões:** A detecção automatizada com IA se mostrou eficiente em imagens de scratch assay associadas à pré-eclâmpsia. O Roboflow 3.0 Fast obteve o melhor desempenho geral, enquanto o YOLOv11 foi mais rápido na inferência. O uso de IA nesse contexto contribui para análises mais rápidas, padronizadas e reprodutíveis, com potencial aplicação em ambientes clínicos.

**Agradecimento:** Agradeço ao meu orientador, Allan Felipe Fattori Alves, pelo apoio incansável, paciência e dedicação em cada etapa deste trabalho e da iniciação científica. Aos amigos de laboratório, que transformam pressão em parceria, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo essencial apoio financeiro que viabilizou este projeto e impulsionou o desenvolvimento desta pesquisa. A Deus, meu alicerce diário, e aos meus pais, sombra fresca mesmo sob o sol mais forte. Ao meu namorado, por caminhar ao meu lado com leveza e amor em cada dia. A todos que contribuíram direta ou indiretamente: minha sincera gratidão.

**Referências:**

- [1] Huang, L., Liu, Z., Li, Q., Zhang, R., Liu, J., & Huang, L. (2019). The role of miR-155 in preeclampsia: regulation of trophoblast function via targeting FOXO3. *Biology of Reproduction*, 100(3), 937–949. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31836544/>
- [2] He, M., Zhang, W., Zhang, Y., & Wang, Y. (2019). MicroRNA-494 inhibits cell proliferation and invasion and targets CXCR4 in human trophoblast cells. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 17(1), 1-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30870787/>
- [3] EL SABRI, Maram et al. Targeted alpha therapy for glioblastoma: review on in vitro, in vivo and clinical trials. *Targeted Oncology*, v. 19, p. 511–531, 2024.

## Subtração por Dupla Energia em Técnicas Radiográficas: Desenvolvimento e Avaliação de Código Computacional

Paulin L.<sup>1</sup>, Valença J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufcsa

**Resumo:** A subtração por dupla energia (SDE) destaca-se na radiografia digital por separar ossos e tecidos moles com maior clareza diagnóstica [1,2]. Entretanto, a revisão de literatura da área mostrou certa carência de uso de parâmetros objetivos de qualidade de imagem para análise dos resultados [3]. Este projeto propõe desenvolver um código otimizado que, varrendo um intervalo dos fatores de ponderação  $\alpha$  e  $\beta$  utilizados, gere múltiplas imagens subtraídas e selecione automaticamente aquela com maior razão contraste-ruído (CNR) a partir de regiões de interesse (ROIs) pré definidas, assegurando avaliação quantitativa reproduzível.

**Materiais e métodos:** A implementação foi conduzida em linguagem Python, utilizando radiografias de phantoms feitas em equipamento da UFCSPA. A estruturação da subtração ponderada baseou-se nos fatores  $\alpha$  e  $\beta$ , que modulam a contribuição das imagens obtidas em baixa e alta energia, respectivamente, na composição da imagem final. Assim, no intervalo [0,5; 2] geraram-se 1600 combinações de  $\alpha$  e  $\beta$ , em que para cada par calculou-se a imagem SDE e a CNR a partir de duas ROIs pré-demarcadas no software ImageJ. Então, dentro do conjunto de dados gerados, o código selecionou a imagem com maior CNR. Além disso, foram investigadas abordagens alternativas de subtração, incluindo a utilização da Transformada Wavelet.

**Resultados e discussões:** Valores associados a  $\alpha$ ,  $\beta$  e ROI afetam a imagem resultante, que exibiu valores de CNR significativamente diferentes. Contudo, foi inferido que apenas o uso da CNR como parâmetro de eficiência da SDE não garante necessariamente o resultado de melhor qualidade. Ademais, a transformada Wavelet vem sendo explorada por sua capacidade de decompor a imagem em diferentes escalas.

**Conclusões:** Os resultados preliminares indicam que, embora a CNR seja útil, ela deve ser combinada com outros parâmetros preditores de qualidade da imagem. Em etapas futuras, pretende-se explorar novos fatores de ponderação para implementar ao código. Além disso, pretende-se simular cenários "single shot" no MCNPX, investigando o impacto de diferentes materiais filtrantes na imagem subtraída.

### Referências:

- [1] Vock P, Szucs-Farkas Z. Dual energy subtraction: principles and clinical applications. Eur J Radiol. 2009 Nov;72(2):231-7. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.03.046. Epub 2009 May 6. PMID: 19423259.
- [2] Minato, K., Yamazaki, M., Yagi, T. et al. Effectiveness of one-shot dual-energy subtraction chest radiography with flat-panel detector in distinguishing between calcified and non-calcified nodules. Sci Rep 13, 9548 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36785-y>
- [3] Quan Do, Wontaek Seo, Choul Woo Shin. Automatic algorithm for determining bone and soft-tissue factors in dual-energy subtraction chest radiography. Biomedical Signal Processing and Control. 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.104354>

## Métodos de segmentação de regiões cerebrais em Imagens por Ressonância Magnética de pacientes com glioma

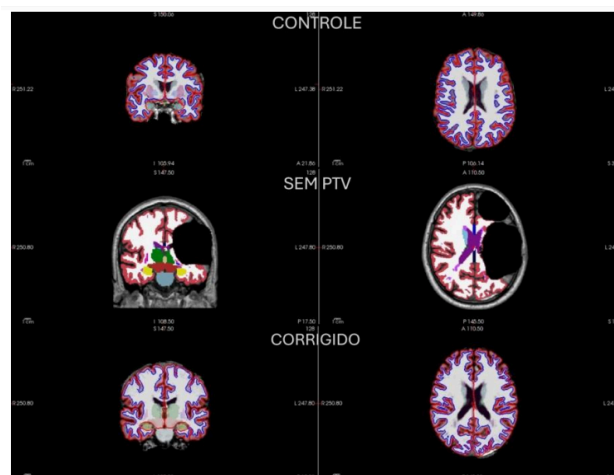
Godoi G.<sup>1</sup>, Maza E.<sup>2</sup>, Leoni R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gabriela Fleck Godoi, <sup>2</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Uma vez que há um aumento na sobrevivência de pacientes com gliomas tratados, estudar os efeitos da radioterapia (RT) no tecido saudável torna-se indispensável. Para identificar alterações estruturais em regiões cerebrais que estão suscetíveis a lesões induzidas por RT, é necessário segmentar Imagens de Ressonância Magnética (IRM) ponderadas em T1 de alta resolução. No entanto, a segmentação de IRM com lesões não é otimizada, visto que a presença do glioma rompe a simetria e morfologia cerebral padrão, limitando a segmentação, que é baseada em templates e atlas de cérebros saudáveis. Assim, objetivou-se avaliar a retirada da região tumoral antes da segmentação, preenchendo este volume com valores de sinal do hemisfério contralateral, em comparação com a segmentação da imagem original.

**Materiais e métodos:** Foram utilizadas IRM ponderadas em T1 e dados do planejamento da RT adquiridos no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (HCFMRP – USP) de pacientes diagnosticados com tumor cerebral primário (glioma). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética. O software 3D Slicer foi utilizado para registrar as IRM com o contorno do PTV. Foi desenvolvido um código em Python para extrair a região tumoral utilizando o contorno do PTV como máscara. As IRM originais e com a exclusão do PTV foram segmentadas utilizando o FreeSurfer. Imagens de um controle saudável também foram segmentadas utilizando um PTV aleatório. Volumes de regiões corticais e subcorticais foram obtidos.

**Resultados e discussões:** A figura mostra exemplos de segmentação. Analisamos o volume de regiões do hemisfério contralateral ao tumor. Para o controle sem lesão cerebral, observamos que retirar uma região e substituir pela informação da região contralateral leva a uma superestimação dos valores (~20%). O mesmo foi observado para os pacientes. Entretanto, para três pacientes, a segmentação só foi com o método proposto.



**Conclusões:** O método proposto superestima os valores de volume de regiões cerebrais. Entretanto, ele possibilita a segmentação e análise de alterações estruturais de pacientes cujas imagens originais (com a lesão) não puderam ser segmentadas. Imagens de outros pacientes serão analisadas quanto aos volumes e também espessura cortical.

### Referências:

[1] Maza, E.J.L., Pavoni, J.F. & Leoni, R.F. Early and late structural brain changes after radiation therapy: an MRI study in glioma patients. J Neurooncol (2025).

## Comparação de Modelos CNNs para Segmentação de Tumores Encefálicos

Arruda V.<sup>1</sup>, Rybarczyk Filho J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ibb-Unesp

**Resumo:** A detecção manual de tumores encefálicos representa um grande desafio para os médicos radiologistas, pois trata-se de uma tarefa complexa e demorada. Atualmente, com a utilização de modelos de Deep Learning (DL) baseados em redes neurais ou Convolutional neural network (CNN), observase uma eficiência significativa na segmentação e classificação de diferentes tipos de tumores encefálicos, utilizando imagens médicas provenientes de exames de Ressonância Magnética (RM). O objetivo deste trabalho é realizar uma comparação de desempenho em relação a delimitação de borda e classificação de pixels tumorais, entre três diferentes modelos de segmentação: SCU-net, Vgg19-Unet e Resnet50.

**Materiais e métodos:** Neste trabalho, utilizou-se um dataset fornecido pelo Kaggle, com imagens de ressonância magnética cerebral e máscaras de segmentação FLAIR, totalizando 110 pacientes, no qual contém 2556 imagens sem tumor e 1373 imagens com tumor. Foram treinados três modelos de segmentação semântica: SCU-net, Vgg19-Unet e ResNet50, escolhidos por suas abordagens distintas no processamento de dados de entrada e saída. Os treinamentos dos modelos foram realizados no cluster Gridunesp, visando otimizar o tempo de treinamento e melhorar os parâmetros da rede neural (learning rate, epochs), com foco na acurácia e perdas baseadas na métrica Tversky e sua variação focal.

**Resultados e discussões:** De acordo com os resultados, o modelo ResNet50 obteve o melhor desempenho, com maior tversky accuracy e menor tversky loss após 10 épocas, além de apresentar menor oscilação nas métricas. Já os modelos VGG19 e SCU-net também obtiveram bons resultados, mas com oscilações maiores, especialmente o SCU-net, que mostrou maior variação.

**Conclusões:** O modelo Resnet50 mostrou-se mais eficiente na segmentação, classificação e delimitação de bordas de tumores encefálicos, em relação aos modelos Vgg19 e SCU-net, para os parâmetros de treinamento escolhidos. Dessa forma, torna-se uma ferramenta eficaz para o diagnóstico de tumores encefálicos.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Congresso Brasileiro de Física Médica (CBFM), pelo congresso e pela oportunidade de submeter um resumo expandido. Agradecemos ao GridUNESP, pois esta pesquisa tornou-se possível graças aos recursos computacionais disponibilizados pelo Núcleo

### Referências:

[1] MOHSEN, Saeed; ALI, Anas M.; EL-RABAIE, El-Sayed M.; ELKASEER, Ahmed; SCHOLZ, Steffen G.; HASSAN, Ashraf Mohamed Ali. Brain tumor classification using hybrid single image super-resolution technique with ResNext101\_32×8d and VGG19 pre-trained models.

[2] ZHENG, Ping; ZHU, Xunfei; GUO, Wenbo. Brain tumour segmentation based on an improved U-Net.

[3] SHEHAB, Lamia H.; FAHMY, Omar M.; GASSER, Safa M.; EL-MAHALLAWY, Mohamed S. An efficient brain tumor image segmentation based on deep residual networks (ResNets). TIRYAKI, Sahin. Brain Tumor Segmentation Vgg19UNet. GitHub, 2020. BUDA, Mateusz. LGG MRI Segmentation. Kaggle, 2019.

## Neuromelanina: Correlação com Técnicas Quantitativas por RM e Espectroscopia

Avanzine A.<sup>1</sup>, Salmon C.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** A neuromelanina (NM) é uma proteína do cérebro humano que acumula ferro. Sua concentração aumenta durante a vida de um indivíduo desde o nascimento. Entretanto, pacientes diagnosticados com doença de Parkinson possuem diminuição de NM em algumas regiões cerebrais [1]. Imagens de RM com transferência de magnetização (MT) produzem contraste relacionado ao conteúdo de NM no cérebro [1], ao mesmo tempo em que Mapas de Susceptibilidade Magnética (QSM) são sensíveis à presença de ferro [2]. Espectroscopia por Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR) em amostras cerebrais post-mortem é capaz de detectar ions de Fe(III) e compostos orgânicos de NM. O objetivo do trabalho é o de correlacionar o conteúdo de NM do cérebro humano com o contraste observado em imagens de MT e QSM.

**Materiais e métodos:** Amostras liofilizadas de 17 regiões cerebrais post-mortem de 25 indivíduos serão submetidas a um tratamento químico para isolar NM [3]. Serão adquiridos espectros de EPR de banda-X com: freq. 9,15 GHz, potência 2 mW, aquisição única de 4 min e em baixa temperatura (<-100°C). A quantificação de Fe(III) e NM é feita pela 2ª integral do pico de cada espectro adquirido. Imagens de RM de magnitude e fase serão utilizadas para processar o QSM. As estruturas cerebrais são segmentadas manualmente de imagens T1w com e sem pulsos de MT. Os valores de susceptibilidade magnética são adquiridos ao aplicar cada uma das máscaras nos mapas processados. Testes estatísticos serão feitos por regressão linear.

### 1) Localização do Lócus cerúleo (LC)

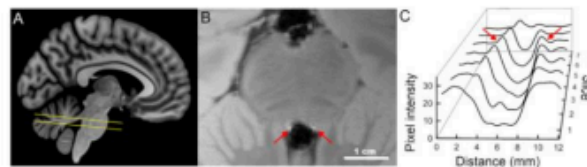


Figura 1. LC de um indivíduo *in-vivo*. (A) Ilustração sagital do cérebro humano, linhas amarelas representam o intervalo das fatias do perfil lateral do LC em (C); (B) LC em fatia axial contrastado em uma imagem 3D-GRE em T1 (setas vermelhas); (C) Perfil lateral do LC, setas vermelhas representam o LC da fatia axial em (B).

### 2) Contraste em Transferência de Magnetização (MT): dependência com flip angle (FA)

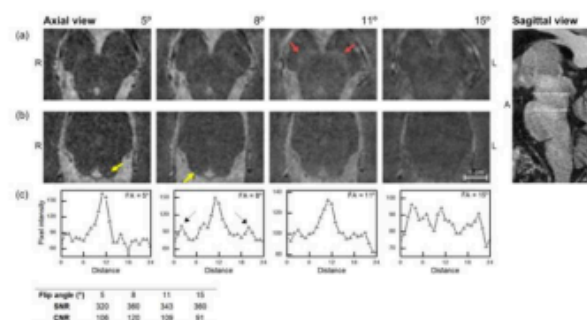


Figura 2. Imagens com pulso de MT com diferentes FA em 3T de um indivíduo *in-vivo*. Cortes axiais da (a) Substância negra (SN) indicada pelas setas vermelhas e (b) LC pelas setas amarelas. A visão em corte sagital mostra os cortes de cada fatia pelas linhas tracejadas, respectivamente. (c) Perfil lateral do LC respectivo a cada FA utilizado, em que as setas pretas indicam a posição dessa estrutura. A tabela mostra os valores de relação sinal-ruído (SNR) e contraste-ruído (CNR) calculados para o LC em cada FA utilizado.

### 3) Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR) de amostras cerebrais post-mortem

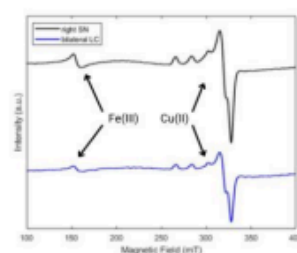


Figura 3. Espectros de EPR do lado direito da SN e do LC de um indivíduo *in-vivo*, com as intensidades normalizadas pela massa seca da amostra. As setas pretas indicam os picos referentes aos ions paramagnéticos de Fe(III) e Cu(II).

**Resultados e discussões:** As estruturas LC e SN produziram contraste em IRM com MT devido à presença de NM. Os melhores CNR da SN e LC nas IRM com MT na condição in-vivo foram de 8° e 11° de "flip angle" (FA), respectivamente. Espectros de EPR da SN e LC possuem diferentes concentrações de Fe(iii) entre si, íon presente nos núcleos de NM. O próximo passo desse estudo será o de processar os mapas de susceptibilidade.

**Conclusões:** As IRM com MT possuem dependência do contraste nas regiões acumuladoras de NM (SN e LC) com o FA utilizado. A concentração de Fe(iii) entre essas duas estruturas é diferente, maior na SN. Deve haver correlação positiva entre o CNR das IRM com MT e a concentração de Fe(iii) dessas estruturas de diversos indivíduos ex-vivo, bem como com os valores de susceptibilidade magnética do QSM.

**Agradecimento:** Ao Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP em São Paulo - SP (HCFMUSP) e ao Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - SP (HCFMRP) pelo apoio na extração de amostras cerebrais (sob vigência de um comitê de ética aprovado) e todas as imagens adquiridas.

**Referências:**

- [1] Sulzer et al. "Neuromelanin detection by magnetic resonance imaging (MRI) and its promise as a biomarker for Parkinson's disease". *nature Parkinson's Journal (npj)*. 2018
- [2] Otsuka, F. S., Otaduy, M. C. G., Rodriguez, R. D., Langkammer, C., Barbosa, J. H. O., & Salmon, C. E. G. (2024). Biophysical contrast sources for magnetic susceptibility and R2\* mapping: A combined 7 Tesla, mass spectrometry and electron paramagnetic
- [3] Zecca et al. "Total and paramagnetic metals in human substantia nigra and its neuro-melanin". *Journal of Neural Transmission*. 1993

## **Alterações morfológicas em pacientes com Parkinson de novo: um estudo de imagens por ressonância magnética**

Da Silva L.<sup>1</sup>, Leoni R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** A doença de Parkinson (DP) é neurodegenerativa, multi-sistêmica decorrente de disfunção em vários circuitos neurais. Atrofia cortical e subcortical foi observada em DP, mais proeminente em fases posteriores da doença [1]. O diagnóstico precoce pode facilitar a contenção dessas degenerações por terapias convencionais ou complementares, além dos fármacos [2]. A imagem por ressonância magnética ponderada em T1 (T1W) possibilita avaliar alterações morfológicas em substância cinzenta relacionadas à doença. Entretanto, grande parte dos estudos foca em pacientes em tratamento, em que o tempo de tratamento e medicamentos diferentes podem limitar os achados. Portanto, o presente trabalho visou estudar alterações estruturais em pacientes com Parkinson de novo, isto é, no estágio inicial da doença.

**Materiais e métodos:** As imagens utilizadas são provenientes do banco de dados internacional da Iniciativa de Marcadores de Progressão de Parkinson (PPMI - <http://www.ppmi-info.org>). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa. Imagens T1W de 50 pacientes com DP de novo e 50 participantes saudáveis pareados por idade e sexo foram analisadas. As segmentações dessas imagens forneceram as espessuras corticais e os volumes de estruturas cerebrais corticais e subcorticais. Para comparar os valores entre os grupos para cada região cerebral, foram realizados testes-t para duas amostras, com  $p < 0,05$  corrigido para múltiplas comparações (FDR).

**Resultados e discussões:** A análise estatística mostrou redução no volume do tronco encefálico no grupo DP ( $p\text{-FDR} = 0,00005$ ), região crucial para consciência, sono-vigília e funções sensoriomotoras, explicando sintomas não motores [3]. Houve tendência de alteração na espessura do córtex entorrinal direito ( $p = 0,04$ ), sugerindo que sua atrofia pode ser um biomarcador para demência na DP, sobretudo em perda de memória [4].

**Conclusões:** Os resultados corroboram evidências anteriores sobre o envolvimento das regiões que apresentaram alterações estruturais significativas, ressaltando a importância de investigar não apenas regiões classicamente associadas à DP, mas também estruturas encefálicas adicionais que podem estar relacionadas a sintomas motores e não motores.

### **Referências:**

- [1] FILIPPI, Massimo et al. Progressive brain atrophy and clinical evolution in Parkinson's disease. *Neuroimage: Clinical*, [S.L.], v. 28, p. 102374, 2020. Elsevier BV.
- [2] PALERMO, Sara et al. What Happens When I Watch a Ballet and I Am Dyskinetic? A fMRI Case Report in Parkinson Disease. *Frontiers In Psychology*, [S.L.], v. 11, 7 ago. 2020. Frontiers Media SA.
- [3] JUBAULT, Thomas et al. Regional Brain Stem Atrophy in Idiopathic Parkinson's Disease Detected by Anatomical MRI. *Plos One*, [S.L.], v. 4, n. 12, 10 dez. 2009. Public Library of Science (PLoS).
- [4] GOLDMAN, Jennifer G. et al. Entorhinal cortex atrophy differentiates Parkinson's disease patients with and without dementia. *Movement Disorders*, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 727-734, 12 mar. 2012. Wiley.

## Comparação de monitores médicos de 8MP e 3MP segundo normativa TG270 da AAPM

Murata C.<sup>1</sup>, Datz S.<sup>1</sup>, Policarpo E.<sup>1</sup>, Daros K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unifesp, <sup>2</sup> Universidade Federal De São Paulo - Escola Paulista De Medicina

**Resumo:** A avaliação de imagens médicas na radiologia necessita do uso de monitores específicos de alta resolução para um laudo de diagnóstico preciso. Com a regulamentação da prática da Telerradiologia, a confiabilidade dos monitores utilizados para elaboração dos laudos tornou-se crítica. Com a quantidade de monitores médicos a custos aquisitivos mais acessíveis, a busca pela qualidade da apresentação de imagens médicas fidedignas vem crescendo. Para avaliar a qualidade destes monitores, a Associação Americana de Física Médica (AAPM) publicou o Report 270 - Display Quality Assurance (TG270). O TG270 engloba diversos testes de controle de qualidade para avaliar parâmetros técnicos dos monitores como luminância, escala de tons de cinza, resolução da tela, ruído entre outros.

**Materiais e métodos:** Dois monitores da LG (8MP e 3MP) foram calibrados pelo fabricante utilizando o software Perfectlum da Quyx e o fotômetro X-Rite iDisplay Pro. Após a calibração foram realizados testes de aceitação segundo os parâmetros propostos pela norma da AAPM Task Group 18, REPORT NO. 03 - Assessment Of Display Performance For Medical Imaging Systems”, com complementação do “Report 270 - Display Quality Assurance” da AAPM. Foram analisados os parâmetros qualitativos (distorção geométrica, contraste, artefatos, resolução espacial visual e ruído) e quantitativos (colorimetria, escala de luminância, uniformidade, escala de tons de cinza, desempenho temporal e luz ambiente).

**Resultados e discussões:** Após realizada a calibração dos monitores, foram analisados os parâmetros qualitativos e todos os testes foram aceitáveis. Porém nos testes quantitativos, a uniformidade do monitor de 8MP ficou acima do aceitável para uma luminância baixa (TG270-ULN8-015). A escala de tons de cinza para o monitor de 8MP teve alteração após 3 meses em utilização, necessitando de nova calibração do fabricante.

**Conclusões:** A avaliação dos parâmetros físicos de ambos os monitores se mostrou dentro dos padrões internacionais no início dos testes, porém ao repetir a calibração e a avaliação após 3 meses houveram diferenças nos resultados. Recomendamos a calibração do fabricante e a avaliação dos parâmetros físicos periodicamente.

### Referências:

- [1] Report of AAPM TG270;
- [2] AAPM TG18. Report N03;
- [3] S Elias, et al. Uso de software como ferramenta pedagógica no processo de ensino-aprendizagem da mamografia digital;
- [4] T Yamada, et al. Diagnostic performance of detecting breast cancer on CR mammograms: comparison of hard copy film, 3MP LCD monitor and 5MP LCD monitor;
- [5] H Roehrig, SF Hashmi. Verification of the QUBYX Perfectlum Calibration Software using a PR-670 Spectro Radiometer and associated verification facility;
- [6] DP Santos, et al. Comparison of medicalgrade and calibrated consumer-grade displays for diagnosis of subtle bone fissures;
- [7] K Entz, et al. Evaluation of the New DIN Standard for Quality Assurance of Diagnostic Displays – Technical Review DIN 6868-157;
- [8] R statistical software 2009.

## Vantagens das Chirplets na Decomposição de Fusos do Sono

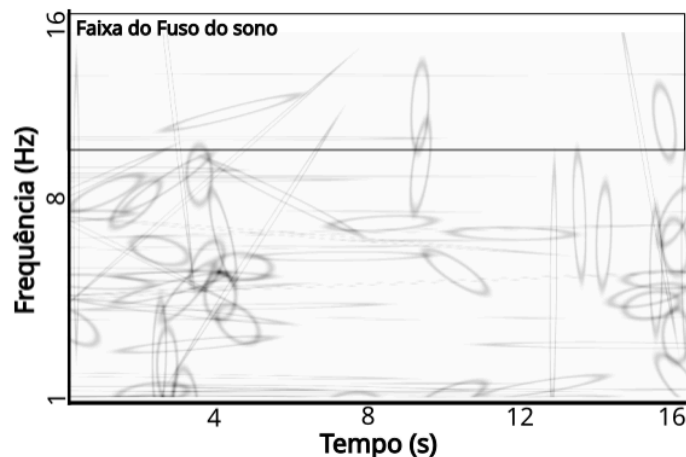
Corrêa G.<sup>1</sup>, Rybarczyk Filho J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ibb-Unesp

**Resumo:** A detecção automática de fusos do sono em sinais de EEG é essencial para estudos de consolidação de memória e diagnóstico de distúrbios neuropsiquiátricos. O algoritmo Matching Pursuit (MP) decompõe o traçado em átomos de Gabor, porém a excessiva superposição desses átomos pode obscurecer oscilações transitórias. Neste trabalho investigamos se a ampliação do dicionário com chirplets — átomos que incorporam variação linear de frequência — diminui a redundância e realça a morfologia dos fusos. Utilizamos o banco ISRUC-Sleep, Grupo I, composto por 100 polissonografias anotadas por especialistas. A comparação entre MP clássico e MP-chirp é conduzida de forma qualitativa, destacando implicações para sistemas de detecção em tempo real e para a adoção de dicionários adaptativos em neuroengenharia.

**Materiais e métodos:** EEG C3-A2 e C4-A1 do Grupo I (100 voluntários) foram filtrados em 0,3–35 Hz, tratados contra artefatos e fatiados em janelas de 30 s. Aplicamos MP clássico, com dicionário Gabor, e MP-chirp. A decomposição parou aos 95 % da energia. Medimos: (i) número de átomos, (ii) sobreposição média, (iii) latência para localizar fusos anotados (11–16 Hz,  $\geq 0,5$  s). O pipeline rodou no GridUNESP.

**Resultados e discussões:** O número de átomos caiu cerca de 28%, a sobreposição média foi menor e a latência para detectar fusos reduziu em ~150 ms. A frequência central mostrou-se mais estável, e elementos chirpantes tornaram-se predominantes na decomposição. A figura ilustra espectrograma com maior presença desses elementos, também ficaram mais nítidos. O tempo extra de execução foi de ~12%.



**Conclusões:** Adicionar chirplets ao dicionário reduziu átomos e sobreposição, gerando representações mais nítidas dos fusos no ISRUC-Sleep. O aumento no tempo de execução mostrou-se aceitável diante do ganho interpretativo, dispensando pós-processamento complexo. Futuras pesquisas devem medir ganhos em detectores automáticos e testar dicionários híbridos para otimizar precisão e velocidade.

### Referências:

[1] DURKA, Piotr. Matching pursuit and unification in EEG analysis. Artech, 2007.

## Redes de Recorrência em EEG: Comparativo entre Estímulos Visuais

Pereira L.<sup>1</sup>, Rybarczyk Filho J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unesp Botucatu, <sup>2</sup> Ibb-Unesp

**Resumo:** A análise de EEG por meio da Recurrence Quantification Analysis (RQA) é uma ferramenta poderosa para caracterizar a dinâmica não linear de sinais cerebrais. Neste estudo, aplicamos RQA aos canais O1 e O2 de 60 indivíduos durante tarefas com olhos abertos (início) e fechados (fim), visando identificar alterações na estrutura de recorrência, especialmente na atividade alfa, que pode estar relacionada a transtornos psiquiátricos. O objetivo é comparar as correlações entre métricas em cada canal e condição, destacando mudanças sutis na conectividade dinâmica em indivíduos sem diagnóstico clínico, a fim de estabelecer um perfil basal saudável.

**Materiais e métodos:** Utilizamos um conjunto de 4800 com sinais EEG pré-processados, obtidos em dois blocos de 1 minuto (olhos abertos; olhos fechados). Calculamos RQA com parâmetros fixos ( $\tau=3$ ,  $m=4$ ,  $\epsilon=0.4$ ) usando a biblioteca PyUnicorn. Extraímos 13 métricas: RR, DET, comprimento médio ( $L_{\text{mean}}$ ) e máximo ( $L_{\text{max}}$ ) de diagonais, entropia dos tempos de recorrência (RTE), laminaridade (LAM), tempo de aprisionamento (T2), comprimento máximo de verticais ( $V_{\text{max}}$ ), tempo médio de recorrência (TT), tempo de retorno máximo (RT<sub>max</sub>), entropia de verticais brancas (ENTR), clustering e transitividade. Agrupamos por canal e condição para calcular matrizes de correlação.

**Resultados e discussões:** Os resultados indicam três agrupamentos de métricas de RQA nos canais O1 e O2: (i) RR, DET, Lmean e ENTR ( $r > 0,90$ ); (ii) T2 e RTE ( $r > 0,95$  entre si,  $r < -0,70$  com diagonais); e (iii) LAM, TT e Vmax ( $r \approx 0,6$  com os demais). A alta correlação intragrupo permite reduzir a dimensionalidade mantendo a riqueza informacional.

**Conclusões:** A aplicação de RQA ao EEG mostrou alterações sutis na correlação entre métricas de recorrência ao comparar olhos abertos e fechados. A principal diferença envolveu o tempo máximo de recorrência, indicando maior sincronização temporal no repouso visual. Esses achados reforçam a utilidade de RQA na neurociência para investigar os estados de vigilância, podendo contribuir para aplicações clínicas.

### Referências:

[1] OLIVEIRA, Luiz Miguel Alves de. Análise do efeito Berger com eletroencefalograma portátil. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física Médica) – Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

## Análise observacional comparativa entre nódulos pulmonares reais e sintéticos

Ikeda M.<sup>1</sup>, Do Amaral D.<sup>2</sup>, Pimenta E.<sup>3</sup>, Costa P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mayara, <sup>2</sup> Ifusp, <sup>3</sup> Universidade De São Paulo (Ifusp), <sup>4</sup> Instituto De Física Da Usp

**Resumo:** Nódulos pulmonares são achados importantes em exames de tomografia computadorizada usados no diagnóstico e estadiamento de câncer de pulmão (1). A otimização de protocolos clínicos utilizados nesta modalidade diagnóstica é importante, uma vez que estes pacientes, frequentemente, precisam ser submetidos a diversos procedimentos de imagem (2). A otimização utilizando imagens de pacientes é complexa e imprecisa. Assim, a utilização de objetos simuladores (phantoms) antropomórficos é uma alternativa importante para este tipo de processo de otimização (3, 4).

**Materiais e métodos:** Os nódulos sintéticos sólidos e de opacidades em vidro fosco (GGO) foram impressos utilizando 5 diferentes materiais. Estes nódulos foram inseridos em um objeto simulador antropomórfico desenvolvido pelos autores. Imagens foram realizadas utilizando um tomógrafo Aquilion One PRISM (Canon Medical Systems), utilizando um protocolo clínico de tórax, com CTDIvol = 2.9 mGy. Um estudo observacional foi desenvolvido utilizando a plataforma Grand Challenge ([grand-challenge.org](http://grand-challenge.org)). Um conjunto de 9 observadores, sendo um deles radiologista, observaram as imagens de cada nódulo em condições de janelamento adequados para imagens de pulmão. Cada observador classificou os nódulos sintéticos em uma escala d

**Resultados e discussões:** Os resultados da avaliação observacional dos nódulos sintéticos sólidos demonstraram que os materiais TangoBlack+ e HIPS apresentaram maior similaridade quando comparados a nódulos pulmonares de pacientes reais, com variações da escala Likert entre 3,8 e 4,4 e entre 3,3 e 3,4, respectivamente. Para os nódulos GGO, o EVA demonstrou-se o EVA foi o material mais adequado, com valores entre 3,8 e 4,8.

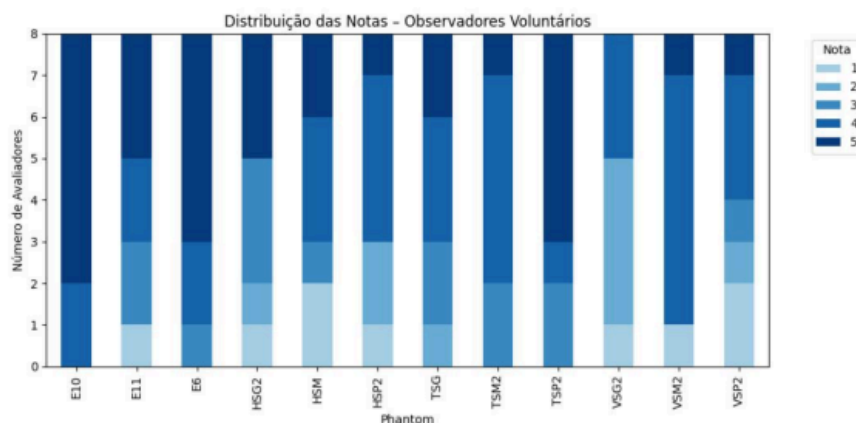


Figura 1 – Resultados das observações dos nódulos sintéticos sólidos e GGOs classificados por uma escala Likert 1-5. Nas legendas, as primeiras letras significam os materiais (E – EVA, H – HIPPS, T- TangoBlack+, V- VeroClear). S significa que é um nódulo sólido e P, M ou G significam que tem tamanhos pequeno, médio ou grande. Os números servem apenas para identificar nódulos que foram produzidos em duplicidade.

**Conclusões:** O estudo demonstra que os materiais TangoBlack+ e EVA são as escolhas mais apropriadas para representação de nódulos pulmonares sólidos e sintéticos, respectivamente. O estudo demonstrou uma variabilidade entre os observadores na faixa entre 10-28% para os

materiais com melhores resultados. O estudo permite a escolha adequada dos materiais para compor o phantom de pulmão desenvolvido.

**Referências:**

- [1] MacMahon H, Naidich DP, Goo JM, Lee KS, Leung ANC, Mayo JR, et al. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the Fleischner Society 2017. *Radiology*. 2017;284(1):228-43.
- [2] Rehani MM, International Commission on Radiological Protection. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT). ICRP Publication 102. *Ann ICRP*. 2007;37(1):1-79.
- [3] Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligk H, Zechmann CM, Unterhinninghofen R, Kauczor HU, et al. 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2010;5(4):335-41.
- [4] Mitsouras D, Liacouras P, Imanzadeh A, Giannopoulos AA, Cai T, Kumamaru KK, et al. Medical 3D printing for the radiologist. *Radiographics*. 2015;35(7):1965-88.

## Classificação da doença de Alzheimer utilizando Redes Neurais Convolucionais

Sofia Cristine Pompeu <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** A Doença de Alzheimer (DA) é uma enfermidade neurodegenerativa progressiva que compromete funções cognitivas e a memória, sendo a forma mais comum de demência entre idosos. O diagnóstico precoce é essencial para retardar sua progressão e melhorar a qualidade de vida dos pacientes. Imagens de ressonância magnética (MRI) têm sido amplamente utilizadas na identificação de alterações estruturais no cérebro associadas à DA. Com o avanço da inteligência artificial, técnicas como o aprendizado profundo vêm sendo aplicadas na análise automatizada dessas imagens. Este trabalho propõe o uso de redes neurais convolucionais (CNN) para auxiliar na detecção precoce da DA, aproveitando a capacidade dessas redes em identificar padrões sutis em dados complexos.

**Materiais e métodos:** O modelo proposto foi desenvolvido em Python utilizando a biblioteca PyTorch. Imagens de ressonância magnética, provenientes de bases de dados públicas e previamente padronizadas e rotuladas, foram empregadas. A arquitetura adotada consiste em uma rede neural convolucional com múltiplas camadas convolucionais e de pooling, seguidas por camadas totalmente conectadas. O treinamento foi realizado ao longo de 50 épocas, utilizando o otimizador Adam com taxa de aprendizado de 0,001 e função de perda CrossEntropy. A avaliação do desempenho baseou-se em métricas como acurácia e perda nos conjuntos de validação e teste.

**Resultados e discussões:** O modelo baseado em CNN foi treinado com imagens de ressonância magnética padronizadas para detectar sinais de Alzheimer. Após 50 épocas, apresentou 99% de acurácia no treino e até 75% no teste. Os resultados indicam bom aprendizado dos padrões visuais e apontam oportunidades de aprimoramento com técnicas como data augmentation e validação cruzada.

**Conclusões:** O trabalho demonstrou o potencial de CNNs no apoio ao diagnóstico da Doença de Alzheimer via imagens de ressonância magnética. Os modelos obtiveram desempenho promissor, com foco em aprimorar a generalização. Futuramente, serão aplicadas técnicas de regularização e aumento de dados para fortalecer os resultados.

**Agradecimento:** Programa Unificado de Bolsas de Estudos - (Pesquisa), Universidade de São Paulo.

### Referências:

- [1] M. Ahmadzadeh et al., “Machine Learning Applications in Early Alzheimer’s Diagnosis,” *Journal of Neuroscience Research*, 2023.
- [2] H. Almadhoun and S. Abu-Naser, “Classification of Alzheimer’s Disease Using Traditional Classifiers with Pre-Trained CNN,” *International Journal of Academic Information Systems Research*, 2021.
- [3] A. M. El-Assy et al., “A Novel CNN Architecture for Accurate Early Detection and Classification of Alzheimer’s Disease,” *Medical Imaging and Diagnostics*, 2024.
- [4] Y. N. Fuadah et al., “Automated Alzheimer’s Classification Using MRI and CNN with AlexNet Architecture,” *Procedia Computer Science*, 2021.
- [5] J. H. Noh, J. H. Kim, and H. D. Yang, “Classification of Alzheimer’s Progression Using fMRI Data,” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitat*

## Detecção de nanopartícula em células no roboflow

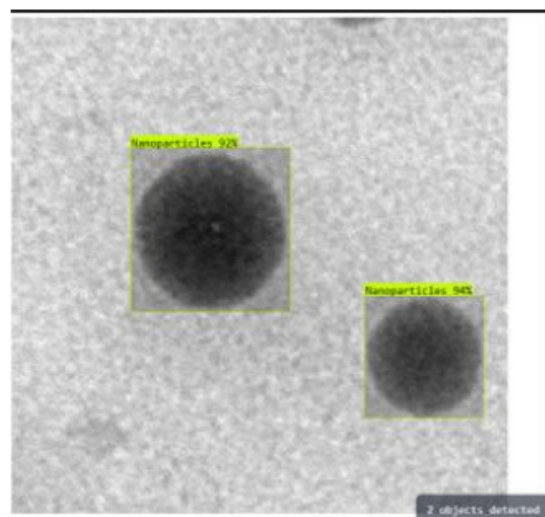
Higino A.<sup>1</sup>, Mariotto N.<sup>2</sup>, Dos Santos G.<sup>3</sup>, Fioschi G.<sup>4</sup>, Alves A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Andria Cristini Marata Higino, <sup>2</sup> Nycolas Mariotto, <sup>3</sup> Geovana Andrade Dos Santos, <sup>4</sup> Geovana Ramos Fioschi, <sup>5</sup> Instituto De Biociências De Botucatu - Unesp

**Resumo:** Em pesquisas biomédicas com nanopartículas (NPs), os ensaios de caracterização destes compostos são essenciais. Controlar a dispersão espacial destas NPs em polímeros é crucial para estudos avançados. Neste contexto, a microscopia eletrônica de transmissão (MET) auxilia no imageamento destes compostos por permitir imagens em escala nanométrica. No entanto, a análise visual por observadores pode ser tarefa exaustiva e sujeita a erros. Portanto, técnicas de visão computacional auxiliam na automatização do processo de quantificação e diminuição da subjetividade. Neste trabalho, o objetivo foi desenvolver um método de análise por Deep Learning automatizado para detectar e dimensionar NPs, permitindo distinguir estados de auto-organização de NPs enxertadas em polímeros.

**Materiais e métodos:** Utilizou-se um banco de dados público de imagens de microscopia eletrônica de transmissão denominado DOPAD. Para quantificar a dispersão de NPs com diferentes revestimentos, um conjunto de imagens do banco DOPAD foram pré-processadas com técnicas de redução de ruído e aumento de realce das estruturas. A identificação inicial das NPs nas imagens foi realizada de forma semi-manual. Com base nesse conjunto de dados rotulados, modelos de Deep Learning para detecção como Roboflow fast e YOLOv12 fast foram testados e aprimorados (fine tuning) para a detecção automatizada e precisa das NPs. Métricas de precisão e recall foram empregadas para validação dos modelos nesta tarefa.

**Resultados e discussões:** Os dois modelos apresentaram métricas adequadas na tarefa de detecção de NPs. O modelo Roboflow 3.0 fast foi o melhor com precisão de 96,3% e um recall de 93,7%. A função de perda diminuiu significativamente ao decorrer das épocas. Com o modelo YOLOv12 fast, a precisão foi de 95,5% e o recall ficou em 92,4%.



**Conclusões:** A ferramenta de Deep Learning treinada pelo Roboflow detectou NPs em imagens MET com alta precisão e recall. Os próximos passos incluem análise biológica em culturas celulares e testes com novos modelos. Os resultados iniciais indicam ganhos em rapidez, reprodutibilidade e redução da subjetividade.

**Agradecimento:** Primeiramente, agradeço a Deus, porque sem Ele nada seria possível. Agradeço também ao meu orientador, Allan Felipe Fattori Alves, pelo apoio constante, pela paciência e dedicação em me ajudar. Sou grato pelo financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), fundamental para a realização deste trabalho. À minha mãe e irmã, que sempre estiveram comigo em tudo. Aos meus amigos de laboratório.

**Referências:**

A ferramenta de Deep Learning treinada pelo Roboflow detectou NPs em imagens MET com alta precisão e recall. Os próximos passos incluem análise biológica em culturas celulares e testes com novos modelos. Os resultados iniciais indicam ganhos em rapidez, reprodutibilidade e redução da subjetividade.



**PROTEÇÃO  
RADIOLÓGICA E  
DOSIMETRIA**

# Uso de dosímetros de BeO na avaliação da influência do posicionamento da bandeja de compressão em medições de kerma no ar em mamografia

## Use of BeO Dosimeters to evaluate the influence of compression paddle positioning on air kerma measurements in mammography

Ranielle Cristina C. Pereira<sup>1</sup> , Murilo Felisberto M de Assunção<sup>2</sup> , Jonas O. da Silva<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Instituto de Física/UFG, Goiânia, Brasil

<sup>2</sup>CERRAD Consultoria em Física Médica e Radioproteção, Goiânia, Brasil

### Resumo

A mamografia é um exame essencial na detecção precoce de doenças mamárias, destacando-se pela alta qualidade de imagem, fator importante para o diagnóstico precoce do câncer de mama. Um dos elementos cruciais do equipamento mamográfico é a bandeja de compressão, responsável por comprimir a mama e consequentemente melhorar a resolução da imagem e reduzir a dose de radiação absorvida pela paciente. No entanto, no contexto do controle de qualidade neste equipamento, ainda não há consenso quanto à distância ideal entre a bandeja de compressão e o detector. Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo utilizar dosímetros de Óxido de Berílio (BeO) para avaliar a influência do posicionamento da bandeja na dosimetria em mamografia em medições de kerma no ar, e comparar os resultados com os da câmara de ionização. As medições foram realizadas em um mamógrafo localizado na clínica Unimed, em Goiânia, sob diferentes distâncias entre a bandeja de compressão e os detectores. Os resultados revelaram pontos de concordância e divergência entre as leituras ao compará-los dois detectores. Observou-se que, com o aumento da distância da bandeja, os valores medidos pela câmara de ionização diminuíram progressivamente. No caso dos dosímetros de BeO, essa tendência foi evidente entre as distâncias de 6,5 cm e 10 cm. Os sensores de BeO demonstraram desempenho satisfatório na detecção da radiação, evidenciando seu potencial como ferramenta complementar em avaliações dosimétricas na prática mamográfica.

**Palavras-chave:** Kerma no ar; Bandeja de compressão; Detectores de radiação; Mamógrafo; OSL.

### Abstract

*Mammography is an essential exam for the early detection of breast diseases, standing out for its high image quality, an important factor for the early diagnosis of breast cancer. One of the key components of mammographic equipment is the compression paddle, which compresses the breast and consequently improves image resolution while reducing the radiation dose absorbed by the patient. However, in the context of quality control of this equipment, there is still no consensus regarding the ideal distance between the compression paddle and the detector. In this context, the present study aims to use Beryllium Oxide (BeO) dosimeters to evaluate the influence of paddle positioning on dosimetry in mammography through air kerma measurements, and to compare the results with those from the ionization chamber. Measurements were carried out using a mammography unit located at the Unimed clinic in Goiânia, under different distances between the compression paddle and the detectors. The results revealed points of agreement and divergence between the readings when comparing the two detectors. It was observed that, as the distance of the paddle increased, the values measured by the ionization chamber progressively decreased. For the BeO dosimeters, this trend was evident between the distances of 6.5 cm and 10 cm. The BeO sensors demonstrated satisfactory performance in radiation detection, highlighting their potential as a complementary tool in dosimetric evaluations in mammographic practice.*

**.Keywords:** Air kerma; Compression paddle; Radiation detectors; Mammography unit; OSL.

### 1. Introdução

A mamografia é uma ferramenta eficiente para identificar doenças nas mamas, sendo capaz de detectar anormalidades no tecido mamário. Esse exame é importante para o diagnóstico precoce de câncer de mama, por exemplo, devido à qualidade das imagens obtidas. De modo simplificado, o mamógrafo é constituído por um cabeçote com um tubo de raios X, um sistema para compressão da mama, e um sistema receptor de imagens (1), como mostra a Figura 1.

Para uma imagem adequada é necessária a compressão da mama. Com isso, há melhor resolução da imagem devido à redução da distância entre as estruturas glandulares da mama e o receptor de imagem. A compressão reduz a superposição do tecido e a quantidade de radiação espalhada que afeta a visualização da imagem da estrutura de interesse. Uma compressão adequada promove otimização da dose no procedimento, sem prejudicar a qualidade do exame (2).

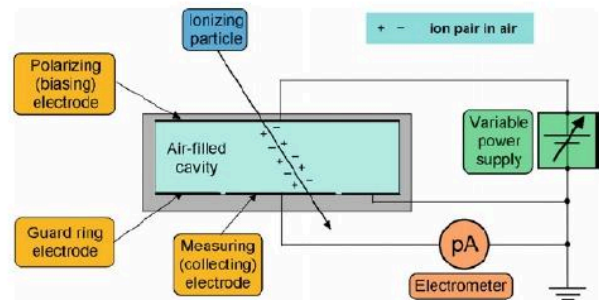


**Figura 1.** Representação esquemática de um mamógrafo.

A bandeja de compressão é feita de material radiotransparente, para não atenuar significativamente a radiação incidente e deve ser resistente à pressão exercida nas mamas. A bandeja de compressão também é utilizada no controle de qualidade dos equipamentos de mamografia. Durante a dosimetria dos feixes gerados pelo mamógrafo, o detector é colocado a uma certa distância da bandeja; no entanto, não há um consenso sobre a distância ideal a ser adotada. Tanto no Brasil (3), quanto na Europa (4,5), essa posição não é definida de maneira rigorosa. A distância entre a bandeja de compressão e a superfície do dosímetro afeta a medição de parâmetros dosimétricos como o kerma no ar, devido ao espalhamento causado no feixe primário (6). Essa quantificação é realizada por meio da utilização de detectores de radiação.

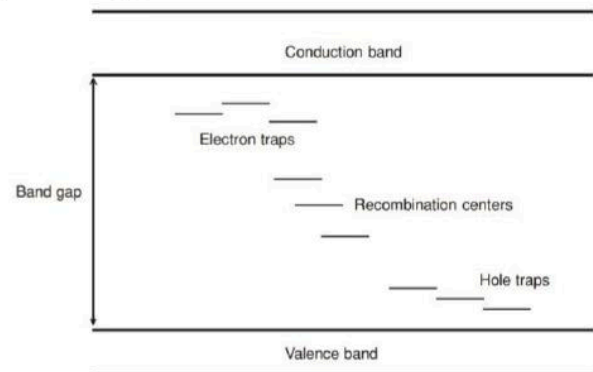
Neste trabalho foram utilizados uma câmara de ionização de placas paralelas e dosímetros de estado sólido de Óxido de Berílio (BeO) baseado em OSL (*Optically Stimulated Luminescence*), que utiliza o princípio de luminescência opticamente estimulada para quantificar a dose absorvida no material.

O volume sensível da câmara de ionização de placas paralelas é uma região de campo elétrico uniforme numa cavidade preenchida com ar, conforme ilustrado na Figura 2. A fonte de alimentação fornece uma diferença de potencial entre as placas, possibilitando a coleta das cargas produzidas no volume sensível devido à interação com a radiação. A corrente elétrica produzida é medida no eletrometro (7).



**Figura 2.** Representação esquemática de um sistema de câmara de ionização de placas paralelas (7).

Na dosimetria OSL, alguns sólidos, após a interação com a radiação ionizante, absorvem energia e a armazenam em armadilhas presentes em sua estrutura. Há dois tipos de armadilhas: de armazenamento e de centro de recombinação conforme ilustrado na Figura 3. A primeira aprisiona os portadores de carga durante a interação da radiação com a matéria, e só são liberados quando um estímulo é aplicado no material. A segunda espécie permite a recombinação de um portador de carga liberado de uma armadilha com um outro aprisionado. Essas armadilhas possuem a energia de ativação necessária para esvaziar uma armadilha cheia. A energia que é armazenada no material é cedida na forma de luz ultravioleta ou visível (7). A luminescência ocorre quando há a recombinação de pares elétron-buracos por estímulos no material, emitindo fótons com comprimentos de ondas específicos (8).



**Figura 3.** Esquema das armadilhas de armazenamento e de recombinação entre os portadores de cargas (8).

Dentre as características dos detectores estão: alta sensibilidade à radiação, ampla faixa dinâmica, repetibilidade e baixo tempo de resposta (9). Dessa forma, entre os dosímetros OSL, destacam-se os de BeO. Seu número atômico efetivo baixo ( $Z_{\text{eff}} = 7,2$ ) faz com que eles não perturbem o campo de radiação a que estão sujeitos. A resposta OSL deste dosímetro é linear em seis ordens de grandeza, variando de 5  $\mu\text{Gy}$  a 5 Gy, e começa a saturar em doses mais altas (8). Além disso, doses na ordem de 1  $\mu\text{Gy}$  podem ser detectadas utilizando o BeO e um sistema no qual o detector é estimulado com LEDs. Como qualquer detector OSL, o BeO deve ser protegido da luz após a exposição à radiação.

Em virtude das características mencionadas anteriormente, o dosímetro de BeO apresenta um potencial para ser utilizado em dosimetria de mamografia, sendo assim, o objetivo geral desta pesquisa é utilizar os dosímetros de BeO na avaliação da influência do posicionamento da bandeja de compressão em medições de kerma no ar em mamografia.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Sistemas dosimétricos, irradiadores e sistemas auxiliares

O sistema dosimétrico utilizado neste estudo é composto por dosímetros de BeO e pela leitora *LumiDeteck-3000*, da GDOIN Instrumentos, apresentado na Figura 5a. A leitora é controlada por um software instalado em um Mini PC DVCM com sistema operacional Windows 10. Todo o conjunto está instalado no Laboratório de Dosimetria e Radioproteção do Instituto de Física da UFG, que dispõe de ambiente climatizado por ar-condicionado e monitorado por um termohigrômetro Minipa MT-242A, garantindo o controle da temperatura e umidade durante as análises.

Neste trabalho, foram utilizados quatro dosímetros de (BeO) com dimensões de 5,2 mm e diâmetro e 1,1 mm de espessura, previamente selecionados para a obter a curva de calibração em um sistema de mamografia, sendo cada um exposto a diferentes valores do produto corrente-tempo (mAs), conseqüentemente a doses diferentes. Embora quatro dosímetros tenham sido empregados, sua utilização foi planejada de forma a representar o comportamento de um único dosímetro submetido a essas exposições. A escolha por utilizá-los ao invés de apenas um, baseou-se na verificação prévia de que estes apresentavam respostas luminescentes semelhantes quando submetidos às mesmas condições de irradiação. Essa similaridade de resposta permitiu tratá-los, do ponto de vista analítico, como equivalentes. Dessa forma, cada um dos quatro pontos que constituem a curva de calibração correspondeu a uma medida obtida com um dos dosímetros, sendo posteriormente considerada a média entre eles como representativa de um único detector. Além disso, o uso desses dosímetros com, tornou possível distribuir os pontos experimentais sem necessidade de múltiplas leituras sequenciais, o que contribuiu para a otimização do tempo do experimento.

Após as irradiações, os detectores foram preparados para novas irradiações por meio de um tratamento óptico, realizado com luz azul de alta intensidade, durante 5-10 minutos, com o objetivo de garantir o esvaziamento dos sinais remanescentes. O dispositivo utilizado para esse processo é apresentado na Figura 5b. Para o transporte até a clínica, a fim de evitar a exposição à luz ambiente, os dosímetros foram acomodados em suportes individuais de material radiotransparente, desenvolvidos por colaboradores do Laboratório de Dosimetria e Radioproteção. A estrutura dos suportes pode ser visualizada na Figura 6.

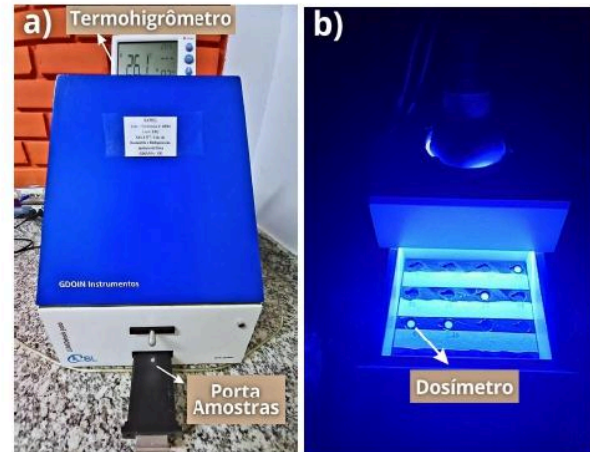


Figura 5. Sistema de leitura e tratamento óptico dos dosímetros de BeO.



Figura 6. Suporte dos dosímetros

Para a realização das irradiações em ambiente clínico, foi utilizado o sistema mamográfico *General Electric (GE)*, modelo *Seno Essential*, devidamente calibrado e pertencente ao Centro de Diagnósticos UNIMED Goiânia. Para obtenção do fator de calibração dos dosímetros OSL, eles foram expostos a feixes de raios X com tensão de 33 kV, utilizando-se quatro valores diferentes do produto corrente-tempo: 36 mAs, 71 mAs, 110 mAs e 160. Esses valores são os comumente usados na prática clínica. A Figura 7 ilustra o equipamento utilizado, com o dosímetro já posicionado para a exposição.



Figura 7. Mamógrafo GE- modelo Seno essencial digital com o dosímetro posicionado sobre o suporte para a mama.

O sistema dosimétrico de referência utilizado consistiu em uma câmara de ionização RadCal 10X6-6M acoplada a um eletrômetro Radcal Accu-Pro (9096) Control Unit. Para simular a mama comprimida, empregou-se um objeto simulador (*phantom*) confeccionado em PMMA. Tanto a câmara quanto pertencem à CERRAD - Consultoria em Física Médica e Radioproteção.

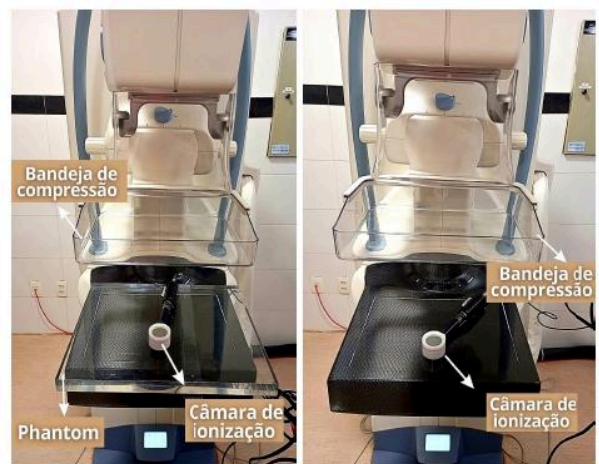
## 2.2. Estudo da influência da bandeja de compressão

Com o objetivo de avaliar a influência da posição da bandeja de compressão nas medições dosimétricas, foram irradiados dosímetros de BeO e a câmara de ionização RadCal 10X6-6M acoplada a um eletrômetro Radcal Accu-Pro (9096), sob condições de 33 kV e 200 mAs. Cada dosímetro foi submetido a dois disparos, com a bandeja de compressão posicionada a diferentes distâncias em relação ao suporte da mama: 65 mm e 100 mm. Os experimentos foram realizados tanto na ausência quanto na presença do *phantom* de PMMA com 2,5 cm de espessura, utilizado para simular o tecido mamário comprimido.

Após a irradiação, os dosímetros foram encaminhados ao Laboratório de Dosimetria e Radioproteção para leitura. Os valores obtidos foram corrigidos pela subtração das contagens residuais após o tratamento óptico, garantindo maior precisão na quantificação da dose absorvida. É importante destacar que a distância entre o foco e o suporte da mama foi mantida constante em 63 cm ao longo de todas as medições. As Figuras 8 e 9 apresentam a configuração experimental utilizada para a realização dos ensaios.



**Figura 8.** Dosímetros de BeO irradiados a distâncias diferentes da bandeja de compressão, com (à esquerda) e sem (à direita) o *phantom*.



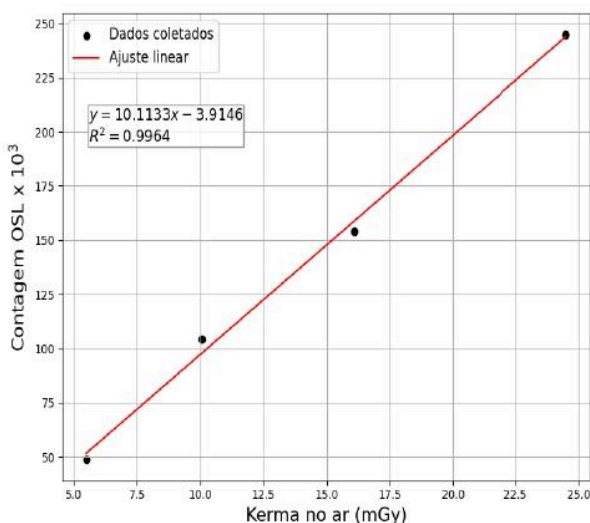
**Figura 9.** Câmara de ionização irradiada a distâncias diferentes da bandeja de compressão, com e sem a presença do *phantom*.

## 3. Resultados

### 3.1. Curva de calibração dos dosímetros

Os procedimentos realizados ao longo desta pesquisa permitiram a construção da curva de calibração a partir das respostas luminescentes dos dosímetros de BeO, demonstrando linearidade em relação às diferentes doses administradas. Cada ponto da curva correspondeu a uma exposição distinta, e, embora quatro dosímetros tenham sido utilizados, a equivalência entre eles permitiu tratar suas respostas como se fossem provenientes de um único detector.

O fator de calibração dos dosímetros em relação ao sistema de referência foi obtido a partir da curva de resposta em função do kerma no ar. Esse fator é dado pelo inverso do coeficiente angular da curva. Para isso, os quatro dosímetros foram expostos às combinações de tensão e de produto corrente-tempo descritas na metodologia. A Figura 10 apresenta essa curva, construída a partir dos valores de kerma no ar medidos com a câmara de ionização, evidenciando uma resposta crescente do sinal luminescente com o aumento do mAs dentro da faixa de doses estudada. Cada ponto do gráfico corresponde à contagem registrada pelo dosímetro de BeO para uma determinada combinação de kV/mAs. Por meio do coeficiente angular da reta o fator de calibração dos dosímetros, foi de 0,0001 mGy por contagem.



**Figura 10.** Ajuste linear dos dados para o fator de calibração dos dosímetros.

Os valores do kerma no ar medidos com a câmara de ionização estão apresentados na Tabela 1 para os valores de mAs à tensão fixa de 33 kV.

**Tabela 1.** Valores de  $K_{ar}$  obtidos com as medições com o sistema de referência

| mAs | $K_{ar}$ (mGy) |
|-----|----------------|
| 36  | 5,496          |
| 71  | 10,080         |
| 110 | 16,085         |
| 160 | 24,490         |

Fonte: O autor (2024).

### 3.2. Medições da influência do posicionamento da bandeja de compressão

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados do kerma no ar medidos com os dosímetros de BeO e com a câmara de ionização com a variação na altura da bandeja de compressão, com e sem a presença do *phantom*. As medidas sem o *phantom* foram corrigidas pela lei do inverso do quadrado da distância.

Para cada distância entre a bandeja e o suporte, foi atribuído um dosímetro específico, que foi utilizado nas duas condições experimentais com e sem o *phantom* mantendo-se as mesmas configurações de irradiação em ambos os casos.

**Tabela 2.** Valores de  $K_{ar}$  obtidos com as medições com o sistema de referência

| mAs  | Câmara                                 | Câmara                               | Dosímetro                              | Dosímetro                            |
|--|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Distância da bandeja ao suporte da mama (cm) | Kerma no ar com o <i>phantom</i> (mGy) | Kerma no ar sem <i>phantom</i> (mGy) | Kerma no ar com o <i>phantom</i> (mGy) | Kerma no ar sem <i>phantom</i> (mGy) |
| 6,50   | 28,90                                  | 27,75                                | 28,70                                  | 25,83                                |
| 10,00  | 28,58                                  | 27,54                                | 26,30                                  | 22,79                                |

Fonte: O autor (2024).

## 4. Discussão

Com base nos resultados apresentados é possível observar que a curva de calibração obtida demonstrou uma relação linear entre o sinal luminescente dos dosímetros de BeO e os diferentes

níveis de exposição (mAs), indicando um comportamento previsível dos detectores dentro da faixa de doses utilizada no sistema de mamografia. A utilização de diferentes dosímetros para compor os pontos da curva foi expressada por meio da análise de uniformidade de resposta entre eles, o que permitiu tratá-los como equivalentes. Além disso, o uso do tratamento óptico para o esvaziamento dos sinais entre as irradiações foi eficiente, evitando o acúmulo de sinal residual e garantindo que cada medida representasse apenas a exposição correspondente.

Com relação aos resultados alcançados das medições com os detectores variando as distâncias da bandeja ao suporte da mama, percebe-se que tanto para a câmara, quanto para os dosímetros osl, os valores de kerma no ar tendem a aumentar à medida que a bandeja se aproxima dos detectores. Esses resultados apresentaram coerência, uma vez que quando a bandeja está mais próxima do detector, além de captar a radiação espalhada promovida da bandeja, também registra o retroespalhamento oriundo do *phantom*. Estudos realizados por Avramova-Cholakova e colaboradores (10), mostraram doses mais altas com a bandeja sobre a câmara e mais baixas no dosímetro de estado sólido, devido à sua menor área ativa, com diferença de dose de 6,9% em comparação ao posicionamento afastado, variando conforme os valores de tensão. Portanto, no caso deste trabalho ambos os casos apresentam coerência com a referência.

## 5. Conclusões

Neste trabalho, dosímetros OSL de BeO foram utilizados para estimar a influência da posição da bandeja de compressão nas medições dosimétricas de feixes de raios X gerados por um mamógrafo. Diante dos dados apresentados na pesquisa, valores menores acontecem com os dosímetros e com a câmara de ionização à medida que as distâncias aumentam, na presença e sem o *phantom*. A limitação da quantidade de dosímetros disponíveis também é um fator que deve ser levado em consideração, até mesmo para seleção de dosímetros com sensibilidade mais próxima possível entre eles. Apesar deste fator mencionado, a detecção de kerma no ar por meio desses dosímetros demonstrou-se eficiente.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Diagnósticos Unimed Goiânia pela disponibilização do mamógrafo usado neste estudo.

## Referências

- Xavier, Aline Carvalho da Silva. Dosimetria e qualidade de imagem em mamografia digital. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de Concentração Dosimetria e instrumentação)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- Oliveira, Maurício de. Controle de qualidade e dose de entrada na pele em serviços de mamografia de Minas Gerais.

- Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) - Belo Horizonte, 2006.
3. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa- INN° 92, DE 27 DE MAIO DE 2021. Disponível em: <https://cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/202107/08070254-in92-2021mamografia.pdf>.
  4. European Commission, European protocol for the quality control of the physical and technical aspects of mammography screening. In: European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis (Fourth edition). Luxembourg (2006).
  5. Van Engen, R.E, Bosmans, H., Bouwman, R., Dance, D.R., Heid, P., Lazzari, B., Marshall, N.W, Schopphoven, S., Strudley, C., Thijssen, M.A.O., Young, K.C.: Protocol for the quality control of the physical and technical aspects of digital breast tomosynthesis systems, draft version 0.15, EUREF (2014).
  6. Toroi, Paula; KÖNÖNEN, Niina; Timonen, Marjut; Kortesiemi, Mika. Aspects of forward scattering from the compression paddle in the dosimetry of mammography. Radiation Protection Dosimetry, v. 154, n. 4, pp.439–445, 2013.
  7. Podgorsak, Ervin B. Radiation Physics for Medical Physicists. 3.ed. Springer, 2016.
  8. Yukihiro, Eduardo G; mckeever, Stephen W.S. Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and applications . John Wiley and Sons, Ltd,2011.
  9. OKUNO, Emico; Yoshimura, Elisabeth. Física das Radiações. São Paulo: Oficina de Textos,2010.
  10. Avramova-Cholakova, S, and Vassileva, J. Dependence of mean glandular dose on compression plate position. IAEA-CN-182-2872010.2010.

**Contato:**

Ranielle Cristina Cruz Pereira  
Instituto de Física/Universidade Federal de Goiás  
Endereço:Avenida Esperança, s/n, Campus  
Samambaia. CEP: 74690-900.Goiânia - Goiás -  
Brasil  
E-mail: [raniellecristina@discente.ufg.br](mailto:raniellecristina@discente.ufg.br)

---

## **Estimativa de dose de radiação em cenário de exposição de radiodiagnóstico utilizando o método de Monte Carlo e simulador antropomórfico virtual personalizado**

Dos Santos A.<sup>1</sup>, De Carvalho Júnior A.<sup>1</sup>, Santos W.<sup>2</sup>, Da Silva W.<sup>3</sup>, Pires S.<sup>3</sup>, Soares M.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> Amanda Santos, <sup>2</sup> Ufs, <sup>3</sup> Universidade Federal De Sergipe

**Resumo:** Em radiodiagnóstico, a necessidade de imagens de alta precisão para diagnósticos acurados contrasta com os riscos da exposição à radiação ionizante [8]. A dosimetria computacional, principalmente por métodos de Monte Carlo, permite otimizar protocolos clínicos, conciliando qualidade de imagem e segurança do paciente [7]. Simuladores antropomórficos virtuais baseados em superfícies Mesh, alinhados aos parâmetros anatômicos da ICRP 110 [1], proporcionam modelos tridimensionais sensíveis a posturas reais, essenciais para reproduzir exames radiográficos. Neste estudo, desenvolveu-se e validou-se um modelo dinâmico capaz de simular projeções anteroposterior e lateral, contribuindo para a redução de doses e aprimoramento de protocolos clinicamente aplicáveis.

**Materiais e métodos:** Para simular um cenário de radiodiagnóstico foi elaborado um simulador antropomórfico virtual sentado SEAMAX utilizando diversas ferramentas computacionais gratuitas [3,4,5,6]. O tubo de raios X foi modelado como metal puro com colimadores de chumbo e posicionado a 100 cm da entrada do paciente nas projeções anteroposterior (AP) e lateral, utilizando-se campo de  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  em ambas. O espectro de raios X foi gerado no SpekCalc [7] a 77 kV, com filtração total de 2,5 mm de alumínio e ângulo anódico de  $16^\circ$ . Adotou-se detector baseado em filme radiocrômico e representação do paciente sobre base metálica revestida por colchão de poliuretano.

**Resultados e discussões:** As doses absorvidas em  $\text{mSv/Gy.cm}^2$  pelo PKA foram: Lateral-figado:  $3,08\text{E-}03$ ; coração:  $8,15\text{E-}03$ ; pulmões:  $1,85\text{E-}03$ ; esôfago:  $1,78\text{E-}03$ ; estômago:  $1,68\text{E-}02$ . AP- figado:  $1,62\text{E-}02$ ; coração:  $1,81\text{E-}02$ ; pulmões:  $4,37\text{E-}03$ ; esôfago:  $1,14\text{E-}02$ ; estômago:  $1,82\text{E-}02$ . Essas medidas servirão de base para refinar a modelagem e reduzir discrepâncias, aumentando a fidedignidade anatômica.

**Conclusões:** Conclui-se que o modelo dinâmico baseado em superfícies Mesh, alinhado à ICRP 110, apresenta alta precisão em órgãos uniformes ( $< 3\%$  de erro) e potencial para simulações posturais realistas, otimizando protocolos radiográficos. No entanto, discrepâncias em alguns órgãos evidenciam necessidade de aprimoramento metodológico e calibração de medidas clínicas

**Agradecimento:** Ao orientador Albérico Blohem de Carvalho Júnior pelo apoio e orientação. À Universidade Federal de Sergipe pelo suporte institucional. Ao Departamento de Física pelo apoio estrutural.

### **Referências:**

- [1] ICRP (International Commission on Radiological Protection). Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. Ottawa: ICRP; 2021.
- [2] Poludniowski G. SpekCalc: Spectrum calculation of X-ray tubes. Disponível em: <https://www.spekcalc.org>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- [3] BINVOX. Binvox: 3D Mesh Voxelizer. Disponível em: <http://www.google.com/search?q=binvox>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- [4] IMAGEJ. ImageJ: Image Processing and Analysis in Java. National Institutes of Health. Disponível em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

- [5] MAKEHUMAN. MakeHuman: 3D Human Modeling Software. Disponível em: <http://www.makehumancommunity.org/>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- [6] BLENDER. Blender: 3D Creation Software. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- [7] WATERS, L. S. MCNPX User's Manual. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory; 2002. [8] JOHNS, H. E.; CUNNINGHAM, J. R. The Physics of Radiology. 4ª ed. Springfield: Charles C Thomas; 1983.

## Avaliação do Uso de Biomassa de Conchas Marinhas para Dosimetria de Altas Doses por TL e OSL

De Oliveira B.<sup>1</sup>, Da Silva A.<sup>1</sup>, Santos A.<sup>2</sup>, Amorim P.<sup>3</sup>, Souza D.<sup>2</sup>, Caldas L.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Ipen, <sup>2</sup> Universidade Federal De Sergipe, <sup>3</sup> Priscila Amorim

**Resumo:** As conchas de búzios, amplamente encontradas no meio ambiente e tradicionalmente utilizadas em ornamentações, têm demonstrado potencial como materiais dosimétricos. Constituídas majoritariamente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), essas conchas apresentam propriedades luminescentes quando expostas à radiação, permitindo a quantificação da dose absorvida. Estudos recentes indicam que espécies como a Cipreia Tigre, Anel Monetário e Monetária Moneta, ao serem irradiadas com doses elevadas, emitem sinais mensuráveis por meio das técnicas de Termoluminescência (TL) e Luminescência Opticamente Estimulada (OSL). Considerando a escassez de investigações aprofundadas sobre o tema, este trabalho propõe avaliar o comportamento luminescente dessas conchas visando sua aplicação na dosimetria retrospectiva e ambiental de altas doses.

**Materiais e métodos:** As amostras foram trituradas e analisadas em duas etapas. O pó foi caracterizado por Difração de Raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS). As pastilhas prensadas foram utilizadas nas análises de Termoluminescência (TL) e Luminescência Opticamente Estimulada (OSL). Na TL, aplicou-se taxa de aquecimento de 5 °C/s até 400 °C. Os sinais foram registrados com filtros Hoya U340 (260–400 nm) e Schott BG-39 (320–480 nm). Na OSL, utilizou-se excitação por LEDs azuis (470 nm) e o sinal foi adquirido por 40 s com o filtro Hoya U340.

**Resultados e discussões:** As análises de DRX identificaram aragonita e calcita. O EDS confirmou a presença de Ca, C, O e Na, e o MEV revelou morfologias irregulares típicas de materiais cálcicos. As curvas doseresposta mostraram boa linearidade entre 10 e 5000 Gy ( $R^2 > 0,97$ ). As amostras exibiram decaimento exponencial em OSL e picos TL em torno de 150–160 °C.

**Conclusões:** Os resultados demonstram o potencial das conchas marinhas como biomateriais naturais, sustentáveis e eficazes para aplicação em dosimetria de altas doses, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas ecológicas na radioproteção.

**Agradecimento:** Os autores agradecem às agências de fomento CNPq (Bolsa 131466/2023-2, Projetos n° 305142/2021-6, 407493/2021-2, 131466/2023-2, 307008/2022-3) e FAPESP (Projeto n° 2018/05982-0).

### Referências:

- [1] Ogundare FO, Chithambo ML, Akintunde BO. Optically stimulated luminescence of cowrie shells. *Appl Radiat Isot.* 2021;167:109463. Vila BG. Caracterização de Silicatos e Carbonatos de Cálcio Aplicados à Dosimetria de Doses Altas [tese]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo; 2012.
- [2] Depci T, Oglakci M, Sezer SELDA, Yucel A, Dogan T, Souadi G, Can N. Characterization of thermoluminescence kinetic parameters of beta irradiated B doped C

## Avaliação da Dose Glandular em Modalidades Tridimensionais de imageamento da Mama

Thomaz S.<sup>1</sup>, Massera R.<sup>2</sup>, Carneiro R.<sup>1</sup>, Tomal A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>2</sup> Instituto De Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual De Campinas, <sup>3</sup> 04011173916

**Resumo:** Imagens bidimensionais (2D) da mama podem apresentar perda de especificidade devido à sobreposição de estruturas anatômicas, enquanto modalidades tridimensionais (3D) têm sido propostas como uma alternativa a essa limitação. Atualmente, a Tomossíntese Digital Mamária (DBT) e a Tomografia da Mama (bCT) são utilizadas, respectivamente, para aquisição de imagens pseudo 3D ou 3D da mama. No entanto, devido ao desenvolvimento recente dessas modalidades, há uma escassez de estudos de dosimetria, principalmente, em comparação entre o impacto de modelos de mama. Dessa forma, esse trabalho teve como foco avaliar a dose glandular média em DBT e bCT por meio de simulações Monte Carlo (MC), utilizando phantoms antropomórficos com distribuições glandulares heterogêneas e homogêneas.

**Materiais e métodos:** Foram realizadas simulações MC de DBT e bCT com o código MCGPU-PSF (VICTRE1.5) utilizando phantoms antropomórficos voxelizados gerados pelo software BreastPhantom. Considerou-se duas distribuições de tecido glandular: antropomórfica e homogênea, em geometrias da mama comprimida (DBT) e não-comprimida (bCT). Dez phantoms com diferentes glandularidades e dimensões foram selecionados. Para a geometria de cada modalidade específica as grandezas dosimétricas foram estimadas considerando todas as projeções, por meio da dose glandular média (AGD), kerma no ar e do coeficiente de conversão de dose ( $\Gamma$ ).

**Resultados e discussões:** Para um phantom 16,3% de glandularidade, o coeficiente  $\Gamma$  foi 33% maior na bCT do que na DBT para o modelo antropomórfico, e 31% maior para o homogêneo. As modalidades apresentaram um comportamento consistente:  $\Gamma$  aumenta com a glandularidade da mama e diminui com o aumento do tamanho do phantom. Além disso, os modelos homogêneos superestimaram a dose absorvida em 17% na DBT e em 3% na bCT.

**Conclusões:** O estudo da dosimetria em modalidade de imagem da mama 3D é essencial para a análise de risco e comparação com técnicas 2D. Os resultados indicam que a bCT apresenta AGD superior à da DBT, e que modelos homogêneos tendem a superestimar a dose. No entanto, à medida que o número de projeções aumenta, a superestimação diminui.

**Agradecimento:** Agradecemos às instituições financiadoras FAPESP, CNPq, FAPEX/UNICAMP, CAPES e IAEA – Marie Skłodowska-Curie Fellowship Programme e ao instituto IFGW pelo apoio no desenvolvimento dessa pesquisa.

### Referências:

- [1] Massera, R. T., Thomson, R. M., & Tomal, A. (2022). MC-GPU breast dosimetry validations with other Monte Carlo codes and phase space file implementation. *Medical Physics*, 49(1), 244-253.
- [2] Graff, C. G. (2016). A new, open-source, multi-modality digital breast phantom. In D. Kontos, T. G. Flohr, & J. Y. Lo (Eds.), *Medical Imaging 2016: Physics of Medical Imaging* (Vol. 9783, p. 978309). SPIE.
- [3] Hernandez, A. M., Seibert, J. A., Nosratieh, A. & Boone, J. M. (2017). Generation and analysis of clinically relevant breast imaging X-ray spectra. *Medical Physics* 44, 2148–2160.

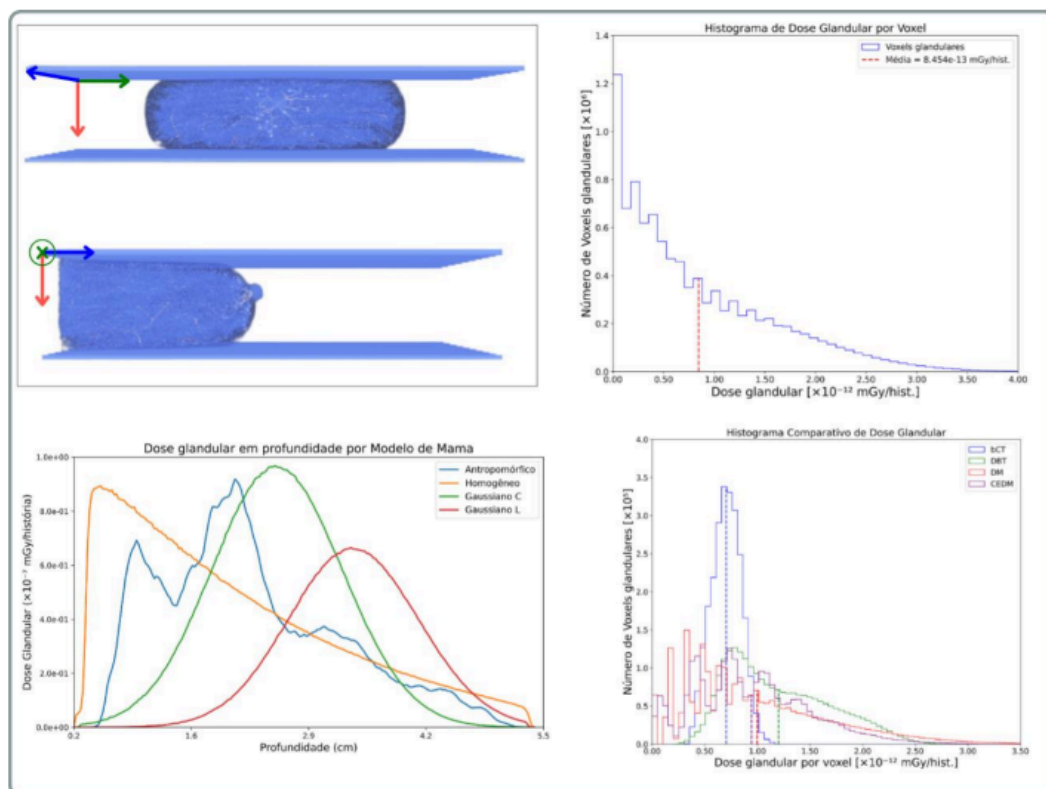
## Avaliação da Distribuição de Dose Glandular em Modalidades Avançadas de Imagem de Mama

Tomal A.<sup>1</sup>, Thomaz S.<sup>2</sup>, Massera R.<sup>3</sup>, Carneiro G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 04011173916, <sup>2</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>3</sup> Instituto De Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual De Campinas

**Resumo:** Simulações Monte Carlo (MC) são utilizadas na dosimetria por sua precisão em estimar grandezas que são difíceis de medir, como a dose glandular. Devido à utilização de radiação ionizante em imagens da mama e à radiosensibilidade do tecido glandular, o estudo da dosimetria dessa região se torna crucial para a análise de risco das modalidades de imagem. Em geral, os estudos expõem informações sobre a dose glandular média (Dg), sem levar em consideração a distribuição espacial de dose na mama, que pode aprimorar a compreensão das grandezas dosimétricas e da estimativa de risco. Este estudo analisou a distribuição de dose glandular em quatro modalidades de imagem da mama utilizando phantoms antropomórficos com diferentes amostragens, espessura e glandularidade.

**Materiais e métodos:** Simulações MC foram realizadas com o MCGPU-PSF (VICTRE-1.5) para diferentes modalidades de imageamento: Mamografia Digital (DM), Mamografia Realçada por Contraste (CEDM), Tomossíntese Digital da Mama (DBT) e Tomografia Computadorizada da Mama (bCT). Phantoms antropomórficos voxelizados gerados pelo BreastPhantom foram utilizados. Foram consideradas três distribuições de tecido glandular: antropomórfica, gaussiana e homogênea, em geometrias da mama comprimidas e não comprimidas. Nove phantoms foram categorizados em três grupos de espessura da mama, cada um com três níveis de glandularidade. Para cada caso, a distribuição de dose glandular (GDD) foi avaliada por meio de histogramas de dose glandular por voxel (GVD) e de perfis de dose.



**Resultados e discussões:** Em um phantom antropomórfico de 2,9 cm com 14% de glandularidade, a porcentagem de voxels com doses superiores à  $D_g$  foi maior na bCT (50%) e menor na DM (41%). Inversamente, a razão máxima GVD/ $D_g$  foi maior na DM (5,84) e menor na bCT (1,75). A razão GVD/ $D_g$  aumenta com a redução da energia efetiva do feixe. Ademais, o aumento da espessura da mama reduziu a proporção de voxels que excedem a  $D_g$ .

**Conclusões:** O estudo da distribuição espacial da dose fornece informações complementares à dosimetria da mama, especialmente na identificação de pontos críticos e na escolha de melhores abordagens. Por exemplo, entre os métodos de amostragem, o homogêneo apresentou o menor percentual de voxels excedendo  $D_g$  e o gaussiano, o maior. Assim, o perfil da dose pode ser uma ferramenta importante na análise de risco.

**Agradecimento:** Agradecemos às instituições financiadoras FAPESP, CNPq, FAEPEX/UNICAMP, CAPES e IAEA – Marie Skłodowska-Curie Fellowship Programme e ao instituto IFGW pelo apoio no desenvolvimento dessa pesquisa.

### Referências:

- [1] LIU, Yun; WU, Yu-Huan; BAN, Yunfeng; et al. TBX11K: Tuberculosis X-ray dataset. 2019.
- [2] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Tuberculosis. Geneva: WHO, 14 mar. 2025.
- [3] MOSQUERA, Katherine Duran et al. Multi-Omic Analysis of Symbiotic Bacteria Associated With *Aedes aegypti* Breeding Sites. *Frontiers in Microbiology*, [S.l.], v. 12, 2021.
- [4] ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Tuberculose ressurgue como a principal causa de morte por doença infecciosa. Brasília: OPAS, 1 nov. 2024.
- [5] MARCHIORI, Edson et al. Imagem em tuberculose pulmonar. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 329–336, nov./dez. 2001.
- [6] FRONTIERS MEDIA S.A.. YOLOv8"s advancements in tuberculosis identification from chest images. *Frontiers in Big Data*, v. 7, 2024

## Dosimetria de Raios X com Microfones de Eletreto

Tagliaferro F.<sup>1</sup>, Baffa Filho O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Frederico Possato, <sup>2</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Um dosímetro é um dispositivo utilizado para aferir a exposição à radiação ionizante recebida por uma pessoa ou objeto; essencial em ambientes com utilização de radiação, como hospitais, usinas nucleares e laboratórios de pesquisa. Materiais alternativos, como câmeras de segurança e smartphones, podem ser usados como dosímetros menos custosos para medir a radiação recebida em situações de emergência. Embora não substituam dosímetros padrões, esses dispositivos podem ajudar a determinar a necessidade de evacuação ou tratamento médico imediato quando os equipamentos especializados não estão disponíveis. Um material alternativo de baixo custo, como o microfone de eletreto, pode fornecer medições precisas e sensíveis de radiação, com a hipótese de redução na tensão de resposta [1].

**Materiais e métodos:** O experimento é dividido em três etapas: emissão, irradiação e aquisição. Na primeira, caracterizamos os microfones CZN-15E (16 kHz, 4,5 V, 0,5 mA) e os alto-falantes Xiaer (8  $\Omega$ , 0,5 W, 20 mm). Utilizamos um medidor de decibéis (MSL-1352) para medir o nível de pressão sonora (SPL) do alto-falante em frequências de 0,2-2 kHz. Na segunda etapa, os microfones foram posicionados no ponto focal do tubo de raios-X Isovolt Titan E a 1 m, com 160 kV e 10 mA DC, variando o tempo de exposição sucessivamente, com todos os microfones, conforme a dose alvo. Por fim, na etapa de aquisição, os 20 microfones foram reconectados ao sistema para análise das alterações ocasionadas pela variação de dose.

**Resultados e discussões:** A comparação entre os microfones de controle e irradiados indicou que uma faixa de 0,1-2 Gy induz uma diminuição de 0,2-0,3 mV/dB por 0,1 Gy, com uma correlação de Pearson de -0,93 quando comparada com uma curva linear decrescente. Isso demonstra uma forte correlação entre a exposição à radiação e as propriedades eletrostáticas dos eletretos [2], demonstrando sua eficácia como dosímetros.

**Conclusões:** A hipótese inicial do projeto, que sugeria o uso de microfones de eletreto para medir a dose de radiação acumulada, foi confirmada pelos resultados. A análise estatística demonstrou uma forte correlação entre a exposição à radiação e as variações nas propriedades eletrostáticas dos microfones, comprovando sua viabilidade como dosímetros alternativos com uma provável correlação sinal-dose.

### Referências:

[1] EGUCHI, M. Philos Mog. 1925.

[2] HEAVISIDE, O. Electrical Papers. [s.l.] Cambridge University Press, 2011.

## ANÁLISE COMPARATIVA DE CURVAS DE BRAGG EM MATERIAIS TECIDO-EQUIVALENTES UTILIZANDO SIMULAÇÕES MONTE CARLO NO TOPAS

Moreira L.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unesp

**Resumo:** O trabalho apresenta uma análise da eficácia do software TOPAS, baseado no Geant4, na simulação de curvas de Bragg para feixes de prótons em materiais tecido-equivalentes. A curva de Bragg representa a deposição máxima de energia dos prótons em determinada profundidade, oferecendo maior precisão ao direcionar a radiação apenas ao tumor, preservando os tecidos saudáveis próximos. Os materiais tecido-equivalentes são projetados para replicar com precisão as propriedades físicas e a forma como a radiação é absorvida nos tecidos humanos. Entre os materiais amplamente utilizados estão a água, o polimetilmetacrilato (PMMA), o A-150 Tissue Equivalent Plastic e o B-100 Bone Equivalent Plastic.

**Materiais e métodos:** Neste trabalho foi utilizado o TOPAS para simular e comparar curvas de Bragg para quatro materiais: água, PMMA, A-150 e B-100. Quatro alvos cilíndricos (com 20 cm de raio e 40 cm de altura), sendo um cilindro para cada material, foram irradiados com feixes de prótons com energias de 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 e 250 MeV, garantindo que o pico da curva de Bragg ocorra no interior dos cilindros. A coleta de dados foi configurada para registrar a dose absorvida no cilindro (em Gy) em função da profundidade. Após a obtenção dos dados de dose por meio das simulações no TOPAS, utilizou-se a linguagem de programação R para gerar gráficos e analisar as curvas de Bragg.

**Resultados e discussões:** Para 100 MeV, a profundidade do pico foi 7,58 mm na água (erro 1,5%), 6,52 mm no PMMA (1,8%), 6,51 mm no A-150 (4%) e 5,45 mm no B-100 (4,2%). A água apresentou a menor discrepância em relação ao NIST. O maior erro foi observado na energia de 50 MeV no A-150, com 11,3%.



**Conclusões:** Os dados simulados mostraram boa concordância com o NIST (National Institute of Standards and Technology), com erros baixos e consistentes, validando a metodologia.

Materiais mais densos apresentaram o pico de Bragg em maior profundidade, como esperado. A precisão dos resultados reforça a confiabilidade do método e sua aplicabilidade em estudos futuros.

**Referências:**

- [1] TOPAS MC Inc.. TOPAS Documentation. AGOSTINELLI, S.. et al.. Geant4—a simulation toolkit. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment.
- [2] HALL, David, et al. Validation of nuclear models in Geant4 using the dose distribution of a 177 MeV proton pencil beam. RAMOS-MÉNDEZ, J.. et al.. A framework for implementation of organ effect models in TOPAS with benchmarks extended to proton therapy.
- [3] GOORLEY, T.. et al.. Features of MCNP6. SALVAT, F.. et al.. PENELOPE-2014: A code system for Monte Carlo simulation of electron and photon transport.

## **Estudo das incertezas e calibração dos filmes radiocrômicos EBT2, EBT3, EBT4 e RTQA2 para doses de radioterapia**

Maciel M.<sup>1</sup>, Da Rosa L.<sup>2</sup>, Viegas C.<sup>2</sup>, Cardoso S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Do Rio De Janeiro, <sup>2</sup> Ird/Cnen, <sup>3</sup> Ufrj

**Resumo:** No âmbito da radioterapia, a dosimetria é um procedimento fundamental para garantir a segurança e a eficácia dos tratamentos. Nesse contexto, os filmes radiocrômicos vem sendo amplamente utilizados devido à sua alta resolução espacial e à sua composição quase equivalente ao tecido. Esses filmes são compostos por uma película especial que, ao ser exposta à radiação, sofre um processo de polimerização, resultando em seu escurecimento. Essa reação é progressiva, de modo que podem ocorrer variações na leitura das densidades ópticas (DO) dependendo do intervalo de tempo entre a irradiação e a digitalização do filme. Neste trabalho, foi realizada a calibração dos filmes radiocrômicos Gafchromic EBT2, EBT3, EBT4 e RTQA2 e avaliadas as incertezas associadas ao processo.

**Materiais e métodos:** Amostras dos filmes receberam doses de 1 a 9 Gy [1] em Co-60 (Theratron 780C) com uso de placas de água virtual e 8 leituras foram feitas em 100 dias de estudo. Nas digitalizações, o modo de transmissão foi usado para os filmes EBT2, EBT3 e EBT4 e o modo reflexão para o RTQA2. Um protocolo de 3 digitalizações com o scanner vazio foi adotado [2]. As DO de uma região de interesse de 1 cm<sup>2</sup> foram obtidas com um programa em Python [3]. A incerteza associada à DO foi determinada com base na combinação da incerteza Tipo A e Tipo B: 3 digitalizações independentes de cada filme irradiado e variação percentual entre os valores mínimo e máximo observados em leituras consecutivas da mesma imagem.

**Resultados e discussões:** Após estudo das incertezas, padronizou-se a leitura com três digitalizações consecutivas para identificar variações do scanner. As DOs variaram de 2,6% a 7,6% conforme o modelo de filme, indicando que uma única curva de calibração por filme, sem correção temporal, é inviável. O canal verde mostrou maior sensibilidade e linearidade com a dose, assim, sendo o escolhido como o mais adequado para uso.

**Conclusões:** Verificou-se que não é viável usar uma curva única e atemporal de calibração para os modelos de filmes estudados. Além disso, uma única digitalização não considera incertezas do scanner, sendo recomendadas três leituras consecutivas. A análise dos canais individualmente indicou o canal verde como o mais adequado para avaliar as doses comumente usadas em radioterapia.

### **Referências:**

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, Technical Reports Series No. 398 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2024), <https://doi.org/10.61092/iaea.ve7q-y94k>

[2] BEVERIDGE, S. et al. An international film dosimetry intercomparison to establish a multi-center audit framework. Med Phys. 2024 Dec;51(12):9071-9087. doi: 10.1002/mp.17428. Epub 2024 Sep 24. PMID: 39316455; PMCID: PMC11656281

[3] ALVES, Victor Gabriel Leandro. Avaliação dos planejamentos de tratamentos de radioterapia usando modelagem computacional e dosimetria absoluta com filmes radiocrômicos. 2014. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio

## Avaliação da exatidão e precisão na volumetria de nódulos pulmonares usando CT convencional e PCCT

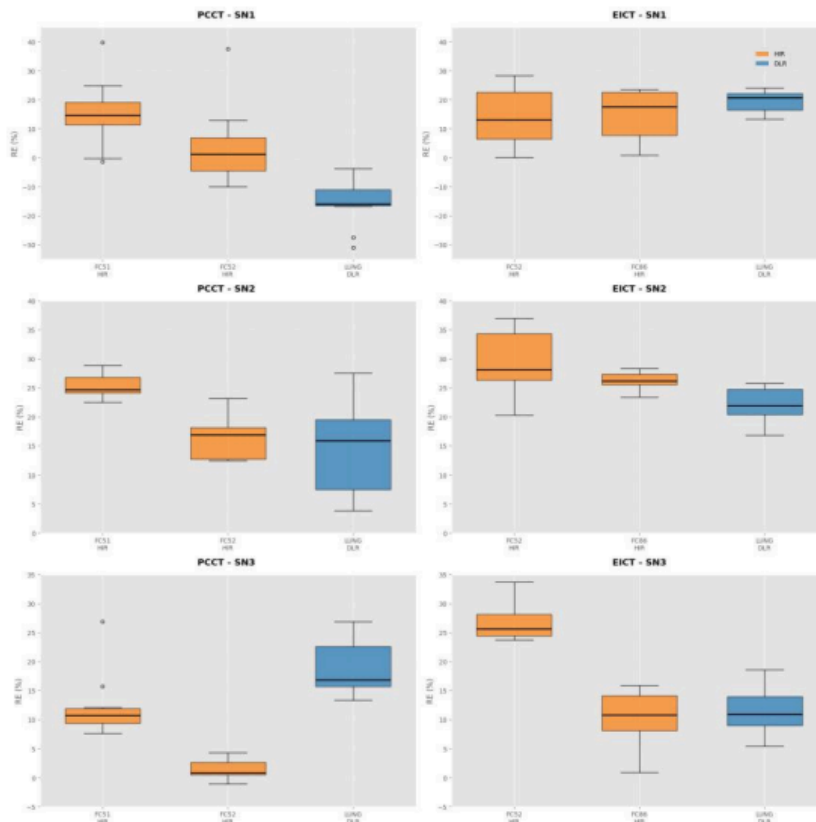
Negro G.<sup>1</sup>, Boiset G.<sup>2</sup>, Pimenta E.<sup>2</sup>, Tomal A.<sup>4</sup>, Costa P.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Giovanna Negro, <sup>2</sup> Ifusp, <sup>3</sup> Universidade De São Paulo (Ifusp), <sup>4</sup> 04011173916, <sup>5</sup> Instituto De Física Da Usp

**Resumo:** A otimização de protocolos em exames de tomografia computadorizada usados no estadiamento de nódulos pulmonares tem um papel fundamental devido à necessidade de medições volumétricas precisas. Entretanto, a precisão das medições volumétricas pode ser afetada por diversos parâmetros como algoritmos de reconstrução, setup do equipamento e características dos nódulos [1,2]. Como a avaliação direta em pacientes é inviável, foram utilizados phantoms com nódulos de volumes conhecidos para comparar dois sistemas de TC e avaliar métodos de reconstrução, incluindo algoritmos híbridos (HIR) e baseados em deep learning (DLR). O estudo visa entender como esses fatores influenciam a exatidão e precisão das medições, contribuindo na escolha de protocolos mais adequados.

**Materiais e métodos:** Foi utilizado um phantom pulmonar antropomórfico impresso em 3D contendo três nódulos sólidos sintéticos [1]. Os volumes de referência foram obtidos por um micro-CT de ultra-alta resolução (U-SPECT6CThr, MILabs). As imagens do phantom foram adquiridas em um tomógrafo convencional (EICT) e em um sistema (PCCT) ambos da Canon Medical Systems, com CTDIvol de 1.4 mGy, utilizando protocolos de reconstrução HIR e DLR. Foram realizadas dez aquisições por protocolo e os volumes estimados utilizando o 3D Slicer (v5.6.2) [3]. A exatidão foi avaliada pelo erro relativo (RE) em relação ao valor de referência ground truth (GT) e a precisão pelo coeficiente de variação (CV).

**Resultados e discussões:** Os volumes de GT dos nódulos sólidos (SNs) foram 6, 26 e 72 mm<sup>3</sup>. O PCCT/HIR com kernel FC52 apresentou melhor exatidão com RE% média de 9,7%. Ambos os sistemas mostraram tendência à subestimação do volume, mais evidente no EICT/HIR com kernel FC52. O EICT/DLR com kernel Lung apresentou menor variabilidade mostrando melhor precisão na determinação dos volumes.



**Conclusões:** A análise comparativa evidenciou que a exatidão e a precisão na estimativa de volume variam conforme o sistema, kernel de reconstrução e tamanho do nódulo. Combinações específicas, como PCCT/HIR com kernel FC52 e EICT/DLR com kernel Lung, se destacaram em desempenho, sendo indicadas para medições volumétricas mais confiáveis.

**Referências:**

- [1] Costa PR, Pimenta EB, Oostveen LJ, Boiset GR, Moura RAS, Sechopoulos I. Lung nodule volumetry accuracy and precision on energyintegrating and CdZnTe photon-counting CT technologies. Proc SPIE. 2025;13405:134053N. doi:10.1117/12.3048602
- [2] DE KONING, Harry J. et al. Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial. New England journal of medicine, v. 382, n. 6, p. 503-513, 2020.
- [3] Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. Magn Reson Imaging. 2012;30(9):1323-1341. doi:10.1016/j.mri.2012.05.001

## Comparação entre níveis de referência diagnóstica nacional com um Hospital Universitário

Assunção J.<sup>1</sup>, Balestieri P.<sup>2</sup>, L. Soares<sup>3</sup>, Marques M.<sup>4</sup>, Mendonça R.<sup>5</sup>, Nunes R.<sup>3</sup>, Cavalcante R.<sup>6</sup>, Dos Santos D.<sup>6</sup>, Bueno R.<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Uberlândia, <sup>2</sup> Paola Dos Santos Balestieri, <sup>3</sup> Universidade Federal Do Rio De Janeiro, <sup>4</sup> Eu Não Sou Vinculado A Nenhuma Empresa/Entidade, <sup>5</sup> Ramon Matias Nunes Mendonça, <sup>6</sup> Rick Bruno S Cavalcante, <sup>7</sup> Ryenne Bañolas Bueno, <sup>8</sup> Empresa B

**Resumo:** A medicina nuclear (MN) é uma especialidade médica que utiliza radiofármacos para fins diagnósticos ou terapêuticos. Esses compostos se concentram em órgãos-alvo, permitindo a geração de imagens funcionais ou a atuação terapêutica. Devido ao uso de materiais radioativos, foram criados os Níveis de Referência em Diagnóstico (NRD), que servem como parâmetros para otimizar a proteção radiológica e avaliar a qualidade dos serviços. Com base em um estudo nacional (NUNES, 2023), que propôs estimativas de NRD's nacionais, este trabalho tem como objetivo analisar os dados de atividades administradas no serviço de medicina nuclear de um Hospital Universitário (HU) e verificar sua conformidade com os NRD's propostos, identificando possíveis excessos ou oportunidades de otimização.

**Materiais e métodos:** No presente estudo, foram analisados dados registrados das atividades administradas em oito procedimentos rotineiros do serviço de Medicina Nuclear de um Hospital Universitário (HU), coletados ao longo de sete meses. Para cada procedimento, calcularam-se estatísticas descritivas como média, mediana, desvio padrão e terceiro quartil das atividades administradas, refletindo a prática clínica do serviço. O terceiro quartil foi utilizado como valor de NRD, representando a atividade abaixo da qual 75% das doses administradas se encontram. Esses valores foram então comparados aos NRD's obtidos no estudo (NUNES, 2023), permitindo a avaliação da conformidade do hospital com os valores de referência.

**Resultados e discussões:** Os NRD's do HU foram menores que os de Nunes (2023) apenas nas cintilografias da tireoide e perfusão miocárdica em estresse. Nos demais exames, os valores foram superiores ou iguais. Isso aponta a necessidade de revisar e padronizar protocolos, otimizando doses e fortalecendo a aplicação do princípio ALARA e a capacitação da equipe.

**Conclusões:** Os resultados indicam que, apesar da tecnologia mais recente disponível no HU, há discrepâncias nos NRD's em relação aos valores nacionais de referência. Isso reforça a importância da revisão dos protocolos e da capacitação contínua da equipe, promovendo a melhoria da qualidade e a aplicação eficaz do princípio ALARA.

### Referências:

[1] NUNES, Rafael de Araujo. Levantamento dos níveis de referência em diagnóstico para medicina nuclear no Brasil. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física Médica) [2] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). Publication 135: Diagnostic reference levels in medical imaging. Annals of the ICRP, v. 46, n. 1, p. 1-144, 2017.

## Implantação de um Laboratório de Calibração de Dosímetros Clínicos (LCDC) no LCR/UERJ: Um Padrão Secundário para Radioterapia

Mota C.<sup>1</sup>, De Almeida C.<sup>1</sup>, Di Prinzio R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cebio

**Resumo:** A crescente demanda por serviços de calibração de dosímetros clínicos no Brasil, essenciais para assegurar a qualidade e segurança dos tratamentos radioterápicos, motivou a implantação de um laboratório padrão secundário no Laboratório de Ciências Radiológicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (LCR/UERJ). A calibração de dosímetros clínicos é um procedimento crucial para garantir a exatidão das doses de radiação aplicadas durante os tratamentos oncológicos, sendo uma atividade fundamental para a metrologia e a radioproteção. Este trabalho descreve a implantação do Laboratório de Calibração de Dosímetros Clínicos (LCDC) no âmbito do LABMETRO, vinculado ao LCR/UERJ, com o objetivo de estabelecer um padrão secundário de calibração utilizando uma fonte de teleterapia de  $^{60}\text{Co}$ .

**Materiais e métodos:** A implantação do LCDC, em andamento, consiste na instalação de sistemas essenciais para a operação, como alinhamento do feixe e levantamento radiométrico. A câmara de referência, calibrada no NRC, está sob controle metrológico desde 2023, com monitoramento contínuo do conjunto dosimétrico e dos instrumentos ambientais, incluindo o termômetro de alta precisão P-755. O controle semanal da câmara vem sendo realizado há dois anos, com dados registrados no software MEPHYSTO, garantindo rastreabilidade e confiabilidade. As ações seguem o Sistema da Qualidade do LABMETRO e envolvem a validação metodológica e a elaboração de documentos para certificação no CASEC e acreditação pelo INMETRO.

**Resultados e discussões:** A instalação do sistema de alinhamento foi concluída. A mesa foi posicionada a 100 cm da fonte de cobalto e a janela do fantoma ajustada ao eixo do feixe. No levantamento radiométrico, foram registrados 200 nSv/h na sala de controle e 1,3  $\mu\text{Sv/h}$  na área externa, dentro dos limites da norma. O controle da qualidade da câmara de referência do LCDC mostrou um desvio padrão relativo de 0,051%.

**Conclusões:** A implantação do LCDC no LCR/UERJ avança conforme o planejado, com sistemas de alinhamento precisos. Todos os resultados são satisfatórios. O controle dos padrões assegura rastreabilidade. O início das calibrações está previsto para agosto de 2025, iniciando com câmaras do próprio LCR, reforçando a autonomia metrológica e fortalecendo o LCR/UERJ como centro de referência em dosimetria clínica.

### Referências:

- [1] Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. Vienna, Austria, 2024.
- [2] IAEA Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. International Atomic Energy Agency, 2024. (Technical reports series, ISSN 0074-1914; no. 398)
- [3] ISO/IEC – 17025:2005 – Requisitos Gerais para Reconhecimento de Laboratórios de Ensaio e Calibração, 2005.

## **Instrumentação e Desenvolvimento de Leitora de Sinal OSL: integração Hardware-Software**

Dorneles T.<sup>1</sup>, Andrade A.<sup>2</sup>, De Oliveira L.<sup>2</sup>, Valença J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Sergipe, <sup>3</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufcsa

**Resumo:** A técnica de luminescência opticamente estimulada (OSL) vem ganhando destaque no campo da dosimetria pessoal por apresentar características como precisão e possibilidade de releitura do sinal [1]. A OSL é caracterizada pelo sinal luminoso emitido por um material previamente exposto à radiação ionizante, em resposta a um estímulo óptico usualmente na faixa da luz visível. O sinal luminescente emitido pela amostra deve apresentar proporcionalidade em relação à dose absorvida [2]. A captação do sinal é feita via módulo fotomultiplicador, transformando luz em corrente elétrica. O objetivo do presente trabalho é desenvolver e construir uma leitora de sinal luminoso opticamente estimulado.

**Materiais e métodos:** Para o desenvolvimento do software, optou-se pela plataforma LabView, cuja utilização foi fundamentada em diversos materiais técnicos disponíveis na literatura [3][4]. O código foi estruturado em três blocos principais: controle dos LEDs, processamento dos dados e gerenciamento de arquivos. Esses blocos foram testados utilizando uma placa de aquisição ou Arduino. Além disso, foi desenvolvida uma fonte de corrente controlada por tensão para regular a intensidade luminosa dos LEDs, a qual foi testada com LEDs de alto brilho e fontes de bancada.

**Resultados e discussões:** O software desenvolvido controla a ativação dos LEDs com base nos valores de tempo fornecidos pelo usuário, por meio de uma interface gráfica intuitiva. Essa interface disponibiliza ferramentas para o gerenciamento e criação de arquivos de saída, bem como faz a integração com o circuito que controla a potência dos LEDs. Até o momento, o sensor LDR foi usado para aquisição do sinal.

**Conclusões:** O sistema desenvolvido demonstrou viabilidade para o controle de LEDs e aquisição de sinais ópticos. A fonte de corrente e o software com interface gráfica foram integrados em testes com Arduino. Soluções estruturais com impressão 3D começaram a ser testadas. Como próximos passos, serão adquiridos e acoplados o módulo fotomultiplicador e uma placa de aquisição dedicada, visando testes e validação.

### **Referências:**

- [1] Yukihiro EG, McKeever SWS. *Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications*. United Kingdom: Wiley, 2011.
- [2] Akselrod MS. Fundamentals of materials, techniques, and instrumentation for OSL and FNTD dosimetry. *AIP Conf. Proc.* 2011;1345:274- 302.
- [3] Scullion A. *PHYS 4907: OSL Reader Prototype*. 2011.
- [4] Bos AJJ, Pijpers TM, Ypma PJ. Spectrally resolved thermoluminescence measurements in fluorescence spectrometer. *Radiat. Meas.* 1996;26(4):719-722.

## **Avaliação computacional da dose associada à radioterapia em pacientes pediátricos com uso do código MCNPX: o caso do tumor de Wilms**

Melchioris J.<sup>1</sup>, Montenegro E.<sup>2</sup>, De Lima M.<sup>2</sup>, Santos W.<sup>3</sup>, Valença J.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Eduarda Sulzbacher Montenegro, <sup>3</sup> Ufs, <sup>4</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufcsa

**Resumo:** Em radioterapia, a quantificação da exposição de tecidos saudáveis a doses indiretas é relevante, especialmente em pacientes pediátricos. O tumor de Wilms, responsável por 90% dos cânceres renais infantis [1], exige radioterapia em casos avançados, porém a alta radiosensibilidade de crianças amplia riscos de efeitos tardios. Neste contexto, o método Monte Carlo foi aplicado para modelar computacionalmente a distribuição de dose em órgãos críticos de simuladores pediátricos submetidos a cenários realistas de tratamento. Os resultados buscam analisar protocolos, visando minimizar danos indesejados em tecidos sensíveis, essenciais para a segurança de pacientes sobreviventes a longo prazo, bem como estimar o risco de desenvolvimento de neoplasias secundárias.

**Materiais e métodos:** Foram utilizados simuladores antropomórficos da ICRP para simular [2] irradiação do flanco direito com feixes de 6 MV e 10 MV gerados no LINAC Varian 2100c. Cenários incluíram projeções ântero-posterior (AP) e pósterio-anterior (PA), campo aberto de 12 x 16 cm<sup>2</sup>, e dose total de 20 Gy. O código Monte Carlo N-Particle eXtended (MCNPX) foi empregado para cálculo da energia depositada, com uso da Tally F6 (MeV/g/partícula), convertida em dose equivalente mediante fator de conversão. Para fótons, 1E8 histórias garantiram erro relativo <5%; para nêutrons (10 MV), 2,1E9 histórias resultaram em erros ≤10%. Analisou-se dose efetiva e contribuição de nêutrons em órgãos críticos.

**Resultados e discussões:** As doses efetivas foram 1,70 Sv (feminino) e 1,44 Sv (masculino) para 6 MV, com maiores valores em útero, pâncreas e bexiga. Para 10 MV (AP), a dose efetiva feminina reduziu para 0,99 Sv, com contribuição de nêutrons especialmente na tireoide e olhos. A diferença dos valores obtidos entre sexos reflete a anatomia, tendo em vista as estruturas específicas e seus fatores de sensibilidade à radiação.

**Conclusões:** O estudo mostrou diferenças na dose efetiva entre sexos, atribuíveis à anatomia (ex.: útero). Análise com feixe de 10 MV permitiu discutir a contribuição dos nêutrons neste caso. Tende-se a priorizar 6 MV para evitar nêutrons secundários e adaptar livremente os tamanhos de campo por idade/tamanho. Simulações com uso do MCNPX se mostraram efetivas na avaliação da variação de parâmetros realizada.

### **Referências:**

- [1] SALZILLO, C. et al. Paediatric Renal Tumors: A State-of-the-Art Review. Current Oncology Reports, 7 fev. 2025.
- [2] ICRP, 2020. Paediatric Computational Reference Phantoms. ICRP Publication 143. Ann. ICRP 49(1).
- [3] BÖLLING, T.; WILLICH, N.; ERNST, I. Late effects of abdominal irradiation in children: a review of the literature. PubMed, v. 30, n. 1, p. 227–31, 1 jan. 2010.

## Comparativo das taxas de equivalente de dose ambiente obtidas por dois modos de operação de uma câmara de ionização

Baptista V.<sup>1</sup>, Da Silva E.<sup>2</sup>, Pacífico L.<sup>3</sup>, Magalhães L.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Vitória Baptista, <sup>2</sup> -, <sup>3</sup> Cebio - Uerj, <sup>4</sup> Universidade Do Estado Do Rio De Janeiro

**Resumo:** O equivalente de dose ambiente  $H^*(d)$  é uma grandeza operacional usada na monitoração de áreas de trabalho, considerando o dano causado por radiações de diferentes tipos e energias. Para radiação fortemente penetrante, usa-se a profundidade de 10 mm para fins de estimativa do equivalente de dose no indivíduo. Para tanto, câmaras de ionização (CI) são essenciais, e conhecer suas limitações é de fundamental importância. Este estudo analisou a dependência temporal da CI Fluke Victoreen 451B-RYR nos modos Integrado e Taxa, usando as qualidades de radiação para radioproteção N60, N80 e N100 da norma ISO 4037-1:2019, para tempos inferiores ao tempo de resposta definidos pelo fabricante.

**Materiais e métodos:** Foi utilizado um tubo de raios X COMET MXR-160/22, alvo de W, janela de 0,8 mm Be, filtração inerente de 0,3 mm Al. Para cada qualidade, foi utilizada uma corrente fixa de 10 mA, distância focodetector de 200 cm e tempos de exposição de 0,1 s a 1,0 s com incremento de 0,1 s e um tempo de 1,5 s. A câmara de ionização Fluke Victoreen 451B-RYR (349 cm<sup>3</sup>) operou nos modos Integrado (0–999 R) e Taxa (0– 50 R/h). Foi aplicado o coeficiente de calibração a cada medida.

**Resultados e discussões:** A taxa de  $H^*(10)$  em um mesmo feixe deve ser a mesma independente do tempo de irradiação, mas observou-se dependência temporal para tempos menores que 1,5 s. A estabilização ocorreu a partir de certos tempos: para N60 e N80, foi de 0,8 s nos modos Integrado e Taxa; para N100, foi de 1,5 s em ambos os modos. Isso indica a influência do tempo de irradiação na resposta da câmara.

**Conclusões:** Constatou-se que a CI apresentou comportamento satisfatório dos valores das taxas de  $H^*(10)$  para tempos abaixo do mínimo indicado pelo fabricante (2 s). Os resultados demonstraram a necessidade de aplicar fatores de correção específicos para ambos os modos de operação (Integrado e Taxa). Esta correção é essencial para garantir a precisão das medições em condições operacionais diversas.

**Agradecimento:** Agradecemos aos nossos colegas do Laboratório de Ciências Radiológicas da Universidade Estadual do Rio de Janeiro que forneceram os equipamentos e disponibilizaram a sala de raios X.

### Referências:

[1] Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC N° 611, DE 9 DE MARÇO DE 2022. Brasília, 2022.

[2] FLUKE BIOMEDICAL. In: Manual de operação: Ion Chamber Survey Meter 451B. Available at:

[https://www.flukebiomedical.com/sites/default/files/resources/451b\\_omeng0100.pdf](https://www.flukebiomedical.com/sites/default/files/resources/451b_omeng0100.pdf)

Accessed on: 25 Sep. 2024.

[3] Knoll, GF: Radiation Detection and Measurement, 1979, John Wiley & Sons, Inc. ISO 4037-1. Radiological protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy Part 1: Radiation characteristics and production methods. 2017. Pacífico L de C. Caracterização das qualidades de radioproteção N10 a N150 no laboratório de metrologia do Departamento de Ciências Radiológica

## Propriedades dosimétricas de detectores nanoDot OSL para controle da qualidade em radioterapia: uma caracterização inicial e análise de incerteza

Machado D.<sup>1</sup>, Viegas C.<sup>1</sup>, Da Rosa L.<sup>2</sup>, Cardoso S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ufrj, <sup>2</sup> Ird/Cnen

**Resumo:** Dosímetros OSL (do inglês, Optically Stimulated Luminescence) são materiais que apresentam a propriedade de, após expostos à radiação, armazenar a energia e liberá-la na forma de luz sob estimulação óptica, permitindo a medição da dose absorvida quando calibrados nesta grandeza. A caracterização do OSLD é essencial para sua aplicação segura em radioterapia. Para isso, um sistema OSLD comercial (Landauer Inc.) está sendo testado para medir parâmetros de controle da qualidade [1,2]. Este trabalho propõe a elaboração de um protocolo para a caracterização de OSLD nanoDots, a partir de estudos detalhados, com resultados consistentes acompanhados da análise de incerteza, onde diversas propriedades dosimétricas de OSLD nanoDots (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C) irradiados com feixe de Co-60 foram analisadas [3].

**Materiais e métodos:** Os dosímetros OSL foram irradiados com feixe de Co-60 (Theratron 780C, 70 cGy/min) no Programa de Qualidade em Radioterapia do INCA, posicionados entre placas de água virtual (40 × 40 × 5 cm<sup>3</sup>, GR200, Standard Imaging), a 5 cm de profundidade [4]. As medições foram feitas no leitor OSL MicroStar (Landauer). O processo de bleaching óptico foi realizado com lâmpadas de LED de 9 W. Testes foram conduzidos para avaliar o desvanecimento precoce, a redução do sinal por múltiplas leituras e a repetitividade dos OSLDs. As incertezas combinadas foram obtidas por meio da propagação das incertezas individuais de cada fonte de erro [5,6].

**Resultados e discussões:** Durante o bleaching óptico, cerca de 80% do sinal é apagado em 1 h. Observouse um sinal transiente nos primeiros 10 min pós-irradiação. A redução do sinal, após múltiplas leituras, foi de 0,05% por leitura. A correlação entre a identificação dos nanoDots e a sensibilidade declarada pelo fabricante revelou-se inexistente. Testes de repetitividade mostraram variação inferior a 1% em 78% do lote.

**Conclusões:** Todos os resultados evidenciam que a dosimetria OSL é uma alternativa viável para uso em controle da qualidade, especialmente em radioterapia. Novos estudos em andamento incluem a avaliação da linearidade da resposta em função da dose e da dependência energética para diferentes feixes de fótons comumente usados em radioterapia.

### Referências:

- [1] Jessica Lye, Leon Dunn and John Kenny (2014) Medical Physics 41, 032102.
- [2] Paul A. Jursinic (2007) Medical Physics 34,12 4594.
- [3] I. Mrcela, T. Bokulic, J. Izewska (2011) Phys. Med. Biol. 56 6065–6082.
- [4] IAEA, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, Technical Reports Series No. 398, IAEA, Vienna (2000). cap 5.
- [5] INMETRO. Guia para a Expressão da Incerteza de Medição. 3ª ed. Rio de Janeiro (2012). p. 66, Anexo F.
- [6] Knoll GF. Radiation Detection and Measurement. 4th ed. Hoboken: Wiley (2010). p. 84, cap. 3.

## Manufatura aditiva para confecção de simuladores: uma análise com Monte Carlo PENELOPE

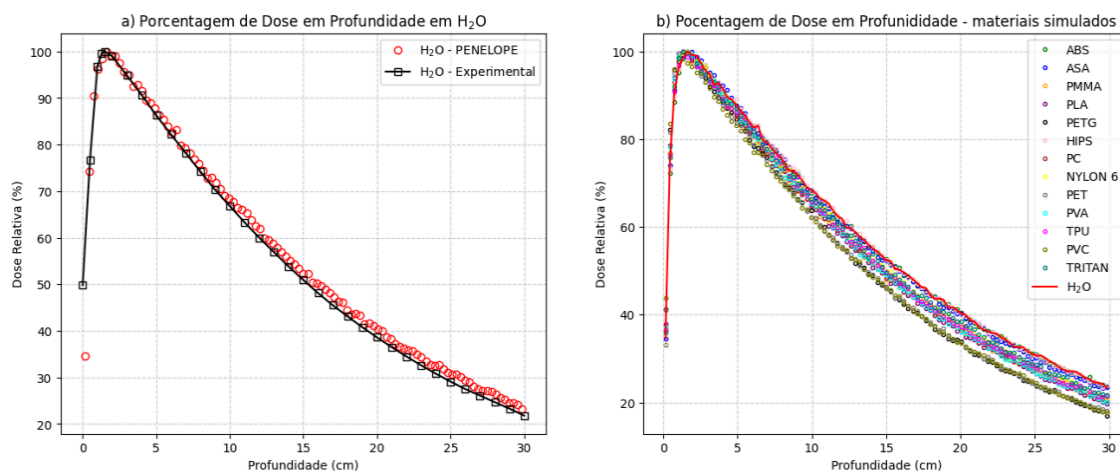
Dos Santos F.<sup>1</sup>, Dos Santos M.<sup>2</sup>, Pianoschi T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ufcspa, <sup>2</sup> If Goiano - Campus Ceres

**Resumo:** Na radioterapia, simuladores antropomórficos em PMMA ou água são padrão para garantir planejamento e controle de qualidade. Contudo, o preço elevado desses phantoms limita o acesso, sobretudo em serviços com menos recursos. A popularização da impressão 3D abriu caminho para polímeros de baixo custo capazes de substituir os simuladores comerciais. Ainda faltam, porém, estudos sistemáticos que avaliem tanto o desempenho clínico desses materiais quanto os métodos de análise empregados. Este estudo investiga as distribuições de dose, sob feixe clínico de 6 MV, em ABS, ASA, HIPS, Nylon-6, PC, PET, PETG, PLA, PVA, PVC, TPU e Tritan, determinando se apresentam equivalência radiológica suficiente para a confecção de phantoms aplicáveis à radioterapia.

**Materiais e métodos:** Foi utilizado, para todos os materiais, um feixe de  $1 \times 10^{10}$  fótons de 6 MV, a uma distância fonte-superfície de 100 cm, com um campo de 10 cm<sup>2</sup> e um simulador de tamanho 30 x 30 x 31 cm<sup>3</sup>, maciço. As características dos materiais foram reproduzidas no código PENELOPE por estequiometria, dadas suas composições químicas. Para fim de validação do espectro de 6 MV simulado, os resultados obtidos para água foram comparados com dados clínicos obtidos da Santa Casa de Porto Alegre. As distribuições de dose normalizadas para todos os materiais simulados foram comparadas com os resultados obtidos em água simulada. O erro quadrático médio (MSE) foi calculado para todos os materiais.

**Resultados e discussões:** Embora não haja uma correlação direta entre os erros calculados, o Zeff e a densidade, a distribuição de dose apresentou valores próximos em relação a água. Os resultados sugerem que os materiais podem ser utilizados como tecido-equivalentes para confecção de objetos simuladores clínicos e/ou dosimétricos em impressora 3D, mesmo aqueles que apresentaram erros maiores em relação à água.



**Conclusões:** A avaliação dos parâmetros físicos de ambos os monitores se mostrou dentro dos padrões internacionais no início dos testes, porém ao repetir a calibração e a avaliação após 3 meses houveram diferenças nos resultados. Recomendamos a calibração do fabricante e a avaliação dos parâmetros físicos periodicamente.

**Referências:**

- [1] Talapko J, et al. Health Effect of Ionizing Radiation on the Human Body. *Medicina*. 2024; 60(4):653. <https://doi.org/10.3390/medicina60040653>
- [2] Kadoya, N, et al. Evaluation of a 3D-printed heterogeneous anthropomorphic head and neck phantom for patient-specific quality assurance in intensity-modulated radiation therapy. *Radiol Phys Technol* 12, 351–356 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12194-019-00527-5>
- [3] Thomazi, Eduardo. "Compósitos baseados em PLA e ABS para impressão 3D de simuladores antropomórficos." (2023). <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/12712>

## Modelagem computacional do MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> dopado com íons lantanídeos: conexões com a área de dosimetria das radiações ionizantes

Yamamoto B.<sup>1</sup>, Valença J.<sup>2</sup>, De Matos H.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ufcspa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufcspa, <sup>3</sup> Ufob

**Resumo:** : O tetraborato de magnésio tem ganhado atenção na área de dosimetria pessoal devido às suas propriedades luminescentes e aspectos como seu número atômico efetivo próximo ao do tecido biológico. A análise da literatura mostra a necessidade de uma melhor compreensão acerca da origem e dinâmica de sua emissão TL e OSL. O uso de softwares como o GULP permite análises associadas à energia de formação de defeitos em sólidos cristalinos, sendo uma estratégia coerente na tentativa de associar os sinais emitidos pelos compostos com os defeitos mais prováveis de estarem presentes. O objetivo deste trabalho é simular defeitos pontuais associados ao MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> dopado com diferentes íons, no intuito de avançar a discussão sobre a origem do sinal luminescente estimulado emitido.

**Materiais e métodos:** Neste trabalho, foi utilizada a modelagem atomística computacional com base em potenciais interatômicos e na minimização da energia de rede, por meio do software GULP. Essa abordagem permite investigar defeitos pontuais, como vacâncias, intersticiais e substitucionais. Para isso, aplicou-se o método de Mott-Littleton, que divide a rede cristalina em regiões distintas. As informações sobre o tetraborato de magnésio foram obtidas no banco de dados cristalográficos ICSD e incorporadas ao input do programa. Dois diferentes tipos de potenciais foram empregados, o de Buckingham e o Morse, selecionados conforme as características das ligações presentes no material, além das constantes elásticas.

**Resultados e discussões:** A simulação de vacâncias foi menos exigente computacionalmente. E os resultados obtidos foram de -24,07 eV para Mg e -31,59 eV para O. As simulações com Eu resultaram em - 11,93 eV e -23,63 eV para defeitos substitucionais e intersticiais, respectivamente. Já os defeitos envolvendo o boro mostraram-se mais exigentes, indicando uma dinâmica de formação mais complexa para esse elemento.

**Conclusões:** Defeitos de vacância e substitucionais foram mais simples e exigiram menos tempo computacional, enquanto os intersticiais mostraram-se mais complexos e demorados. Foi possível a avaliação de defeitos pontuais associados ao processo de dopagem da matriz de tetraborato de magnésio com distintos íons lantanídeos (La, Eu, Dy, Ce, Gd, Nd).

**Agradecimento:** Agradecimentos aos professores e doutores HEVESON LUIS LIMA DE MATOS da UFOB e JOÃO VINÍCIUS BATISTA VALENÇA da UFCSPA pela orientação e ensino.

### Referências:

- [1] CONTASSOT, Raíssa et al. Elucidating the effect of intrinsic defects on the dosimetric properties of the MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> compound: an atomistic simulation approach. *New Journal of Chemistry*, v. 46, n. 14, p. 6403–6413, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1039/d1nj06080e>.
- [2] BATISTA, João V. B. et al. Unlocking the effect of Li and Ce ions on the thermoluminescence and optically stimulated luminescence signals of the MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> compound. *Dalton Transactions*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1039/d3dt00485f>.
- [3] RABONE, J. A. L.; DE LEEUW, N. H. Interatomic potential models for natural apatite crystals: Incorporating strontium and the lanthanides. *Journal of Computational Chemistry*, v. 27, n. 2, p. 253–266, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcc.20323>.

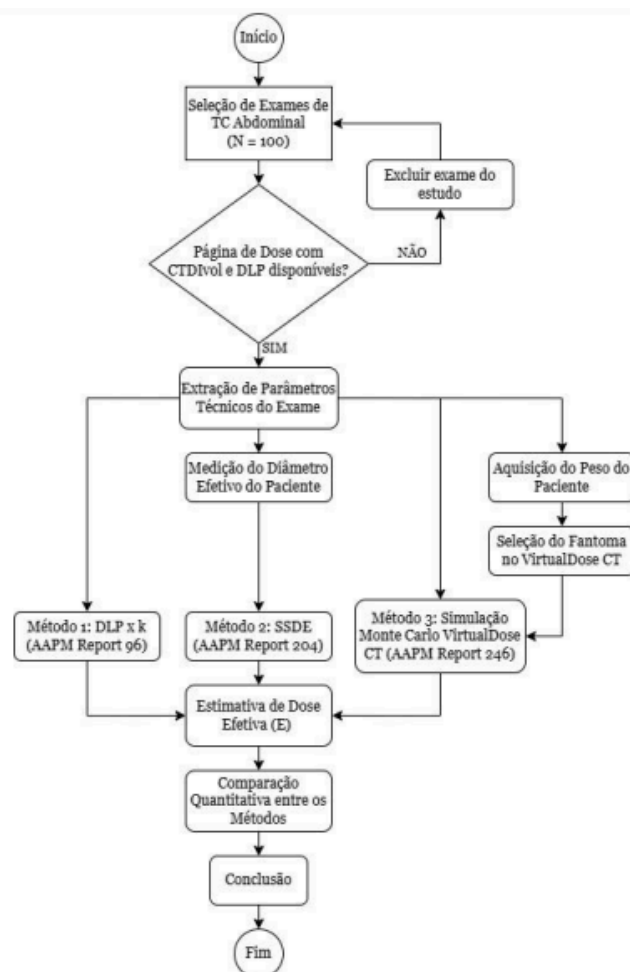
## Análise Comparativa de Modelos de Cálculo de Dose Efetiva em Exames Abdominais de Tomografia Computadorizada

Sakaguchi R.<sup>1</sup>, Marques T.<sup>2</sup>, Alvarez M.<sup>3</sup>, De Pina D.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Faculdade De Medicina De Botucatu, <sup>2</sup> Túlio Guilherme Soares Marques, <sup>3</sup> Consult Medicina Radiometria E Qualidade, <sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista

**Resumo:** A tomografia computadorizada (TC) representa cerca de 5% dos exames diagnósticos, mas é responsável por aproximadamente 70% da dose coletiva à população [1]. A estimativa da dose efetiva (E) é essencial para avaliação dos riscos associados à TC, sendo influenciada por fatores como região examinada, idade, sexo e tamanho do paciente [2]. Diversas metodologias são propostas para o cálculo de E, variando em complexidade e precisão: multiplicação do DLP por fator de conversão (k) [3], uso do SSDE com base no diâmetro efetivo [4], e simulações de Monte Carlo com software VirtualDoseCT [5,6]. Este estudo compara quantitativamente os três métodos aplicados a exames abdominais.

**Materiais e métodos:** Foram analisados exames de TC abdominal de 100 pacientes (15 a 65 anos) em um tomógrafo GE Optima 660 de um hospital de grande porte. A partir dos arquivos DICOM, extraíram-se peso, CTDIvol, pitch, colimação e comprimento da varredura. A dose efetiva (E) foi estimada por três métodos: (1) multiplicação do DLP pelo fator de conversão k (AAPM Report 96); (2) cálculo do SSDE com base no diâmetro efetivo (AAPM Report 204); e (3) simulações via Monte Carlo utilizando software VirtualDoseCT (AAPM Report 246). O delineamento metodológico está esquematizado na Figura 1. As estimativas foram comparadas quantitativamente entre si e com dados da literatura



**Resultados e discussões:** : Os três métodos apresentaram concordância geral nas estimativas de dose efetiva. O método baseado em  $DLP \times k$  mostrou maior simplicidade, mas menor precisão, especialmente em pacientes com maior IMC. O SSDE apresentou melhor alinhamento com as estimativas de Monte Carlo, que, por sua vez, forneceram os valores mais personalizados e realistas.

**Conclusões:** Embora o método (3) tenha demonstrado maior acurácia na determinação de E para exames de TC abdominal, os demais métodos apresentaram concordância relevante. A escolha da metodologia deve considerar os recursos disponíveis e o nível de confiança exigido, sendo responsabilidade da equipe de Física Médica definir a abordagem mais adequada à prática clínica.

**Agradecimento:** Os autores agradecem ao Ministério da Saúde pelo financiamento concedido, que viabilizou a realização deste trabalho.

**Referências:**

- [1] DOUGENI, E; FAULKNER, K; PANAYIOTAKIS, G. A review of patient dose and optimisation methods in CT. Eur J Radiol, 2011.
- [2] SMITH-BINDMAN, R. et al. International variation in radiation dose for CT. BMJ, 2019.
- [3] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. The measurement, reporting and management of radiation dose in CT. Report 96, 2008.
- [4] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. Size-specific dose estimates (SSDE) in CT examinations. Report 204, 2011.
- [5] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. Estimating patient organ dose with CT. Report 246, 2019.
- [6] DING, A. et al. VirtualDose: software for reporting organ doses from CT. Phys Med Biol, 2015.

## **In vivo measurements in pediatric computed tomography with TLD: A correlation between CTDIvol values**

Borges F.<sup>1</sup>, Guimarães A.<sup>2</sup>, De La Cerda C.<sup>2</sup>, Sacilotto C.<sup>3</sup>, Pianoschi T.<sup>4</sup>, Sánchez M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Ciencias Da Saude Deporto Alegre, <sup>2</sup> Alexsandro Guimarães, <sup>3</sup> Usp, <sup>4</sup> Ufcspa

**Resumo:** Computed Tomography (CT) accounts for 10% of global imaging exams but contributes to 62% of the population's radiation dose. Pediatric patients are more radiosensitive and face greater lifetime exposure risks. This study aims to optimize CT protocols by performing in vivo dosimetry in thoracic and head scans using thermoluminescent dosimeters (TLDs). Entrance surface dose (ESD) values were compared to CTDIvol from phantoms and scanner reports. Diagnostic Reference Levels (DRLs) are proposed to aid in pediatric dose optimization. DRLs, derived from CTDI and DLP, support better radiological protection. TLDs provide accurate skin dose measurements, reinforcing protocol assessment and ensuring safer practices in pediatric CT imaging.

**Materiais e métodos:** This study was conducted in 2023 at the Imaging Diagnostic Center of Dom Vicente Scherer Hospital (ISCOMPA). Two GE Healthcare CT scanners were used: the Optima CT540 and the Revolution EVO. Exposure parameters and dose reports were analyzed. After ethics approval (CAAE: 31119120.7.3001.5335), legal guardians of pediatric patients were invited to participate. Upon informed consent and assent, 21 non-contrast thoracic or cranial CT scans were performed (14M and 7F) patients aged 0–15 years. Six dosimeters were used for each type of examination, uniformly distributed over the patient's chest or head region. The entrance skin dose was determined by calculating the average of the TLD's reading.

**Resultados e discussões:** The research reveals a maximum variation between machine-indicated CTDI values of 5.7% for the Optima 540 model and 6.8% for the Revolution EVO model at a voltage of 120 kV. In head scans, a strong correlation ( $r = 0.83$ ) confirmed the method's validity and highlighted CTDIvol's limitations in pediatrics. In the chest, CTDIvol indicate measurements around 150% lower than measured by TLD's.

**Conclusões:** This study reinforces the importance of pediatric CT dosimetry and protocol optimization. TLDs revealed up to 13.2% variation from CTDIvol and confirmed safe practices with values up to 35% below UK/US DRLs. Strong correlations in head scans highlight the need to interpret CTDIvol cautiously and support continuous efforts to reduce pediatric exposure.

### **Referências:**

- [1] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. 2008.
- [2] AZORÍN, J. et al. Thermoluminescent Dosimetry of Critical Organs in CT Pediatric Patients. 2008.
- [3] BERNARDO, M. O. et al. Establishing national clinical diagnostic reference levels and achievable doses for CT examinations in Brazil: a prospective study. *European Journal of Radiology*, v. 169, 2023. Artigo 111191.
- [4] BOS, A. J. H. High sensitivity thermoluminescence dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, v. 184, n. 1–2, p. 3–28, 2001.
- [5] BOSMANS, H. et al. European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging. *Radiation Protection No. 185*, 2018.

## **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para cálculo dinâmico de blindagens em radioterapia segundo NCRP 151: aplicação à realidade brasileira**

Dos Santos D. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N/A

**Resumo:** A blindagem em radioterapia é crucial para a segurança de profissionais e do público, um desafio ampliado por técnicas modernas como IMRT e VMAT, que exigem cálculos de proteção mais rigorosos. As diretrizes do NCRP Report 151 são a base para esses cálculos, mas existe a necessidade de uma ferramenta que se adapte à diversidade de tecnologias e fluxos de pacientes nos serviços de radioterapia do Brasil. Este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma ferramenta computacional versátil, baseada no formalismo do NCRP 151 e outras recomendações internacionais (AAPM TG-108, IAEA), para otimizar e padronizar o dimensionamento de blindagens no contexto brasileiro.

**Materiais e métodos:** Foi desenvolvida uma ferramenta computacional que implementa as equações do NCRP 151 para o cálculo de barreiras primárias e secundárias. O algoritmo, programado em Python, considera como variáveis de entrada a carga de trabalho (W), fator de uso (U), fator de ocupação (T) e o limite de dose semanal (P). A ferramenta também incorpora os fatores de espalhamento, radiação de fuga do cabeçote e a contribuição de nêutrons para energias acima de 10 MV (IAEA). A validação foi realizada por comparação cruzada dos resultados com dois padrões: Os exemplos de referência do próprio relatório NCRP 151 e planilhas em Excel previamente validadas com dados de um serviço real

**Resultados e discussões:** A aplicação da ferramenta em cenários de cálculo, incluindo IMRT e VMAT, demonstrou alta precisão. Os resultados de espessura de barreira apresentaram desvio sistematicamente inferior a 2% em comparação com os métodos de validação. Isso comprova a robustez do algoritmo e sua eficácia na avaliação rápida e confiável de projetos, otimizando o tempo do físico médico e reduzindo incertezas.

**Conclusões:** O estudo valida uma abordagem computacional eficaz para o cálculo de blindagens. A ferramenta desenvolvida permite verificar instalações existentes e projetar novas barreiras com agilidade e precisão. A solução atende à diversidade tecnológica e operacional dos serviços brasileiros, representando um recurso valioso para otimizar o planejamento e reforçar a segurança radiológica no país.

**Agradecimento:** Agradeço ao Instituto de Radioterapia do Real Hospital Português por divulgar as informações na produção do trabalho. Também agradeço a UFPE pelo incentivo dos residentes na pesquisa.

### **Referências:**

- [1] Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities. Bethesda: NCRP, 2005. 359 p. (NCRP Report, n. 151).
- [2] Radiation shielding for medical imaging facilities. Report of AAPM Task Group 108. College Park: AAPM, 2023. 45 p.
- [3] Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. Vienna: IAEA, 2024. (IAEA Safety Standards Series, n. SSG-47).

## Desenvolvimento de um sistema dosimétrico com Alanina para altas doses

Silva K.<sup>1</sup>, Tobias C.<sup>1</sup>, Gonçalves J.<sup>2</sup>, Somessari S.<sup>2</sup>, Calvo W.<sup>2</sup>, Nicolucci P.<sup>3</sup>, Baffa O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Não Tem Razão Social, <sup>2</sup> Ipen-Cnen Sp, <sup>3</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Radiação ionizante pode ser utilizada nos processos voltados ao tratamento, esterilização e degradação de efluentes. Neste contexto, é essencial conhecer com precisão as características do feixe utilizado e a dose depositada no material exposto à radiação ionizante. Para isso, a dosimetria por ressonância paramagnética eletrônica (EPR) com dosímetros de Alanina se destaca devido às suas propriedades dosimétricas, como: resposta linear em ampla faixa de doses; procedimento de leitura não destrutivo; ausência de necessidade de tratamento da amostra antes da medição [1,2,3]. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema dosimétrico com pastilhas de Alanina para o controle da qualidade de feixe de elétrons para altas doses.

**Materiais e métodos:** O feixe é produzido por um acelerador de elétrons do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) com energias de 500, 600 e 700 keV. O pacote de simulação Monte Carlo Penelope foi utilizado para determinar a curva de dose em profundidade para os feixes. Um lote de 800 pastilhas de Alanina com politetrafluoretileno (PTFE) como material aglutinante foi produzido através de prensagem manual. As pastilhas, no formato cilíndrico, apresentaram uma massa média de 45 mg, com diâmetro de 4 mm e espessura de 2 mm. A calibração e testes do lote de pastilhas foram realizadas com 40 pastilhas, escolhidas de forma aleatória, em um irradiador de Cs-137.

**Resultados e discussões:** Os resultados da simulação indicaram que o feixe de elétrons de maior energia, 700 keV, deposita doses relativas iguais ou superiores a 100% em até 1,8 mm de profundidade na água. A partir da calibração do grupo de pastilhas, obteve-se uma sensibilidade de  $7,9 \cdot 10^{-3}$  u.a./Gy. A homogeneidade de resposta do lote aumentou com a dose aplicada, sendo de 98,8% para a dose de 100 Gy.

**Conclusões:** As pastilhas de Alanina produzidas utilizando PTFE como material aglutinante apresentaram características dosimétricas adequadas para a aplicação em altas doses, mostrando alta sensibilidade e homogeneidade de grupo. Deste modo, dosimetria EPR com alanina apresenta potencial para uso em controle da qualidade de feixes de elétrons de altas energias.

**Agradecimento:** Os autores agradecem Carlos Alberto Brunello e Lourenço Rocha pelo apoio técnico.

### Referências:

[1] Wieser, A., Regulla, D.F., 1989. ESR dosimetry in the “Gigarad” Range. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part A. Applied Radiation and Isotopes 40 (10–12), 911–913. [https://doi.org/10.1016/0883-2889\(89\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0883-2889(89)90016-6).

[2] Baffa, O., Kinoshita, A., 2014. Clinical applications of alanine/electron spin resonance dosimetry. Radiat. Environ. Biophys. 53 <https://doi.org/10.1007/s00411-013-0509-2>

[3] Oswaldo Baffa, Patrícia Nicolucci, Marcos Candeias, François Tromprier, Angela Kinoshita, Alanine/electron spin resonance dosimetry for environmental qualification of electric equipment in a nuclear power plant, Radiation Physics and Chemistry, Volume



# **RADIODIAGNÓSTICO**

## Trabalho Completo

Congresso Brasileiro de Física Médica 2025

# Desenvolvimento e Caracterização de Fantoma Pediátrico Multipropósito para Imagens de Ressonância Magnética e Tomografia Computadorizada

## Development and Characterization of a Multipurpose Pediatric Phantom for Magnetic Resonance and Computed Tomography Imaging

Daniela R.Surugi<sup>1,2</sup>, Azir R. B. Pires<sup>1,2</sup>, Paulo M.B.Daniel.<sup>1,2</sup>, Cristhiane Gonçalves<sup>2</sup>, João H.H.Silva<sup>1,2</sup>, Anna L.M. C. Malthez.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Complexo do Hospital das Clínicas, UFPR, Curitiba, PR

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR

### Resumo

Este estudo desenvolveu e caracterizou um fantoma pediátrico de cabeça, utilizando ágar-ágar e PLA, para aplicação em exames de ressonância magnética (RM) e tomografia computadorizada (TC). O objetivo foi simular tecidos cerebrais de crianças de 2 anos, para aplicação em otimização de protocolos de imagem garantindo maior precisão nos diagnósticos. Utilizou-se a impressão 3D para criar a estrutura do crânio e o ágar-ágar dopado com gadolínio para mimetizar as propriedades da substância branca e cinzenta em imagens de RM e TC. Diversas amostras de ágar-ágar em diferentes concentrações foram analisadas em equipamentos de RM e TC. Os resultados demonstraram correlação positiva entre a concentração de ágar-ágar e os valores de HU na TC, além de tempos de relaxamento T1 e T2 compatíveis com tecidos cerebrais reais. As amostras selecionadas foram usadas para preencher o modelo 3D, reproduzindo estruturas corticais cerebrais e diferenciando substância branca de cinzenta. O fantoma produzido apresentou boa resposta em RM nas sequências T1 BRAVO e T2 CUBE, simulando adequadamente os tecidos cerebrais. Na TC, os resultados foram mais próximos da substância cinzenta, indicando a necessidade de ajustes para a substância branca. O estudo concluiu que o fantoma pode ser usado para validação de algoritmos de imagem e otimização de protocolos pediátricos, sendo uma alternativa acessível e eficaz para testes de garantia de qualidade. Apesar das limitações, como desidratação do gel e durabilidade, o fantoma mostrou potencial para substituir estudos *in vivo* em crianças abaixo de 2 anos, contribuindo para avanços na imagem pediátrica. O processo de fabricação é simples, com materiais de baixo custo, e pode ser adaptado para diferentes configurações anatômicas.

**Palavras-chave:** Fantoma pediátrico; Ressonância magnética (RM); Tomografia computadorizada (TC); Ágar-ágar; Impressão 3D.

### Abstract

*This study developed and characterized a pediatric head phantom using agar-agar and PLA for application in magnetic resonance imaging (MRI) and computed tomography (CT) exams. The objective was to simulate brain tissues of 2-year-old children, optimizing imaging protocols to ensure greater diagnostic accuracy. 3D printing was used to create the skull structure, and agar-agar doped with gadolinium was utilized to mimic the properties of white and gray matter in MRI and CT. MRI and CT analyses were conducted to characterize the agar-agar samples at different concentrations. The results demonstrated a positive correlation between the concentration of agar-agar and the HU values in CT, as well as T1 and T2 relaxation times compatible with real brain tissues. The selected samples were used to fill the 3D model, reproducing cortical structures and differentiating white from gray matter. The produced phantom showed a good response in MRI in the T1 BRAVO and T2 CUBE sequences, adequately simulating brain tissues. In CT, the results were closer to gray matter, indicating the need for adjustments for white matter. The study concluded that the phantom can be used for validation of imaging algorithms and optimization of pediatric protocols, serving as an accessible and effective alternative for quality assurance testing. Despite limitations such as gel dehydration and mold risk, the phantom showed potential to replace *in vivo* studies in small children, contributing to advancements in pediatric imaging. The manufacturing process is simple, with low-cost materials, and can be adapted for different anatomical configurations.*

**Keywords:** Pediatric phantom; Magnetic resonance imaging (MRI); Computed tomography (CT); Agar-agar; 3D.

### 1. Introdução

O desenvolvimento de fantasmas pediátricos para exames de crânio em ressonância magnética (RM) e tomografia computadorizada (TC) é importante devido às características anatômicas e fisiológicas de tais pacientes, que demandam técnicas de imagem especiais para diagnósticos precisos e planejamento de tratamentos. Os exames em pacientes pediátricos trazem desafios únicos, como a necessidade de diminuir a exposição à radiação e, ao mesmo tempo, obter imagens de alta resolução para visualização de detalhes finos. Nesse cenário,

os fantasmas funcionam como ferramentas essenciais: ajudam a otimizar os protocolos de imagem, garantem a segurança dos pacientes e melhoram a precisão dos diagnósticos no cuidado infantil.

Em situações complexas, os fantasmas podem ser usados para avaliar novos protocolos de imagens de CT e RM e a precisão de tratamentos radioterápicos, por exemplo (1). A criação de fantasmas realistas também impulsionam o avanço de novas técnicas de imagem, como a ressonância de campo ultra-alto e tomografias sintéticas, que requerem calibração e

testes rigorosos para serem implementadas na prática clínica (2,3). Contudo, a grande variação anatômica das crianças nem sempre é bem representada nos fantasmas, levando a discrepâncias nas estimativas de dose de radiação para certos órgãos, com diferenças que podem chegar a 15-30% em comparação com modelos específicos do paciente (4).

A impressão 3D surge como uma solução promissora para os desafios em fantasmas pediátricos. É possível produzir fantasmas específicos a partir de dados de RM do próprio paciente, garantindo que se assemelhem a anatomia real e melhorem a precisão dos estudos (5). Além disso, os materiais de impressão 3D também podem ser escolhidos para corresponder à radiodensidade dos tecidos humanos, como ossos e tecidos moles, usando filamentos como o PLA (poliácido láctico); polímero termoplástico biodegradável, ou misturas com gesso, permitindo a criação de fantasmas com propriedades radiográficas realistas (6-8). A impressão 3D é também uma alternativa acessível e flexível, reduzindo custos e tempo de produção (7). Apesar de vantagens existem desafios, como garantir a fidelidade de valores de Hounsfield (HU - Hounsfield Unit) e evitar pequenas bolhas de ar, além da necessidade de calibração cuidadosa dos materiais e configurações de impressão (9,10).

Para simular especificamente a cabeça e o cérebro, materiais como ágar-ágar e PLA, em conjunto, são frequentemente empregados. A gelatina ágar-ágar mimetiza o tecido encefálico em RM, pois replica os tempos de relaxamento T1 e T2, fundamentais para diferenciar substância branca e cinzenta (11,12). Compostos de ágar-ágar são estáveis, compatíveis com RM, podem ter suas propriedades ajustadas e até incorporar metabólitos para simulação mais realista (3,13). Suas propriedades mecânicas, como enrijecimento sob pressão, e sua sensibilidade à temperatura também são de interesse na produção de fantasmas (14). O PLA é empregado para o crânio por suas propriedades mecânicas semelhantes ao osso humano, sendo ideal para impressão 3D de estruturas resistentes, economicamente é acessível, permite reprodução morfológica e possui contraste adequado em imagens de TC (15-17).

Considerando as especificidades dos pacientes pediátricos e a necessidade de procedimentos dedicados e precisos em TC e RM para tais pacientes, neste trabalho foi desenvolvido um fantoma pediátrico anatômico de cabeça, baseado em imagens de tomografia computadorizada (TC) de criança, baseado em PLA e ágar-ágar, para utilização em imagens e procedimentos em TC e RM.

## 2. Metodologia

Para caracterização do conjunto fantoma compreendido por géis ágar-ágar e fantoma de cabeça impresso, foram realizadas imagens de RM e TC com protocolos pediátricos implementados. As imagens de TC foram adquiridas em um tomógrafo

de fonte única de 16 canais (*Alexion Toshiba*), utilizando parâmetros de aquisição padronizados para crânio pediátrico (120 kVp, 400 mA). As imagens de RM do fantoma foram adquiridas em aparelho *GE Signa HDXT-28* de 1,5 T, utilizando seqüências ponderadas em T1 *Fast Spin Eco - Balanced Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement* (BRAVO) que possui alto contraste sendo importante para estudos anatômicos, e T2 *FAST- Clinical Utility of the Brain Examination* (CUBE) que possibilita a aquisição de dados isotrópicos em alta resolução possibilitando visualizar a sensibilidade da água nos tecidos sem volume de efeito parcial.

Os parâmetros de aquisição foram otimizados para obter alta resolução espacial e contraste adequado, com tempos de eco (TE) e tempos de repetição (TR) específicos. Nas imagens ponderadas em T1 (T1 BRAVO) a varredura usou como parâmetros TR = 6,5 ms (mínimo), TE = 2,5 ms, tempo de inversão TI = 600 ms, matriz de aquisição de 170 x 170 mm e NEX = 1, com espessura de corte de 1,08 mm. As imagens ponderadas em T2 foram adquiridas com TR = 2000 ms, TE 178 ms, matriz de aquisição de 220 x 220 mm, NEX = 1, com espessura de corte de 0,83 mm.

### 2.1. Preparo e caracterização dos géis de ágar-ágar por imagens

Inicialmente foi desenvolvida uma análise para compreender a correlação entre a concentração de ágar-ágar em uma matriz gelatinosa e os valores de HU medidos em TC; bem como os tempos de relaxamentos T1 (spin-retículo) e T2 (spin-spin) por RM. A análise foi estruturada para avaliar cada uma dessas correlações de maneira sequencial: (i) a relação entre concentração de composto de ágar-ágar e HU; (ii) a relação entre a concentração e o tempo de relaxamento T1; e (iii) a relação entre a concentração e o tempo de relaxamento T2.

Um sistema de materiais a base de ágar-ágar foi utilizado para simular tecidos moles em imagens de RM e TC devido a sua capacidade de solidificar a temperatura ambiente e seus efeitos mínimos nos tempos de relaxamento T1 e T2. Esse sistema foi baseado em uma solução a base de ágar-ágar (nº CAS:9002-18-0), água deionizada, gadopentato Gd-DTPA não iônico OMNISCAN na concentração de 0,5 mmol/ml fabricado por *Ge Healthcare Ireland Limited, Cor, Irlanda*, lote 1666083,3 e formol.

As amostras de géis foram preparadas em um recipiente de vidro, utilizando água deionizada (74,5 a 82,5%), ágar-ágar com concentrações variando de 1 a 9% em relação à massa total da amostra, e NaCl (16%). Homogeneizada a mistura, esta foi aquecida até que levantasse fervura e apresentasse aspecto translúcido e homogêneo (sem bolhas). Por último foi acrescentado o formol (aproximadamente 0,5%) para conservação das amostras. Todos os compostos foram misturados levemente e cobertos para limitar a taxa de evaporação e formação de bolhas. As soluções com diferentes concentrações foram distribuídas em 10 frascos, sendo que em 2

amostras foi repetido o experimento adicionando gadolínio (Gd), porém mantendo a concentração de ágar-ágar (Figura 1). A solução ficou em repouso para resfriar e alcançar o estado de gel.



**Figura 1.** Preparo das soluções. Fonte: autores.

Para validação, as dez amostras foram submetidas à TC para avaliar a radiodensidade na escala Hounsfield (HU). Subsequentemente, as amostras foram avaliadas na RM para caracterizar seu comportamento de relaxação e verificar sua adequação em mimetizar as propriedades do tecido cerebral.

Considerando que a concentração de ágar-ágar afeta diretamente a densidade física do gel resultante (18), levantou-se a hipótese de que variações nesta concentração alterariam as propriedades de atenuação de raios X e, por conseguinte, os valores de HU medidos. Deste modo, foi realizado o ajuste linear dos valores de HU em função da concentração de ágar-ágar.

Na primeira aquisição de imagens em RM das amostras 1-10 empregou-se a sequência T1 BRAVO TI = 600 ms e T2 CUBE. Na sequência, levantou-se a variação de T1 e T2 em função da concentração de ágar-ágar, avaliando as faixas de T1 e T2 de cada amostra, ou seja, a qual tipo de tecido cerebral cada amostra poderia ser associada.

Na segunda aquisição de imagens em RM foi utilizado a sequência T1 BRAVO. Para isto, variou-se os tempos de inversão (TI): 100, 300, 500, 750, 1150 e 2500 ms para avaliar os diferentes contrastes das amostras.

Para a terceira aquisição foram geradas imagens ponderadas em T2 (CUBE). Inicialmente foi utilizado um TE=178 ms (padrão do protocolo). Na segunda varredura TE foi variado (88, 101, 110, 119, e 140 ms) para caracterizar as amostras, assim como na segunda sequência T1 BRAVO.

Os tempos TI e TE foram estimados ajustando os dados adquiridos ao decaimento e recuperação do sinal. Para isto, parâmetros como ROI e voxel mantiveram-se constantes. Um único corte de leitura foi considerado pré-requisito para medições precisas *in vitro* de T1 e T2.

Após a análise das amostras realizada pelo software *Signa Works RM* (versão HD29.1) e através

da comparação dos dados com a literatura, as amostras 1 e 6 foram selecionadas. Estas amostras apresentaram tempos T2 de decaimento semelhantes aos tecidos encefálicos de uma criança de 2 anos. Nesta etapa, verificou-se a necessidade de dopar duas amostras para emular as curvas de T1. Para isso, adicionou-se 0,03 mM de Gd (massa branca) e 0,10 Mm Gd (massa cinzenta), para chegar aos tempos aproximados para T1 dos tecidos cerebrais.

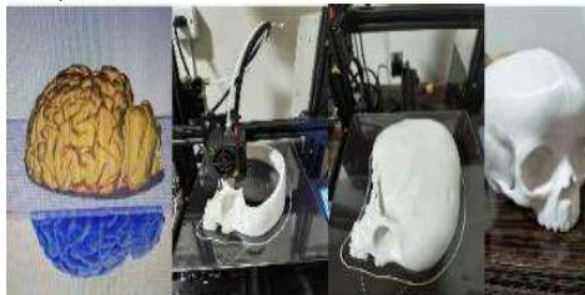
A partir destas análises, a parte interna do fantoma de cabeça pediátrico foi preenchida com as amostras 3 e 6, as que mimetizam os tecidos cerebrais de uma criança de 2 anos.

## 2.2 Construção 3D do fantoma anatômico

Moldes impressos em 3D foram utilizados para reproduzir os padrões morfológicos dos giros e sulcos cerebrais. Assim, o objetivo foi simular a aparência do tecido cerebral pediátrico em imagens de TC e sequências T1 BRAVO e T2 CUBE em RM.

Um modelo tridimensional em TC de cabeça pediátrica de domínio público, disponível no repositório *Thingiverse* (18) foi usado para impressão 3D com filamento de PLA. O processo de impressão foi realizado em uma impressora 3D *Creality Ender 3*, com parâmetros otimizados para espessura de camada de 0,1 mm e resolução espacial de 0,5 mm. O modelo 3D foi gerado a partir de arquivos DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) importados para o software *Meshmixer*, onde a malha da estrutura óssea foi suavizada e convertida para o formato STL (*stereolithography*).

O software *Orto Blender 4.2* foi empregado para converter a malha STL em um modelo sólido, compatível com a impressora 3D (Figura 2 - imagem à esquerda). A estrutura interna do fantoma foi projetada para reproduzir a anatomia craniana pediátrica (Figuras 2 e 3). A calota craniana foi impressa em duas partes hemisféricas, com conectores projetados para garantir a união precisa. As dimensões finais do fantoma foram de 230 mm para o diâmetro látero-lateral, 220 mm para o diâmetro ântero-posterior e 180 mm de altura (superior-inferior), com espessura média da calota de 3,0 mm.



**Figura 2.** Fantoma Antropomórfico 3D. Fonte: autores.

As amostras 3 e 6 foram empregadas para simular as substâncias branca e cinza respectivamente no fantoma antropomórfico. Na sequência, moldes em silicone foram desenvolvidos. Estes moldes serviram de matriz para morfologicamente criar os giros e

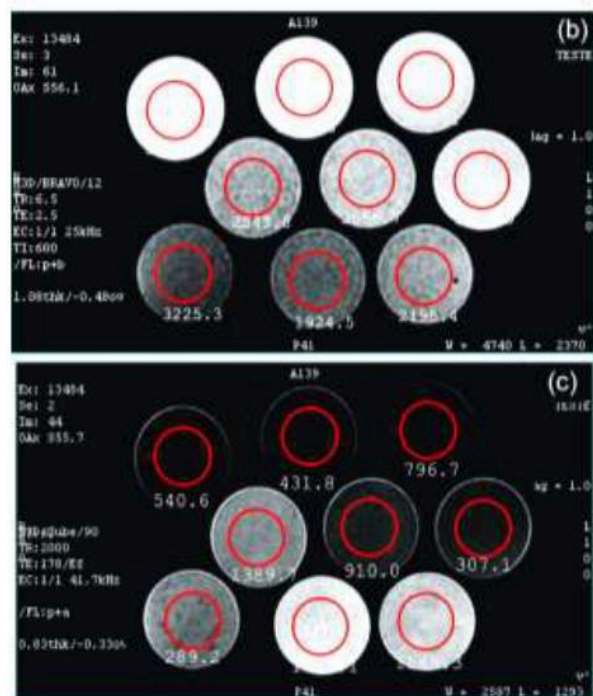
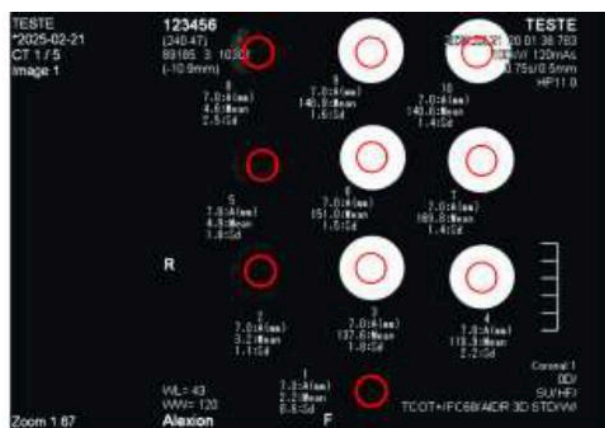
sulcos do encéfalo, além de delimitar as regiões de substâncias cinza e branca (Figura 3). Após os preenchimentos e modelagens internas, o composto de ágar-ágar aguardou 12 horas para o processo de gelificação total.



**Figura 3.** De cima para baixo: Hemisfério do fantoma com máscara de silicone em azul para moldar os giros, hemisférios do fantoma preenchido com parte gelatinosa solidificada e posicionamento dos fantasmas para imagens de RM. Fonte: autores.

### 3. Resultados

A Figura 4 demonstra os resultados dos valores de HU, T1 e T2 obtidos nas imagens de TC e RM das amostras de géis de ágar-ágar. Como resultado das análises das regiões de interesse (ROI) foram obtidos os valores de HU (TC) e os tempos médios de T1 (RM) e T2 (RM) para cada amostra (Tabela 1).



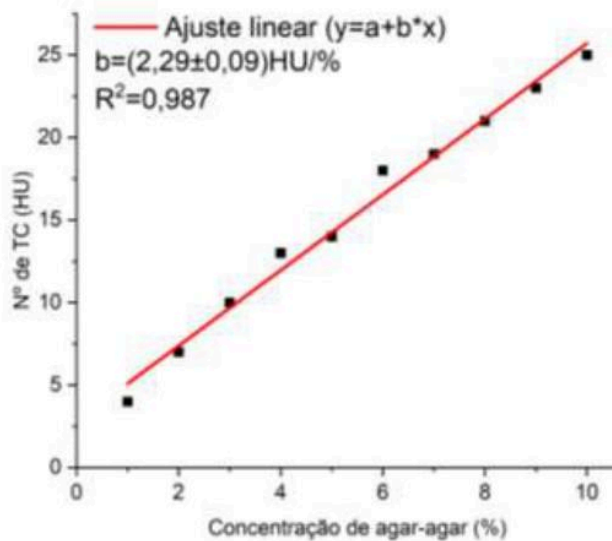
**Figura 4.** (a) Leitura de valores de HU das amostras de ágar-ágar. (b) Leitura dos valores médios de decaimento T1 na sequência T1 BRAVO para as amostras ágar-ágar em RM. (c) Leitura dos valores médios de decaimento T2 na sequência CUBE para as amostras de ágar-ágar em RM. Fonte: autores (2025)

**Tabela 1.** Valores de HU e tempos médios T1 e T2 obtidos para as amostras de géis com diferentes concentrações de ágar-ágar.

| Amostra | Concentração de ágar-ágar (%) | TC |         |         |
|---------|-------------------------------|----|---------|---------|
|         |                               | HU | T1 (ms) | T2 (ms) |
| 1       | 1                             | 4  | 1796.1  | 1258.1  |
| 2       | 2                             | 7  | 1924.5  | 1745.1  |
| 3       | 3                             | 10 | 2195.4  | 1549.3  |
| 4       | 4                             | 13 | 2543.8  | 1389.7  |
| 5       | 5                             | 15 | 2656.7  | 910.0   |
| 6       | 6                             | 18 | 2870.1  | 796.7   |
| 7       | 7                             | 19 | 3133.7  | 540.6   |
| 8       | 8                             | 21 | 3110.6  | 431.8   |
| 9       | 9                             | 23 | 3193.9  | 307.1   |
| 10      | 10                            | 25 | 3225.3  | 289.2   |

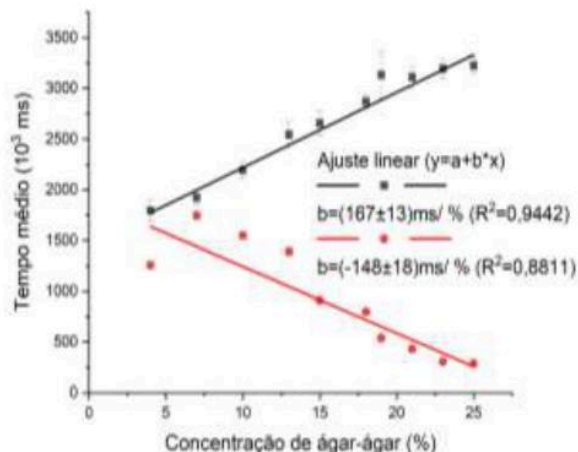
Fonte: Autores (2025)

A Figura 5 apresenta o ajuste linear dos valores de HU em função da concentração de ágar-ágar. Ao realizarmos a regressão linear, observamos que o modelo é altamente confiável para descrever a relação entre concentração de ágar-ágar e HU, com coeficiente de correlação próximo de 1 ( $R^2 = 0,987$ ). O coeficiente angular (b) indica que a cada aumento de 1% na concentração do gel de ágar-ágar, o HU aumenta em aproximadamente 2,29 unidades e a incerteza de  $\pm 0,09$  HU/% indica uma variação inferior a 4% (coeficiente de variação).



**Figura 5:** Ajuste linear do Nº de TC (HU) em função da concentração de ágar-ágar nas amostras.

A Figura 6 apresenta os ajustes lineares dos tempos T1 e T2 médios em função da concentração de ágar-ágar obtidos nas imagens de RM das amostras de géis. O coeficiente angular do ajuste de T1 em função da concentração de ágar-ágar ( $b = 167 \pm 13 \text{ ms}/\%$ ) e T2 ( $b = -148 \pm 18 \text{ ms}/\%$ ) demonstram uma relação direta entre concentração e os tempos de relaxamento.



**Figura 6:** Variação do Tempo Médio de Relaxamento T1 e T2 pela Concentração de Ágar-ágar. **Fonte:** Autores 2025

As amostras 9 e 10 foram dopadas com gadolínio, visando atingir os tempos de relaxamento seguindo o guia "Neonatal Gray Matter Equivalent" (12) para substância branca e cinzenta neonatal. Estas apresentaram tempos compatíveis ao serem analisadas na RM. A amostra 10 (6% ágar-ágar e 0,10 mM Gd-DTPA) apresentou os tempos de relaxamento T1 =  $(1062 \pm 7) \text{ ms}$  e T2 =  $(265 \pm 4) \text{ ms}$ , compatível com a substância cinzenta neonatal. A amostra 9 (3% de ágar-ágar e 0,03 mM Gd-DTPA) mimetizam os tempos de relaxamento da substância branca neonatal T1 =  $(1612 \pm 9) \text{ ms}$  e T2 =  $(454,1 \pm 4) \text{ ms}$ .

Os resultados obtidos na segunda varredura das amostras com a variação de TI para sequências BRAVO (T1) e a variação de TE para as sequências CUBE (T2) reforçam as expectativas que as amostras dopadas com gadolínio (9 e 10) melhor representam a massa branca e cinzenta (Tabela 2).

**Tabela 2.** Variação dos Decaimentos de T1 e T2 nas Sequências T1 BRAVO e T2 CUBE em função dos Valores de TI (Tempo de Inversão) e TE (Tempo de Eco), respectivamente.

|         |  | T1 (ms) |        |        |        |        |        |
|---------|--|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TI (ms) |  | 100     | 300    | 500    | 750    | 1150   | 2500   |
| 1       |  | 113,8   | 344,5  | 602,3  | 857,3  | 1333,4 | 2695,4 |
| 2       |  | 118,7   | 405,2  | 687,2  | 1022,7 | 1561,8 | 3080,3 |
| 3       |  | 150,6   | 414,9  | 712,3  | 1061,5 | 1592,4 | 3130,1 |
| 4       |  | 159,5   | 518,5  | 865,7  | 1226,5 | 1841,6 | 3375,1 |
| 5       |  | 191,1   | 519,0  | 871,5  | 1285,9 | 1907,8 | 3472,9 |
| 6       |  | 192,3   | 520,9  | 892,6  | 1331,5 | 2023,5 | 3663,9 |
| 7       |  | 192,9   | 577,9  | 955,0  | 1359,3 | 2049,6 | 3768,2 |
| 8       |  | 196,7   | 616,5  | 1035,9 | 1509,8 | 2268,4 | 4038,7 |
| 9       |  | 644,7   | 2143,9 | 3360,9 | 4371,8 | 5392,7 | 6153,0 |
| 10      |  | 1275,1  | 3524,4 | 4858,6 | 5632,0 | 6089,1 | 6196,2 |

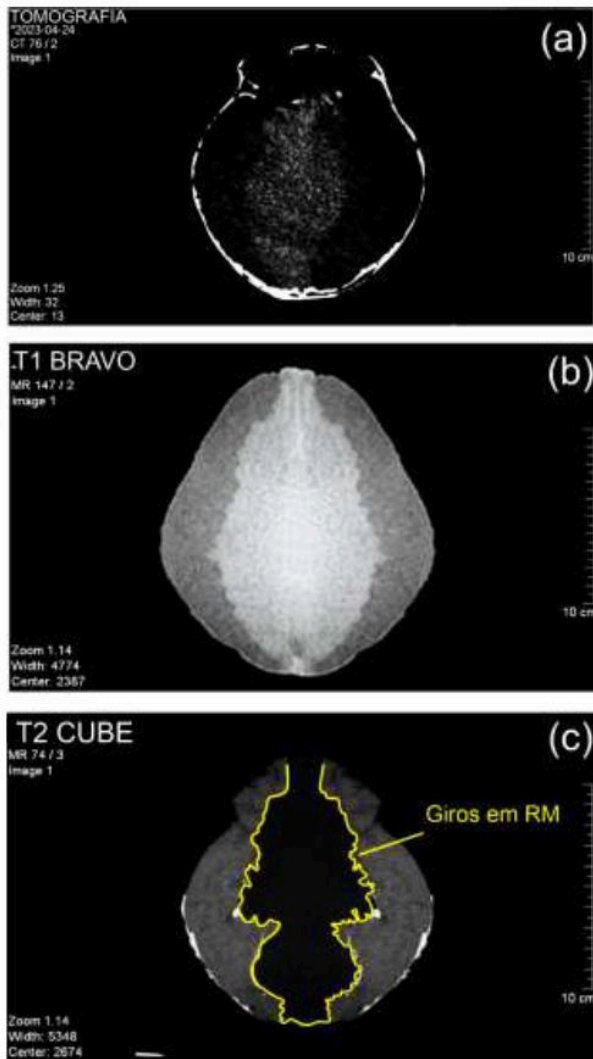
  

|         |  | T2 (ms) |         |        |        |        |        |
|---------|--|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| TE (ms) |  | 88      | 101     | 110    | 119    | 132    | 140    |
| 1       |  | 4408,9  | 4401,6  | 4415,9 | 4538,9 | 4335,1 | 4035,3 |
| 2       |  | 4091,2  | 4294,1  | 3973,0 | 3796,0 | 3586,0 | 3352,5 |
| 3       |  | 3609,5  | 3997,3  | 3642,8 | 3460,5 | 3375,8 | 3222,4 |
| 4       |  | 2988,3  | 2856,5  | 2614,4 | 2376,1 | 2110,6 | 2002,6 |
| 5       |  | 2838,1  | 3292,6  | 3108,9 | 2126,9 | 2008,2 | 2018,7 |
| 6       |  | 2290,9  | 1898,9  | 1813,8 | 1995,9 | 1657,6 | 1445,9 |
| 7       |  | 1947,3  | 2049,7  | 1872,8 | 1210,5 | 1039,6 | 975,9  |
| 8       |  | 1444,6  | 1313,06 | 1133,0 | 1017,2 | 851,1  | 720,1  |
| 9       |  | 4348,8  | 3782,7  | 3280,4 | 2968,7 | 2537,6 | 2371,6 |
| 10      |  | 6608,2  | 6070,2  | 5414,2 | 5168,5 | 4812,2 | 4353,9 |

**Fonte:** autores (2025)

Os resultados obtidos com a variação de TI comprovaram que as amostras 9 e 10 que foram dopadas responderam com um crescimento exponencial de T1 em função TI para caracterização da resposta do tecido em relaxamento T1, auxiliando a definição das amostras que melhor representam tecido de massa cinzenta e branca. E os resultados de variação de TE comprovaram que as amostras tiveram um decaimento exponencial para os TE que caracterizam a resposta do tecido em relaxamento T2 de forma a auxiliar a definição das amostras que melhor representam tecido de massa cinzenta e branca.

Com as amostras caracterizadas e o fantoma produzido, foram realizadas as imagens de TC e RM utilizando protocolos para pacientes pediátricos de 2 anos padrão do serviço (Figuras 7 e 8).



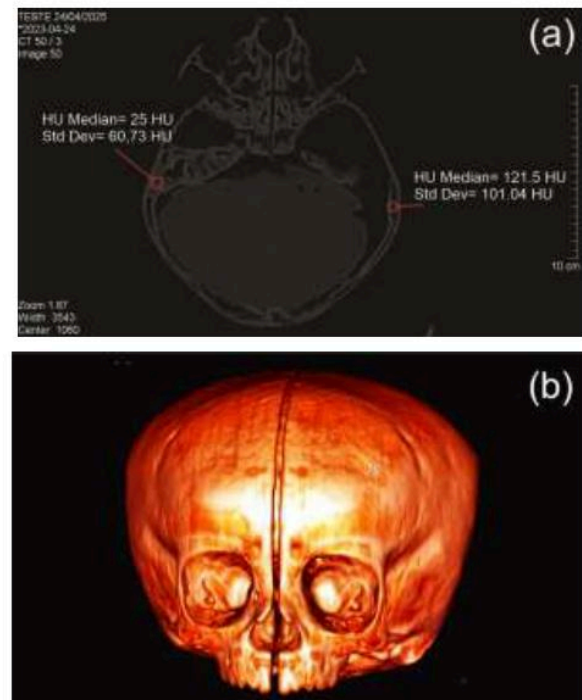
**Figura 7.** Corte axial em TC (a) e RM nas sequências T1 BRAVO (b) e T2 CUBE (c)

#### 4. Discussão

A curva de Unidades Hounsfield (HU) em função da concentração de ágar-ágar apresentou uma correlação positiva e crescente (Figura 5). Ao comparar estes resultados com a literatura, onde os parâmetros de HU para o encéfalo de uma criança situam-se tipicamente entre 20 a 35 HU para a massa branca e 30 a 45 HU para a massa cinzenta (19,20), nota-se que as amostras com maiores concentrações de ágar-ágar na Figura 5 atingiram valores de HU que se aproximam da faixa característica da massa cinzenta. Logo, a amostra com concentração de 10% de ágar-ágar está dentro do esperado para massa branca de uma criança de 2 anos. Entretanto, nenhuma amostra foi capaz de simular a massa cinzenta número máximo de TC foi de 25 HU.

Observou-se que o valor de HU de uma estrutura de PLA, como osso, não é fixo, mas varia significativamente com a densidade de preenchimento empregada na impressão 3D. Um PLA sólido (100% de preenchimento) pode apresentar valores de HU que se aproximam da faixa

de tecidos moles densos ou da parte menos densa do osso, como é o caso da calota de uma criança de 2 anos (entre 300-800 HU) (21). Na Figura 8, a ROI forneceu a leitura máxima de HU= 299, o que é uma leitura próxima ao osso não mineralizado, embora um pouco acima do esperado para o PLA puro (-81 a 143) (22,23). Isso pode ser justificado pela dificuldade de leitura devido a espessura da calota do fantoma e da possível contaminação com ar e desidratação do fantoma.



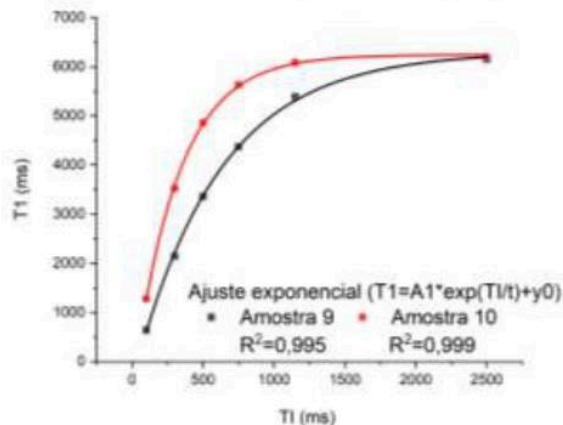
**Figura 8.** Análise de ROI para determinação de HU da base do crânio simulada em PLA em corte axial na TC (a) e reconstrução tomográfica em 3D (b).

Tempos de T1 típicos em tecidos biológicos sob intensidades de campo de 1,5 T variam significativamente, incluindo valores para líquido cefalorraquidiano de ~4000 ms, substância branca cerebral de ~800 ms, substância cinzenta cerebral de ~900 ms e gordura de ~250 ms (24). Em géis de ágar-ágar, o T1 dos prótons da água demonstra alta sensibilidade às interações entre as moléculas da água e o ágar-ágar. Alterações na concentração modificam a proporção entre “água livre” e moléculas mais fortemente associadas à matriz (“água ligada”), impactando a eficiência da troca de energia e, conseqüentemente, o T1 medido. O tempo de recuperação de inversão, apesar de mais lento, é mais preciso por não depender da aplicação de um pulso com fator de acomodação (25).

Neste contexto, as amostras (9 e 10) cujos tempos de T1 são apresentados na Figura 6, foram desenvolvidas com o objetivo de mimetizar os tecidos do encéfalo pediátrico. Experimentalmente, o tempo de repetição (TR) foi mantido em 6,5 ms para garantir a recuperação adequada do sinal de T1, especialmente para valores mais longos que demonstraram melhor recuperação nas amostras.

Em aquisições com tempo de inversão (TI) baixo, observou-se uma maior dificuldade em registrar a recuperação do T1 em amostras com maior conteúdo de líquido livre e menores densidades de ágar-ágar.

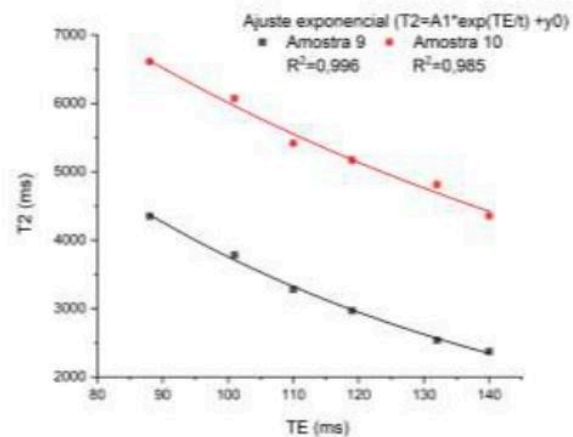
A Figura 9 apresenta a variação do tempo de relaxamento longitudinal (T1) das amostras 9 e 10 em função do tempo de inversão (TI) utilizado na sequência T1 BRAVO, as quais mimetizam a substância branca (amostra 9: 3% ágar-ágar + 0,03 mM Gd) e cinzenta (amostra 10: 6% ágar-ágar + 0,10 mM Gd) do cérebro pediátrico. Os tempos de T1 obtidos para a amostra 9 (T1 ≈ 1612 ms) demonstram valores que se aproximam significativamente dos tempos de relaxamento da substância branca que na literatura é reportado como uma variação de 800-1600 ms para crianças menores de 3 anos (12,24,26,27). A amostra 10, com maior concentração de gadolínio, forneceu valores de T1 (≈ 1062 ms) próximos aos valores de massa cinzenta pediátrica que, de acordo com a literatura, varia entre 900-800 ms para crianças menores de 3 anos (12,24,28). Considerando a precisão crítica para medições in vitro de T1 em sistemas clínicos de RM e a capacidade de mimetizar o T1 da substância branca neonatal, a sequência T1 BRAVO, com seus baixos ETL (*Echo Train Length* ou Comprimento de Trem de Eco) e TR, porém com TI alto, foi considerada a escolha ideal para estas aquisições.



**Figura 9.** Variação de T1 da amostra 9 e 10 em função dos tempos TI e ajuste de função exponencial evidenciando a recuperação de T1.

Os tempos de relaxamento T2 em tecidos biológicos sob intensidades de campos de 1,5 T variam conforme o tipo de tecido: líquido cefalorraquidiano (LCR) ~2000 ms, substância branca ~90 ms, substância cinzenta ~100 ms e gordura ~70 ms. Esses valores servem como referência para a mimetização dos tecidos (24,28,29). O tempo de relaxamento T2 em géis de ágar-ágar depende diretamente da mobilidade das moléculas de água na matriz do gel (30).

O gráfico apresentado na Figura 10 ilustra a relação entre TE e T2.



**Figura 10.** Variação de T2 das amostras 9 e 10 em função dos tempos TE e ajuste exponencial evidenciando o decaimento de T2.

Observamos que as amostras (9 e 10) exibem um decaimento exponencial do sinal com o aumento do TE, confirmando que as amostras replicam adequadamente o comportamento dos tecidos biológicos em RM. Na amostra 9 (substância branca simulada), os valores de T2 variam de ~ 4348 ms (TE = 88 ms) a ~ 2371 ms (TE = 140 ms) que são superiores aos reportados para tecidos neonatais (T2 ≈ 90 ms), sugerindo a necessidade de ajustes na concentração de gadolínio ou de ágar-ágar para obter maior precisão. A amostra 10 (substância cinzenta simulada) os valores de T2 variam entre ~6608 ms (TE = 88ms) e ~ 4353 ms (TE = 140 ms). Apesar de mais elevados que os valores reais (T2 ≈ 100 ms), a diferença relativa entre as amostras 9 e 10 segue a tendência esperada com T2 da substância branca, maior que da substância cinzenta, indicando que o modelo consegue diferenciar os dois tipos de tecido. Os valores de T2 significativamente acima dos tecidos biológicos se devem, possivelmente, à alta concentração de água nas formulações dos géis (12,28,31).

A dificuldade mencionada na literatura em mimetizar a substância branca do cérebro utilizando fantasmas simples de ágar-ágar reside principalmente na complexidade da substância branca com a presença abundante de mielina, uma bainha rica em lipídios que tem um impacto significativo nas propriedades de relaxamento (T1 e T2) da água (16).

Os resultados indicam que a concentração de ágar-ágar influencia diretamente os tempos de relaxamento de T1 e T2, entretanto essa influência é mais acentuada em T2 (28,32). Além disso, os tempos de relaxamento T1 e T2 dos fantasmas desenvolvidos em outros trabalhos são comparáveis aos valores observados em tecidos corporais, demonstrando a eficácia do material em simular propriedades biológicas em exames de ressonância magnética. Para o fantoma *EUROSPIN*, os valores de T2 variaram (374 ms a 397 ms) para substância branca e de (214 ms a 227) ms para substância cinzenta e Para T1 1134 ms para substância branca e 1654 (±0,5) ms para substância cinzenta (12).

Neste fantoma, os valores estimados de T2 variaram de um valor mínimo de 217.8 ms ( $\pm 0,3$ ) ms para substância branca e 378.4 ms para substância cinzenta. Os resultados da pesquisa também indicaram que o ágar-ágar quando dopado com gadolínio apresenta uma resposta aprimorada em relação aos tempos de relaxamento T1. Os tempos de T1 obtidos foram 1125,6 ms para a substância branca e 1266,3 ms para substância cinzenta, demonstrando compatibilidade com os padrões esperados. Os dados foram validados por TC, onde os valores de HU da substância branca variaram de 25-30 e da substância cinzenta de 35-40 unidades. Além disso, as melhores respostas foram alcançadas ao replicar o experimento com uma quantidade maior de material para completar o protótipo 3D.

Embora sejam necessários ajustes na formulação do gel para a substância branca, as imagens apresentadas nas Figuras 7 e 8 destacam que o fantoma pode ser utilizado para simulações e estudos em TC e RM, já que anatomicamente todas as estruturas simuladas (tecido ósseo e massas branca e cinzenta, bem como giros) puderam ser diferenciados nas duas modalidades.

## 5. Conclusões

O fantoma produzido no estudo atual simulou com eficácia a aparência e a forma dos tecidos do encéfalo pediátrico, além de reproduzir as propriedades de intensidade de sinal da massa branca e da massa cinzenta em imagens de RM ponderadas em T1 e T2, bem como de TC, diferenciando os tecidos simulados em ambas as imagens. Embora sejam necessários pequenos ajustes na concentração de ágar-ágar para mimetizar com precisão a substância branca em RM, o fantoma pode ser usado como referência na validação de algoritmos de varredura em RM. Já na TC, as substâncias branca e cinzenta apresentaram valores de HU compatíveis com o esperado, podendo ser melhorada a precisão, no caso da substância cinzenta, aumentando a concentração de ágar-ágar. A calota craniana impressa em PLA também apresentou valores de HU próximos ao esperado para ossos não mineralizados de crianças abaixo de 2 anos, confirmando sua utilidade na simulação de estruturas ósseas em TC.

Os próximos passos são ajustar as composições para melhorar a exatidão dos valores de HU em TC e T1 e T2 em RM e avaliar a durabilidade do fantoma a longo prazo. Já que a vedação pode afetar a desidratação do gel de ágar-ágar e alterar o contraste. Além disso, o preparo em um ambiente estéril e produtos químicos antibacterianos ou conservantes como formol, utilizado no nosso fantoma, influenciam a durabilidade.

Acreditamos que a fabricação deste fantoma é de particular importância e tem potencial aplicação para ser utilizado como uma ferramenta na otimização de sequências neonatais a crianças de até dois anos, para a realização rotineira de testes de garantia de qualidade, podendo substituir *estudos in vivo* de

longa duração, e que exigem sedação em pacientes nessa faixa etária.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Complexo Hospital das Clínicas da UFPR, Fundação Araucária e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica da UTFPR pelo suporte ao trabalho.

## Referências

1. Torfeh T, Hammoud R, Perkins G, McGarry M, Aouadi S, Celik A, et al. Characterization of 3D geometric distortion of magnetic resonance imaging scanners commissioned for radiation therapy planning. *Magn Reson Imaging* [Internet]. 2016 Jun;34(5):645–53. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0730725X16000023>
2. Orr TN, Palyi I, Winter J, Campbell G, Thompson RT, Gelman N. Development of a Composite Material Phantom Mimicking the Magnetic Resonance Parameters of the Neonatal Brain at 3.0 Tesla. *Invest Radiol* [Internet]. 2007 Nov;42(11):739–46. Available from: <http://journals.lww.com/00004424-200711000-00003>
3. Jona G, Furman-Haran E, Schmidt R. Realistic head-shaped phantom with brain-mimicking metabolites for 7 T spectroscopy and spectroscopic imaging. *NMR Biomed*. 2021 Jan 4;34(1).
4. Marshall EL, Borrego D, Tran T, Fudge JC, Bolch WE. Evaluation of the UF/NCI hybrid computational phantoms for use in organ dosimetry of pediatric patients undergoing fluoroscopically guided cardiac procedures. *Phys Med Biol* [Internet]. 2018 Mar 1;63(5):055006. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6560/aaad1d>
5. Grillo FW, Souza VH, Matsuda RH, Rondinoni C, Pavan TZ, Baffa O, et al. Patient-specific neurosurgical phantom: assessment of visual quality, accuracy, and scaling effects. *3D Print Med* [Internet]. 2018 Dec 13;4(1):3. Available from: <https://threedmedprint.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41205-018-0025-8>
6. Ma Z, Yan F, Shan Y, Wang Y, Wang H. A Computational Framework for Automated Puncture Trajectory Planning in Hemorrhagic Stroke Surgery. *Brain Behav* [Internet]. 2025 Apr 21;15(4). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/brb3.70480>
7. Kim SY, Park JW, Park J, Yea JW, Oh SA. Fabrication of 3D printed head phantom using plaster mixed with polylactic acid powder for patient-specific QA in intensity-modulated radiotherapy. *Sci Rep* [Internet]. 2022 Oct 19;12(1):17500. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-22520-6>
8. Altermatt A, Santini F, Deligianni X, Magon S, Sprenger T, Kappos L, et al. Design and construction of an innovative brain phantom prototype for MRI. *Magn Reson Med* [Internet]. 2019;81(2):1165–71. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mrm.27464>
9. Kunert P, Trinkl S, Giussani A, Reichert D, Brix G. Tissue equivalence of 3D printing materials with respect to attenuation and absorption of X-rays used for diagnostic and interventional imaging. *Med Phys* [Internet]. 2022 Dec 8;49(12):7766–78. Available from: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mp.15987>
10. Bach M, Aberte C, Depeursinge A, Jimenez-del-Toro O, Schaefer R, Flouris K, et al. 3D-printed iodine-ink CT phantom for radiomics feature extraction - advantages and challenges. *Med Phys* [Internet]. 2023 Sep;50(9):5682–97. Available from: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mp.16373>
11. Kilian D, Kilian W, Troia A, Nguyen TD, Ittermann B, Zilberti L, et al. 3D Extrusion Printing of Biphasic Anthropomorphic Brain Phantoms Mimicking MR Relaxation Times Based on Alginate-Agarose-Carrageenan Blends. *ACS Appl Mater Interfaces* [Internet]. 2022 Nov 2 [cited 2025 Feb 19];14(43):48397–415. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36270624/>

12. Kozana A, Boursianis T, Kalaitzakis G, Raissaki M, Maris TG. Neonatal brain: Fabrication of a tissue-mimicking phantom and optimization of clinical T1w and T2w MRI sequences at 1.5 T. *Physica Medica*. 2018 Nov 1;55:88–97.
13. Antoniou A, Georgiou L, Christodoulou T, Panayiotou N, Ioannides C, Zamboglou N, et al. MR relaxation times of agar-based tissue-mimicking phantoms. *J Appl Clin Med Phys* [Internet]. 2022 May 1 [cited 2025 Feb 19];23(5). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35415875/>
14. Bertula K, Martikainen L, Munne P, Hietala S, Klefström J, Ikkala O, et al. Strain-Stiffening of Agarose Gels. *ACS Macro Lett*. 2019 Jun 18;8(6):670–5.
15. Kim SY, Park JW, Park J, Yea JW, Oh SA. Fabrication of 3D printed head phantom using plaster mixed with polylactic acid powder for patient-specific QA in intensity-modulated radiotherapy. *Sci Rep*. 2022 Oct 19;12(1):17500.
16. Gallas RR, Hünemohr N, Runz A, Niebuhr NI, Jäkel O, Greilich S. An anthropomorphic multimodality (CT/MRI) head phantom prototype for end-to-end tests in ion radiotherapy. *Z Med Phys* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2025 Feb 19];25(4):391–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26189015/>
17. DeStefano V, Khan S, Tabada A. Applications of PLA in modern medicine. *Engineered Regeneration* [Internet]. 2020;1:76–87. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666138120300098>
18. Zhong X, Zhou P, Zhao Y, Liu W, Zhang X. A novel tissue-mimicking phantom for US/CT/MR-guided tumor puncture and thermal ablation. *International Journal of Hyperthermia*. 2022 Dec 31;39(1):557–63.
19. Altermatt A, Santini F, Deligianni X, Magon S, Sprenger T, Kappos L, et al. Design and construction of an innovative brain phantom prototype for MRI. *Magn Reson Med* [Internet]. 2019 Feb 17;81(2):1165–71. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mrm.27464>
20. Khan AF, Drozd JJ, Moreland RK, Ta RM, Borrie MJ, Bartha R. A novel MRI-compatible brain ventricle phantom for validation of segmentation and volumetry methods. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2012 Aug;36(2):476–82.
21. Nagata K, Glassman SD, Dimar JR, Cabell A, Brown M, Daniels C, et al. Comparison of Bone Mineral Density in Children and Adolescents on CT Versus DEXA Scan. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2024 Oct 1;49(19):E322–6.
22. Okkalidis N, Marinakis G. Technical Note: Accurate replication of soft and bone tissues with 3D printing. *Med Phys*. 2020 May 10;47(5):2206–11.
23. Ozsoykal I, Yurt A. Introduction of a Novel Technique in Density-Adjusted 3D Printing for the Manufacture of Soft-Tissue-Equivalent Radiological Phantoms. *Applied Sciences*. 2024 Jan 6;14(2):509.
24. AZHAR N et al. Características T1 e T2 do Fantasma de Gel de Agarose com diferentes concentrações de óxido de gadolínio como modificador de relaxamento. *Física e Tecnologia em Medicina*. 2020 Aug;1:27–37.
25. Yoshida A, Kato H, Kuroda M, Hanamoto K, Yoshimura K, Shibuya K, et al. Development of a phantom compatible for MRI and hyperthermia using carrageenan gel—relationship between  $T_1$  and  $T_2$  values and NaCl concentration. *International Journal of Hyperthermia*. 2004 Dec 9;20(8):803–14.
26. Bottomley PA. The trouble with spectroscopy papers. *Radiology* [Internet]. 1991 Nov;181(2):344–50. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiology.181.2.1924769>
27. Antoniou A, Damianou C. MR relaxation properties of tissue-mimicking phantoms. *Ultrasonics*. 2022;119.
28. Antoniou A, Damianou C. MR relaxation properties of tissue-mimicking phantoms. *Ultrasonics*. 2022 Feb 1;119.
29. Bottomley PA. RF Magnetic Field Penetration, Phase Shift and Power Dissipation in Biological Tissue: Implications for NMR. *Phys Med Biol*. 1978;23.4:630–643.
30. Mitchell MD, Harold L, Axel L. Dependence of T1 and T2 on high field strengths in doped agarose gels; facilitating selection of composition for specific T1/T2 at relevant field. *Magn Reson Imaging*. 1986;4:263–6.
31. Forte AE, Galvan S, Manieri F, Rodriguez y Baena F, Dini D. A composite hydrogel for brain tissue phantoms. *Mater Des*. 2016 Dec 15;112:227–38.
32. Altermatt A, Santini F, Deligianni X, Magon S, Sprenger T, Kappos L, et al. Design and construction of an innovative brain

phantom prototype for MRI. *Magn Reson Med* [Internet]. 2019 Feb 17;81(2):1165–71. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mrm.27464>

### Contato:

Nome do Autor Correspondente: Daniela Ribeiro Surugi e Azir Regina Barreto Pires

Afiliação Complexo do Hospital das Clínicas, UFPR, Curitiba, PR e Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR

Endereço completo para correspondência Rua General Carneiro, 181 Alto da Glória, Curitiba - PR, 80060-900.

E-mail [daniela.surugi@hc.ufpr.br](mailto:daniela.surugi@hc.ufpr.br),

[azir.pires@hc.ufpr.br](mailto:azir.pires@hc.ufpr.br)

## Phantom cerebral para avaliar o desempenho de sistema de imagem por ressonância magnética

Da Silva H.<sup>1</sup>, Viera L.<sup>2</sup>, De Assunção M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hyalen Gomes Da Silva, <sup>2</sup> Universidade Federal De Goiás, <sup>3</sup> Unifesp

**Resumo:** O desenvolvimento de phantoms cerebrais simula o comportamento dos tecidos cerebrais submetidos a um campo magnético, sendo essencial não apenas para o controle de qualidade de equipamentos biomédicos, mas também para o avanço de novas técnicas de imagens médicas. Neste estudo, propomos avaliar o comportamento dos tempos de relaxação para concentrações específicas de Sulfato de Cobre II e agarose, duas substâncias que modificam T1 e T2, com propriedades magnéticas semelhantes às do tecido cerebral, visando sua aplicação em um sistema de ressonância magnética de 1,5 Tesla.

**Materiais e métodos:** As amostras foram preparadas com agarose em pó como modificador T2, sulfato de cobre II como modificador T1, formaldeído como conservante e água deionizada. Os tempos de relaxação foram ajustados variando-se a concentração dos compostos para simular propriedades magnéticas específicas. A solução foi distribuída em tubos de ensaio identificados. Após imersão em solução salina e equilíbrio térmico com o ambiente, as imagens foram adquiridas em um equipamento de ressonância magnética de 1,5 Tesla, usando o método spin-eco.

**Resultados e discussões:** A partir das variações das intensidades médias dos sinais em diferentes valores de TR, obteve-se o comportamento das curvas de interesse. As análises mostraram que o  $\text{CuSO}_4$  é eficaz na redução de T1, com efeito mínimo em T2, permitindo ajustar tempos entre 320 e 1306 ms. A agarose, além de estruturar os phantoms, influenciou T2. A combinação adequada dos compostos permite simular tecidos cerebrais.

**Conclusões:** Os resultados confirmam que a variação nas concentrações de  $\text{CuSO}_4$  e agarose permite controlar os tempos de relaxação T1 e T2, possibilitando a criação de phantoms cerebrais realistas. Essa abordagem é promissora para aprimorar a calibração de equipamentos e protocolos em exames de ressonância magnética.

### Referências:

- [1] CRASTO, N.; KIRUBARAJAN, A.; SUSSMAN, D. Anthropomorphic brain phantoms for use in MRI systems: a systematic review. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- [2] MITCHELL, M. D.; KUNDEL, H. L.; AXEL, L.; JOSEPH, P. M. Agarose as a tissue equivalent phantom material for NMR imaging. *Magnetic Resonance Imaging*, v. 4, n. 3, p. 263–266, 1986. DOI: 10.1016/0730-725x(86)91068-4.
3. MAZZOLA, A. A. Ressonância

## Eficiência Relativa de Sistemas de Mamografia: Uma Abordagem com CNR e FOM Normalizadas

Dias T.<sup>1</sup>, Cabete H.<sup>2</sup>, Capeleti F.<sup>2</sup>, Goto R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Unifesp, <sup>2</sup> Gmp, <sup>3</sup> Rafael Eidi Goto

**Resumo:** A mamografia é essencial no rastreamento do câncer de mama, e a qualidade da imagem influencia diretamente a detecção precoce de lesões. A figura de mérito (FOM), que relaciona a razão contraste-ruído (CNR) e a dose glandular média (DGM), é amplamente utilizada para avaliação e otimização de sistemas mamográficos. Contudo, seu uso isolado na comparação entre diferentes equipamentos pode ser limitado por variações técnicas. Este trabalho propõe uma ferramenta baseada na CNR normalizada por um valor mínimo de referência, combinada à DGM, para gerar uma figura de mérito normalizada (FOM N), permitindo uma comparação mais objetiva entre sistemas de mamografia digital.

**Materiais e métodos:** Foram avaliados sistemas de mamografia digital em uso clínico, com dados obtidos após testes de controle de qualidade segundo normas nacionais e recomendações internacionais. As imagens foram adquiridas com PMMA e 0,2 mm de alumínio, simulando espessuras de 20 mm a 70 mm. A CNR foi medida em áreas homogêneas, e a DGM foi calculada conforme método descrito no EUREF (2018). Para normalização, a CNR medida foi dividida pelo valor mínimo de referência para cada espessura. A FOM-N foi então calculada como o quadrado da CNR normalizada dividido pela dose glandular média.

**Resultados e discussões:** A FOM-N revelou diferenças de eficiência entre os sistemas. O Hologic teve os maiores valores mesmo em mamas espessas. O Mammomat mostrou equilíbrio entre contraste e dose. Já o Senographe, apesar da FOM alta, teve FOM-N menor, indicando que o desempenho era baseado em CNR absoluta, não em eficiência clínica otimizada.

**Conclusões:** A FOM normalizada mostrou-se promissora para a comparação de desempenho entre diferentes sistemas de mamografia, pois reflete a eficiência clínica relativa de forma objetiva. A FOM-N pode ser aplicada como ferramenta de apoio em decisões de aquisição, otimização de protocolos e avaliação da qualidade em mamografia digital.

**Agradecimento:** Os autores agradecem às agências de fomento CNPq (Bolsa 131466/2023-2, Projetos nº 305142/2021-6, 407493/2021-2, 131466/2023-2, 307008/2022-3) e FAPESP (Projeto nº 2018/05982-0).

### Referências:

- [1] BUSHBERG, Jerrold T. et al. The essential physics of medical imaging. 4. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2020.
- [2] EUROPEAN REFERENCE ORGANISATION FOR QUALITY ASSURED BREAST SCREENING AND DIAGNOSTIC SERVICES – EUREF. Protocol for the quality control of the physical and technical aspects of digital breast tomosynthesis systems. Brussels, 2018. Disponível em: <https://www.euref.org>. Acesso em: 12 maio 2025.
- [3] CHELLIAH, R. R. et al. A critical comparison of three full field digital mammography systems using figure of merit. Medical Journal of Malaysia, [S.l.], v. 65, n. 2, p. 112–115, 2010. Disponível em: [https://www.e-mjm.org/2010/v65n2/Full\\_Field\\_Digital\\_Mammography.pdf](https://www.e-mjm.org/2010/v65n2/Full_Field_Digital_Mammography.pdf). Acesso em: 12 maio 2025.

## SIMULAÇÃO DE IMAGENS DE ESPALHAMENTO DE RAIOS X PARA AVALIAÇÃO DA DIFERENCIAÇÃO TECIDUAL E DO BORRAMENTO ESPACIAL

Borges C.<sup>1</sup>, Tomazi B.<sup>1</sup>, Poletti M. E.<sup>2</sup>  
<sup>1-2</sup> Df – FFCLRP (USP)

**Resumo:** A identificação precisa de diferentes tipos de tecidos biológicos é fundamental para o diagnóstico precoce de doenças, como o câncer de mama. Técnicas de imagens radiográficas baseadas no espalhamento de raios X vêm demonstrando potencial nesse contexto, por fornecerem contraste relacionado à microestrutura dos tecidos [1]. No entanto, a qualidade das imagens pode ser comprometida pelo borramento espacial, decorrente de fatores geométricos (tamanho da fonte (Y), abertura do colimador (F) e espessura da amostra (T)) e físicos (espectro de raios X) do sistema [2]. Neste trabalho, implementou-se um algoritmo computacional para simular essas imagens, visando avaliar como esses parâmetros influenciam o borramento e a capacidade da técnica quanto à diferenciação tecidual.

**Materiais e métodos:** Foi desenvolvido um algoritmo computacional baseado em um modelo tridimensional determinístico [3], validado por meio da comparação com dados disponíveis na literatura [4]. Em uma primeira etapa, simulou-se o espalhamento em uma amostra homogênea de PMMA, sob condições experimentais representativas [5], com o objetivo de quantificar a contribuição individual dos parâmetros físicos e geométricos para o borramento espacial. Em seguida, foram consideradas amostras de tecidos adiposo e glandular. As imagens simuladas, obtidas sob condições ideais e representativas [5], foram comparadas a partir de seus perfis radiais para avaliar a possibilidade de distinção entre os tecidos.

**Resultados e discussões:** O estudo com PMMA indicou que a largura do espectro de raios X ( $\Delta E$ ) e F contribuíram com mais de 75% do borramento espacial, enquanto T e Y representaram 14% e 7%. Nas simulações com tecidos biológicos, os perfis radiais apresentaram diferenças nítidas sob condições ideais. Sob condições representativas, entretanto, ocorreu a sobreposição dos perfis, dificultando a distinção entre os tecidos.

**Conclusões:** O algoritmo demonstrou-se eficiente na simulação de imagens por espalhamento de raios X, permitindo avaliar o impacto do borramento espacial e a capacidade de distinguir tecidos. Os resultados reforçam a importância da otimização dos parâmetros geométricos e espectrais para ampliar o contraste e a aplicabilidade diagnóstica da técnica.

### Referências:

- [1] Denisov S. et al., *Cancers*, 16(14), 2024, 2499.
- [2] Beath S.R., Cunningham I.A., *Medical Physics*, 36(5), 2009, 1839-1847.
- [3] Yao M. et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 941, 2019, 162328.
- [4] Paternò G. et al., *Phys Med Biol.*, 65(24), 2020, 245002.
- [5] Westmore M. S., Fenster A., Cunningham I.A. *Medical Physics*, 23(5), 723–733.

## Avaliação da influência dos parâmetros de seleção e do observador em métricas de controle de qualidade em sistemas de Ultrassonografia (US)

Hernandes J.<sup>1</sup>, Costa P.<sup>2</sup>, Nersissian D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> -, <sup>2</sup> Instituto De Física Da Usp, <sup>3</sup> Instituto De Física - Universidade De São Paulo

**Resumo:** Testes de controle de qualidade são uma parte essencial de um programa de garantia da qualidade, pois permitem identificar problemas que afetem a qualidade da imagem antes que isso impacte nos exames dos pacientes. Em relação a equipamentos de ultrassonografia, um dos principais desafios na avaliação de métricas de controle de qualidade está no fato das medições serem muito dependentes dos parâmetros selecionados e do observador. Uma das medições influenciadas por isso é a profundidade máxima de penetração (DOP), que indica a sensibilidade do transdutor. Buscando avaliar essas dependências, esse estudo realizou medições de DOP, visando propor métodos de avaliação mais quantitativos, que buscam diminuir a influência do observador.

**Materiais e métodos:** Utilizou-se um phantom (Doppler 403™, Sun Nuclear Corp.), um ultrassom (CANON, Aplio A) com transdutor linear (PLT-1005BT) e 3 métodos de avaliação. Imagens da região uniforme do phantom e do ar foram obtidas com ganho de 60 a 100 dB. No 1º método, observadores indicaram a profundidade onde sinal e ruído não eram distinguíveis. Nos demais, curvas de sinal, ruído e SNR foram construídas no ImageJ. A IEC [1] define a DOP como a profundidade onde  $Sinal = 1,4 \times Ruído$  (mét.2). O mét.3 ajusta uma curva logística à SNR que é derivada para obter a sensibilidade máxima e encontrar a profundidade no limiar perceptual, baseado na sensibilidade visual humana [2]. Assim, determinou-se os valores de DOP.

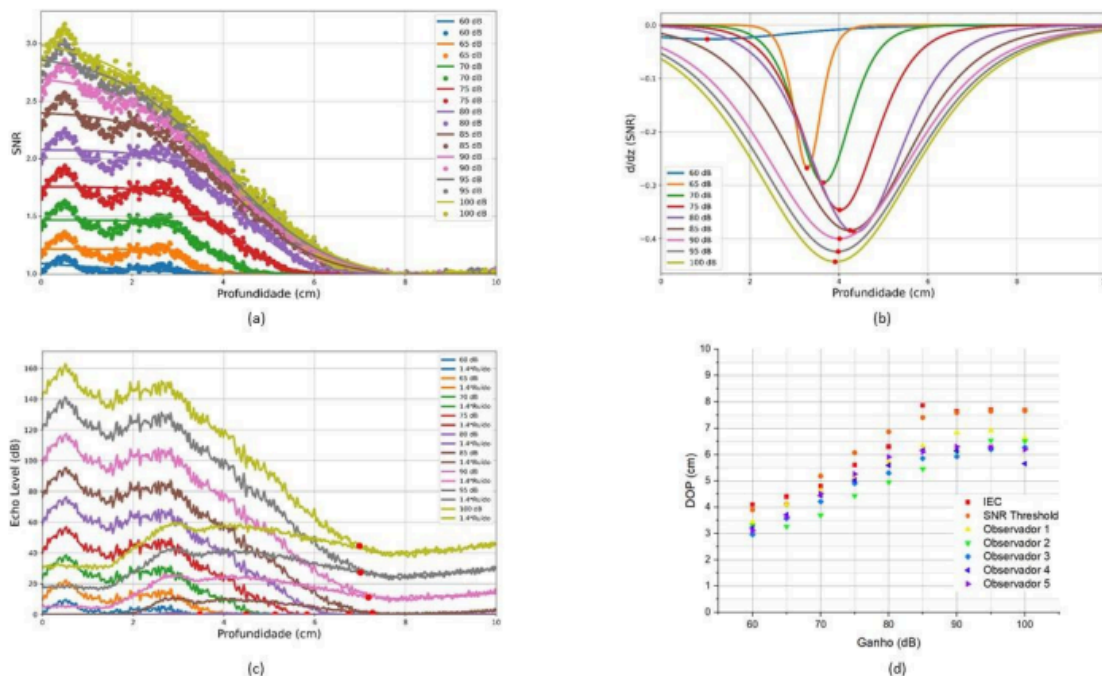


Figura 1- (a): Curvas de SNR para diferentes valores de ganho. (b): Derivadas das curvas de SNR em relação a profundidade. (c): Curvas de Sinal e ruído para diferentes valores de ganho. (d): Comparação entre os métodos.

**Resultados e discussões:** SNR cresce com o ganho (Fig. 1a), mas satura em altos ganhos, para maiores profundidades. As derivadas da SNR (Fig. 1b), usadas no cálculo da DOP [2], têm mínimo que varia com o ganho. Na (Fig. 1c), nota-se que o ruído cresce com o ganho, levando

à saturação da DOP, em altos ganhos, indicada pelas linhas verticais. A variação da DOP (Fig. 1d) é maior no método visual em relação aos quantitativos.

**Conclusões:** Observa-se a capacidade dos métodos quantitativos de avaliar a constância do valor de DOP. Para altos valores de ganho, notou-se que a DOP apresenta menor variação. Como continuidade do trabalho, pode-se avaliar como a alteração do ganho e de outros parâmetros influencia outras métricas em análises quantitativas, e como integrá-las ao controle de qualidade de equipamentos de ultrassonografia.

**Referências:**

- [1] International Electrotechnical Commission. IEC TS 62736: Ultrasonics—Pulse-Echo Scanners—Simple Methods for Periodic Testing to Verify Stability of an Imaging System’s Elementary Performance. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission; 2023.
- [2] Gorny, K.R., Tradup, D.J. and Hangiandreou, N.J. (2005), Implementation and validation of three automated methods for measuring ultrasound maximum depth of penetration: Application to ultrasound quality control. *Med. Phys.*, 32: 2615-2628. <https://doi>
- [6] FRONTIERS MEDIA S.A.. YOLOv8"s advancements in tuberculosis identification from chest images. *Frontiers in Big Data*, v. 7, 2024

## Valores Típicos de Dose de Radiação por Indicação Clínica em Procedimentos de Angiografia Cerebral

Samuel Mafra Dos Santos <sup>1</sup>, Denise Yanikian Nersissian <sup>2</sup>, Paulo Roberto Costa <sup>3 1 - , 2</sup> Instituto De Física - Universidade De São Paulo, <sup>3</sup> Instituto De Física Da Usp

**Resumo:** A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) [1] recomenda o estabelecimento de Níveis de Referência em Diagnóstico (NRD) para a otimização de procedimentos radiológicos. A determinação de NRDs em escala de investigação de uma única instituição caracteriza a determinação de valores típicos (VTs), que correspondem à mediana da distribuição de grandezas relacionadas à quantidade de radiação ionizante utilizada em um procedimento radiológico. Em radiologia intervencionista, a determinação destes valores é desafiadora pela variedade e complexidade dos procedimentos [2]. Neste trabalho, é proposta a determinação de valores típicos de dose em pacientes submetidos a procedimentos diagnósticos de angiografia cerebral, com a estratificação destes valores pela indicação clínica do exame.

**Materiais e métodos:** A coleta das grandezas foi realizada a partir de relatórios de dose, via PACS da instituição onde o estudo foi conduzido, para exames entre junho/2023 e maio/2024. Foram registrados: o tempo de fluoroscopia (TF), o produto kerma-área (PKA), o kerma total acumulado (Kar) no ponto de referência intervencionista e o código CID da solicitação de cada exame. Apenas os grupos de indicações clínicas com mais de 20 procedimentos foram considerados para análise. Foram determinados a mediana e o terceiro quartil das distribuições de valores de cada grupo. O uso de dados retrospectivos de pacientes anonimizados foi aprovado pelo Comitê de Ética do HCFMUSP (CAAE 27912619.6.0000.0068).

|   | Tempo de Fluoroscopia (min) |            | Produto kerma-área (Gy.cm <sup>2</sup> ) |            | Kerma Acumulado (mGy) |            |
|---|-----------------------------|------------|--|------------|-----------------------|------------|
|   | Mediana                     | 3º quartil | Mediana                                  | 3º quartil | Mediana               | 3º quartil |
| Aneurisma cerebral                                  | 14,7                        | 20,7       | 63,5                                     | 84,2       | 426,1                 | 567,2      |
| Hemorragia subaracnóideia (HSA)                     | 13,3                        | 25,6       | 95,2                                     | 133,2      | 682,4                 | 833,8      |
| Malformação arteriovenosa dos vasos cerebrais (MAV) | 14,3                        | 20,5       | 51,2                                     | 82,0       | 338,8                 | 481,3      |

Tabela 1: Valores de mediana e terceiro quartil das grandezas coletadas para as diferentes indicações clínicas.

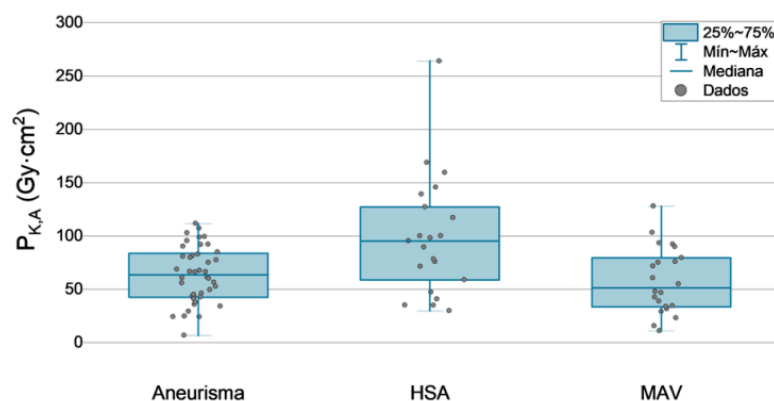


Figura 1: Gráfico de boxplot para a grandeza do produto kerma-área para as diferentes indicações clínicas.

**Resultados e discussões:** Os VTs de PKA para procedimentos com indicação clínica de aneurisma cerebral, hemorragia subaracnóideia (HSA) e malformação arteriovenosa dos vasos (MAV) foram respectivamente 63,5; 95,2 e 51,2 Gy.cm<sup>2</sup>. Esta relação entre os grupos é reproduzida para os VTs de Kar (426,1; 682,4 e 338,8 mGy), enquanto que para os VTs de TF as diferenças não são evidentes, variando apenas de 13,3 a 14,7 min.

**Conclusões:** A estratificação por indicação clínica evidenciou diferenças entre os grupos para as grandezas relacionadas diretamente à dose (PKA e Kar). No entanto, os NRDs para

angiografia cerebral diagnóstica presentes na literatura ainda não consideram amplamente essa abordagem [3,4]. A continuidade do trabalho envolve ampliar a base de dados e estudar o impacto de outros métodos de estratificação.

**Referências:**

- [1] ICRP, 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1).
- [2] Rogério L., et al. Diagnostic reference levels in interventional neuroradiology procedures – a systematic review. *Neuroradiology*. 2024; 66:2003–2014
- [3] Antar A., et al. Clinical diagnostic reference levels in neuroradiology based on clinical indication. *Radiation Protection Dosimetry*. 2024; 200(8), 755–762.
- [4] Hitomi G, et al. The First Step in the Optimization of Radiation Protection of Patients in Cerebral Angiography: Investigate the Possibility of Constructing the Diagnostic Reference Level by Imaging Objective/Disease Group Using Display Value of the Blood Vessel Imaging Apparatus. *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi*. 2019;75(3):263-269.

## **IA no Rastreamento de Câncer de Pulmão: A Influência do Balanceamento de Dados no Desempenho do Modelo**

Konell H.<sup>1</sup>, Reis R.<sup>2</sup>, Chiarantano R.(Hospital De Cancer De Barretos), Santos A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cientista De Dados, <sup>2</sup> Hospital De Câncer De Barretos

**Resumo:** A Tomografia Computadorizada de Baixa Dose (TCBD) é eficaz no rastreamento de câncer de pulmão, mas exige análise detalhada de grandes volumes de dados por radiologistas [1]. Ferramentas de inteligência artificial (IA) podem auxiliar na detecção precoce de imagens alteradas, especialmente diante do desbalanceamento entre exames normais e suspeitos no processo do rastreio [2,3]. Nesse contexto, escolher o dataset de treinamento mais adequado é desafiador: conjuntos balanceados reduzem amostras, enquanto conjuntos completos aumentam o desbalanceamento [4]. Este projeto avaliou o impacto de redes neurais convolucionais treinadas com dados balanceados e desbalanceados, em modelos 2D e 3D, para a classificação de exames de rastreamento de câncer de pulmão por TCBD.

**Materiais e métodos:** Foram utilizados 500 exames do programa de rastreamento do Hospital de Amor [5], obtidos com tomógrafo G&E Optima 540 de 16 canais. Destes, 100 exames foram classificados como positivos (Lung-RADS  $\geq 3$ ). As imagens passaram por anonimização, redimensionamento e normalização. Dois conjuntos foram criados: (i) um desbalanceado, com todos os exames disponíveis, e (ii) um balanceado, com 100 exames suspeitos e 100 normais. Cada base foi dividida em 70% para treinamento, 15% para validação e 15% para teste. Foram avaliados os seguintes modelos: CNN 2D simples, ResNet50 e ResNet152 com finetuning, CNN 3D simples e ResNet50 3D. O desempenho foi avaliado por acurácia, precisão, recall e F1-score.

**Resultados e discussões:** O modelo ResNet50 2D alcançou os melhores resultados, com acurácia de 0,70, recall de 0,80 e F1-score de 0,73 no conjunto balanceado. No conjunto desbalanceado, a acurácia também foi de 0,70, mas o recall caiu para 0,52. Os modelos 3D, especialmente a CNN simples, apresentaram desempenho inferior, com queda mais acentuada nas métricas (F1-score de 0,57 balanceado e 0,51 desbalanceado).

**Conclusões:** A ResNet50 2D obteve o melhor desempenho, concordando com a literatura [2, 3]. Modelos 2D com dados balanceados mostraram maior estabilidade, porém o uso de dados reais também evidenciou desafios, diferindo de estudos com bases públicas padronizadas [1, 2]. Esses resultados reforçam a importância de uma curadoria criteriosa dos dados para o desenvolvimento de modelos aplicáveis à prática clínica.

### **Referências:**

- [1] OZDEMIR, O.; RUSSELL, R. L.; BERLIN, A. A. A 3D Probabilistic Deep Learning System for Detection and Diagnosis of Lung Cancer Using Low-Dose CT Scans. IEEE, 2020.
- [2] THANOON, M. A. et al. A Review of Deep Learning Techniques for Lung Cancer Screening and Diagnosis Based on CT Images. Diagnostics, 2023.
- [3] KULKARNI, S. et al. A Multiclass Classifier for Lung Cancer Diagnosis Using Resnet50. 2024 International Conference on Advances in Modern Age Technologies for Health and Engineering Science (AMATHE), p. 1–5, 2024.
- [4] GHOSH, K. et al. The class imbalance problem in deep learning. Mach Learn, 2024.
- [5] CHIARANTANO, R. S. et al. Implementation of an Integrated Lung Cancer Prevention and Screening Program Using a Mobile Computed Tomography (CT) Unit in Brazil. Cancer Control, 2022.

## DRL em Radiologia Intervencionista: Valores típicos de PKA em Colangiografia Transparieto-Hepática Percutânea

Petronis I.<sup>1</sup>, Nersissian D.<sup>2</sup>, Yoshimura E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Isaías Petronis, <sup>2</sup> Instituto De Física - Universidade De São Paulo, <sup>3</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Para investigar níveis de dose e auxiliar na otimização de exposições médicas em Radiologia Intervencionista (RI) ou Diagnóstica, a International Commission on Radiological Protection (ICRP) definiu o Diagnostic Reference Level (DRL)<sup>1</sup>. Seu valor é o percentil 75 da distribuição da grandeza dosimétrica padronizada para a modalidade radiológica. Já em uma instalação médica, o valor típico (VT) local da grandeza padronizada é a mediana da distribuição de seus valores. O produto kerma-área (PKA) é uma das grandezas padronizadas em RI e o VT é derivado para procedimentos rotineiros realizados em salas de angiografia da instituição. Este estudo definiu o VT do PKA em colangiografia transparieto-hepática percutânea (CTPH) com indicação clínica de troca de dreno (TD) em pacientes adultos.

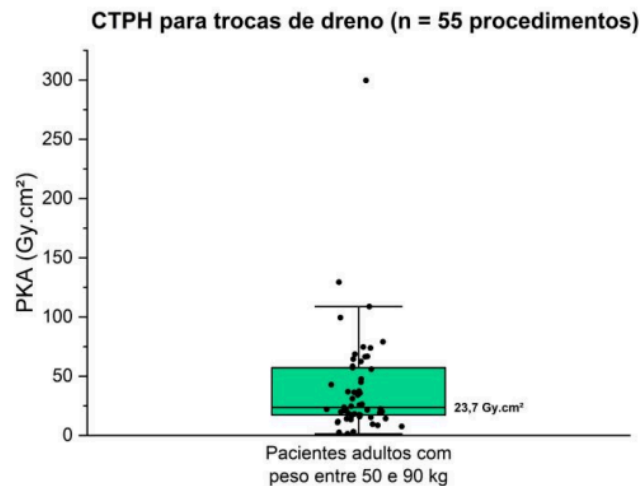


Figura 1. Distribuição dos valores de PKA em CTPH para trocas de dreno em pacientes adultos com peso entre 50-90 kg. O valor à direita do *boxplot* é a mediana e indica o valor típico para a Instituição.

**Materiais e métodos:** Foi feita análise retrospectiva de procedimentos dos anos 2024 e 2025 em angiógrafos do Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (InRad). Os valores de PKA foram extraídos do Radiation Dose Structured Report (RDSR) de procedimentos de TD para pacientes com peso entre 50-90 kg. O RDSR foi exportado do equipamento ou visualizado no PACS (Picture Archive and Communication System) da Instituição. A verificação do peso dos pacientes foi feita por documentos anexados ao PACS. O uso de dados referentes a pacientes foi aprovado pelo Comitê de Ética do InRad (CAAE 27912619.6.0000.0068) e o consentimento informado não foi necessário.

**Resultados e discussões:** Pela análise da Figura 1, o VT é 23,7 Gy.cm<sup>2</sup>, resultado da segmentação dos procedimentos de TD realizados em pacientes adultos e com peso dentro da faixa proposta. Um estudo alemão recente<sup>2</sup> estabeleceu 14 Gy.cm<sup>2</sup> como DRL nacional (percentil 75) do mesmo procedimento em pacientes de mesma faixa de peso. Esta comparação indica possível otimização visando diminuir o VT obtido neste estudo.

**Conclusões:** Este levantamento realizado é inédito na Instituição para este tipo de procedimento e o valor foi comparado a um estudo recente. Os equipamentos estão em

conformidade com a regulação exigida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). O resultado serve como ferramenta para a otimização das exposições médicas, pois indica a necessidade de otimização na prática dos intervencionistas.

**Agradecimento:** Durante a parte inicial do presente estudo, o autor IP integrou o programa de Física Médica em Diagnóstico por Imagem da Faculdade de Medicina da USP, o qual é financiado através de bolsa de estudo do Programa Nacional de Bolsas para Residências em Área Profissional de Saúde do Ministério da Saúde. EMY agradece ao CNPq e à FAPESP (processos: 311657/2021-4, e 2018/05982-0, respectivamente).

### **Referências:**

- [1] ICRP, 2017. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *Annals of the ICRP* 46(1), 1-144. <https://doi.org/10.1177/0146645317750356>.
- [2] Schmitz, D., Vogl, T., Nour-Eldin, N. A., Radeleff, B., Kröger, J. C., Mahnken, A. H., Ittrich, H., Gehl, H. B., Plessow, B., Böttcher, J., Tacke, J., Wispler, M., Rosien, U., Schorr, W., Joerdens, M., Glaser, N., Fuchs, E. S., Tal, A., Friesenhahn-Ochs, B., Leimbach, T., Höpner, L., Weber, M., Gölder, S., Böhmig, M., Hetjens, S., Rudi, J., Schegerer, A., 2019. Patient radiation dose in percutaneous biliary interventions: recommendations for DRLs on the basis of a multicentre study. *Eur. Radiol.* 29, 3390- 3400. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06208-6>.

## Valores típicos de dose para procedimentos pediátricos de colocação de cateter venoso central guiados por fluoroscopia em um hospital universitário público

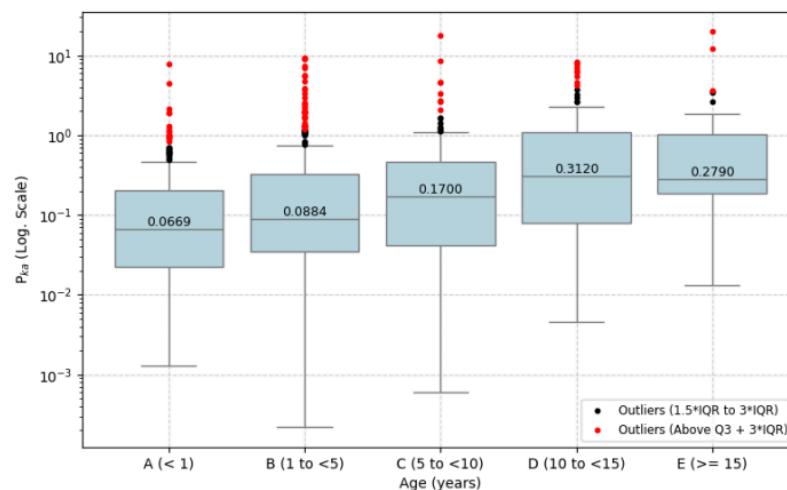
Alves G.<sup>1</sup>, Lykawka R.<sup>2</sup>, Pianoschi T.<sup>3</sup>, Dias J.<sup>4</sup>, Anés M.<sup>4</sup>, Bacelar A.<sup>4</sup>, Trombini H.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Grupo De Fisica Medica Experimental E Computacional- Ufcsa, <sup>2</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre, <sup>3</sup> Ufcsa, <sup>4</sup> Hcpa, <sup>5</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** Este projeto de pesquisa buscou determinar os valores típicos de dose (VTD) para procedimentos pediátricos de colocação de cateter venoso central (CVC) guiados por fluoroscopia (FGI) em um hospital universitário público. A utilização crescente de procedimentos intervencionistas FGI em crianças, somada aos riscos inerentes à exposição à radiação e à maior sensibilidade dos pacientes pediátricos aos efeitos das radiações ionizantes, destaca a relevância do estudo. Diante disso, é imprescindível que as doses de radiação e as particularidades pediátricas sejam cuidadosamente consideradas nesses procedimentos, incluindo o ambiente cirúrgico, uma vez que as condições clínicas infantis e a elevada radiosensibilidade dos tecidos exigem abordagens específicas e medidas de proteção [1].

**Materiais e métodos:** Trata-se de um estudo observacional retrospectivo realizado em um hospital universitário público. Foram analisados procedimentos pediátricos de colocação de CVC FGI realizados entre 2017 e 2024. Estes procedimentos são realizados em ambiente cirúrgico, com dois arcos cirúrgicos GE OEC Elite e quatro BV Pulsera Philips. Foi seguida a metodologia indicada pela ICRP 135 [2], com um número mínimo de 30 pacientes em cinco faixas de peso e de idade, utilizando a mediana da distribuição do produto kerma-área (PKA) para cada uma destas faixas. Para isso, foram avaliados os dados antropométricos dos pacientes, parâmetros técnicos e descritores de dose de cada procedimento.

**Resultados e discussões:** Foram avaliados 832 procedimentos pediátricos de colocação de CVC FGI. Os VTD para o procedimento de CVC foram 0,044, 0,080, 0,143, 0,189, 0,307, 1,040 Gy·cm<sup>2</sup> para as faixas de peso 80 kg respectivamente. O maior VTD encontrado para estratificação por idade foi de 0,312 Gy·cm<sup>2</sup> (1015 anos, de 0,279 Gy·cm<sup>2</sup>).



**Conclusões:** A definição dos VTD é uma importante ferramenta para implementação do processo DRL, contribuindo para a otimização dos procedimentos pediátricos FGI. Os dados obtidos demonstram a necessidade da inclusão dos procedimentos cirúrgicos FGI na avaliação de risco integralmente e otimização da dose pediátrica, favorecendo protocolos mais eficazes e seguros.

**Referências:**

[1] Ubeda, C. New Optimization Strategies on Radiation Protection in Fluoroscopy-Guided Interventional Procedures in Pediatrics. *Children*, v. 10, n. 5, p. 883, 2023.

[2] ICRP Publication 135. *Annals of the ICRP* 46. Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. 2017.

## Teste de zona focal da imagem para controle de qualidade de ultrassom: uma revisão de literatura

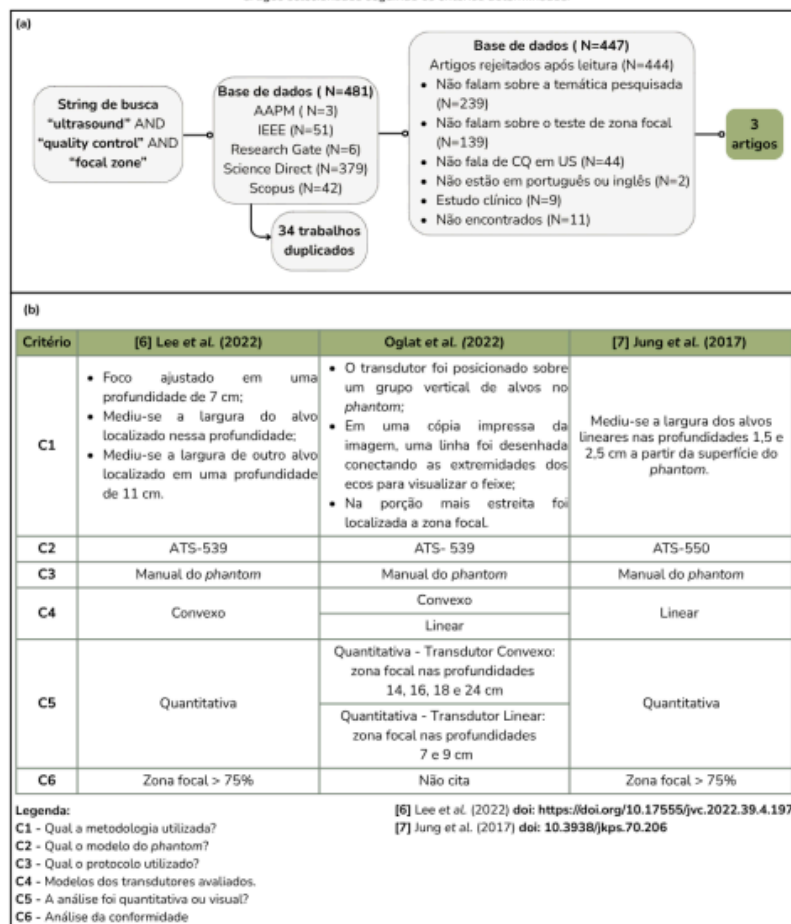
Corrêa P.<sup>1</sup>, Lykawka R.<sup>2</sup>, Jardim A.<sup>3</sup>, Da Silva I.<sup>3</sup>, Botelho V.(Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre), Pianoschi T.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre, <sup>2</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre, <sup>3</sup> André Goncalves Jardim, <sup>4</sup> Ufcsa

**Resumo:** O ultrassom (US) é amplamente utilizado no diagnóstico clínico, especialmente na avaliação de tecidos moles [1]. Para garantir imagens conformes, são necessários testes de controle de qualidade (CQ), dentre eles o teste de zona focal da imagem, que avalia a região de melhor resolução espacial. No Brasil, a RDC nº 611/2022 e a IN nº 96/2021 da ANVISA estabelecem testes de CQ para sistemas de US, porém não especificam quais metodologias devem ser adotadas para cada teste. Essa abordagem contribui para a ausência de padronização que impacta a qualidade do serviço prestado. Considerando a relevância da determinação da zona focal na formação da imagem [4], este trabalho busca mapear diferentes metodologias descritas na literatura para esse teste, através de uma revisão.

**Materiais e métodos:** A formulação do problema a ser pesquisado partiu das seguintes perguntas: 1) Quais são as metodologias utilizadas para o teste de zona focal em US? 2) Quais foram os critérios de análise da conformidade para o teste? Com base nessas perguntas, utilizando a plataforma Parsifal, a estratégia de busca da revisão de literatura foi construída considerando três palavras-chaves principais (e seus sinônimos): ultrassom; controle de qualidade; zona focal. Os critérios de exclusão foram estudos: que não correspondem à temática pesquisada; que não abordam CQ e o teste de zona focal; que apresentam a temática clínica; que não estão em língua inglesa ou portuguesa, conforme apresenta a Figura 1 em (a).

Figura 1 - Etapas da revisão de literatura. Em (a), um fluxograma da metodologia utilizada no estudo. Em (b), a tabela de análise dos artigos selecionados seguindo os critérios determinados.



**Resultados e discussões:** Conforme a Figura 1, apenas 3 artigos foram aceitos para a análise, que considerou os critérios apresentados em (b). A comparação entre os estudos mostra uma diversidade nos métodos utilizados para avaliar a zona focal, pois embora os três artigos analisem quantitativamente a zona focal, apenas dois determinam uma análise da conformidade, o que reforça a necessidade de padronização desse teste.

**Conclusões:** Pelos resultados encontrados e com base nos requisitos estabelecidos pela ANVISA [2][3], observa-se que não há uma padronização para a determinação da zona focal em testes de CQ em US, evidenciando, assim, a necessidade de uma metodologia de referência para este teste, por meio de estudos que visem validar e unificar protocolos de CQ, a fim de garantir a qualidade das imagens formadas e a segurança do paciente no diagnóstico.

**Referências:**

- [1] Oglat AA. Performance Evaluation of an Ultrasonic Imaging System Using Tissue-Mimicking Phantoms for Quality Assurance. *Biomimetics*. 2022 Sep 11;7(3):130. doi: 10.3390/biomimetics7030130
- [2] Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 611, de 9 de março de 2022.
- [3] Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa Nº 96, de 31 de maio de 2021.
- [4] Gunabushanam G, Scoutt LM. Ultrasound Image Optimization for the Interventional Radiologist. *Tech Vasc Interv Radiol*. 2021 Sep;24(3):100766. doi: 10.1016/j.tvir.2021.100766. Epub 2021 Sep 27.
- [5] Plataforma Parsifal. Disponível em: <https://parsif.al/>

## Controle de Qualidade em RM: Análise da Frequência de Não Conformidades nos Testes de Geometria e Corte

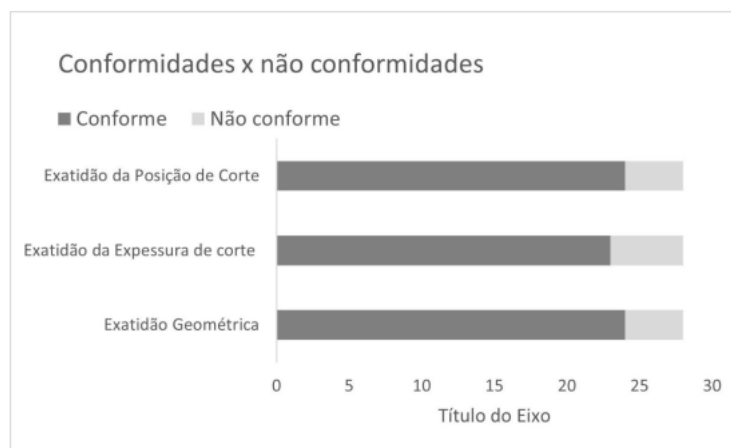
Gonçalves T.<sup>1</sup>, Pacífico L.<sup>2</sup>, Magalhães L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lcr / Uerj, <sup>2</sup> Cebio - Uerj, <sup>3</sup> Universidade Do Estado Do Rio De Janeiro

**Resumo:** A ressonância magnética (RM) é essencial para diagnósticos precisos por imagem, exigindo alta fidelidade anatômica e exatidão espacial. A Instrução Normativa nº 97/2021 da ANVISA determina a realização periódica dos testes de controle de qualidade (CQ) para assegurar a confiabilidade diagnóstica. Este estudo avaliou a prevalência de não conformidades nos testes de exatidão geométrica, espessura de corte e posição de corte, que são fundamentais para garantir a precisão dimensional em equipamentos de 0,2T a 1,5T, utilizando protocolos baseados no American College of Radiology (ACR).

**Materiais e métodos:** Foram avaliados 28 equipamentos de ressonância magnética, com intensidades de campo entre 0,2 T e 1,5 T, localizados no estado do Rio de Janeiro, no período de 2022 a 2025. Utilizou-se o phantom padrão do ACR, conforme os critérios estabelecidos pelo protocolo ACR MRI Phantom Test. Foram realizados os testes de exatidão geométrica, espessura de corte e posição de corte. O resultado de cada teste foi classificado como “conforme” ou “não conforme” e os dados foram agrupados por tipo de teste e faixa de campo magnético.

**Resultados e discussões:** Dos 28 equipamentos, 5 (17,9%) apresentaram pelo menos uma não conformidade em cada teste. A maior parte das falhas ocorreu em sistemas de baixo campo ( $\leq 0,5T$ ). Equipamentos com falhas simultâneas em dois ou mais testes indicam comprometimento técnico sistêmico. Os dados reforçam a importância da supervisão qualificada no CQ em RM.



**Conclusões:** A recorrência de não conformidades, especialmente em sistemas de baixo campo, destaca a necessidade de intensificação das ações corretivas e do controle contínuo de qualidade. O uso de protocolos padronizados, como o do PRS/DCR-UERJ, e o cumprimento rigoroso da IN nº 97/2021 e RDC nº 611/2022 são fundamentais para garantir diagnósticos seguros e eficazes.

### Referências:

[1] ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 97, DE 3 DE MAIO DE 2021. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC Nº 611, DE 9 DE MARÇO DE 2022.

- [2] AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY (ACR). ACR MRI Quality Control Manual – MRI Accreditation Program Requirements. Reston, VA: American College of Radiology, 2015.
- [3] PROGRAMA DE RADIOTECÇÃO EM SAÚDE (PRS/DCR-UERJ). Protocolo técnico de avaliação da qualidade em equipamentos de ressonância magnética. Departamento de Ciências Radiológicas – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

## Avaliação da Rejeição de Imagens em Mamografia Digital: Conformidade com Recomendações de Controle de Qualidade e Proteção Radiológica

Berwanger J.<sup>1</sup>, Dorneles T.<sup>2</sup>, De Carvalho G.<sup>3</sup>, Candeia B.<sup>3</sup>, Dias J.<sup>4</sup>, Bacelar A.<sup>4</sup>, Anés M.<sup>4</sup>, Lykawka R.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Juliane Pacheco Berwanger, <sup>2</sup> Ufcspa, <sup>3</sup> Não Pertencem A Nenhuma Empresa/Entidade, <sup>4</sup> Hcpa, <sup>5</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre

**Resumo:** O exame de Mamografia é amplamente utilizado para o rastreamento e diagnóstico precoce do câncer de mama, portanto, é fundamental assegurar a qualidade das imagens adquiridas. A rejeição de imagens pode comprometer a eficiência do serviço, elevar a dose de radiação recebida pelas pacientes e aumentar os custos operacionais. Dentre os princípios de Proteção Radiológica, estão o da justificação, que estabelece que nenhuma exposição deve ser realizada sem um benefício clínico claro, e da otimização, que visa manter as exposições tão baixas quanto razoavelmente possível (princípio ALARA) sem comprometer a qualidade diagnóstica. Assim, a análise sistemática das rejeições torna-se uma ferramenta essencial tanto para o aprimoramento da prática clínica quanto para a segurança do paciente.

**Materiais e métodos:** Foram utilizados dados de rejeição de imagens no período de 2023 a 2025 obtidas com o mamógrafo Mammomat Inspiration, da Siemens, localizado no Serviço de Radiologia do HCPA. Para a avaliação, foram considerados os limites recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) no documento Human Health Series N° 17, que estabelece uma taxa de repetição aceitável inferior a 5%, sendo desejável mantê-la abaixo de 2%, considerando um mínimo de 250 pacientes para garantir relevância estatística. Além disso, foram identificados e avaliados os principais motivos para repetição dos exames, bem como o acompanhamento dos usuários responsáveis.

**Resultados e discussões:** A taxa de rejeição anual com base no número de imagens adquiridas foi de 1,5% em 2023, 2,2% em 2024 e 1,8% até abril de 2025. O principal motivo foi o posicionamento inadequado da paciente (73,8%), seguido por artefatos na imagem (18,8%). O aumento de 15,4% na equipe técnica e a manutenção recorrente em uma das salas podem ter influenciado os resultados obtidos.

**Conclusões:** No período, os níveis de rejeitos mantiveram-se abaixo do limite internacional de 5%, mas houve aumento na frequência de valores superiores a 2% em 2024, tendência que pode seguir em 2025. Esse cenário reforça a importância do acompanhamento do plano de garantia da qualidade do hospital e da análise periódica dos rejeitos para garantir segurança, eficácia diagnóstica e otimização das doses.

### Referências:

- [1] AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA. Programa de Garantia da Qualidade para Mamografia Digital. Viena: IAEA, 2011. (Human Health Series, n. 17).
- [2] MERCIÉCA, N.; PORTELLI, J. L.; JADVA-PATEL, H. Mammographic image reject rate analysis and cause – A National Maltese Study. Radiography, [S.l.], v. 23, n. 1, p. 25–31, 2017. DOI: 10.1016/j.radi.2016.07.004.
- [3] EKLUND, G. W.; CARDENOSA, G. The art of mammographic positioning. Radiologic Clinics of North America, Philadelphia, v. 30, n. 1, p. 21–53, jan. 1992.

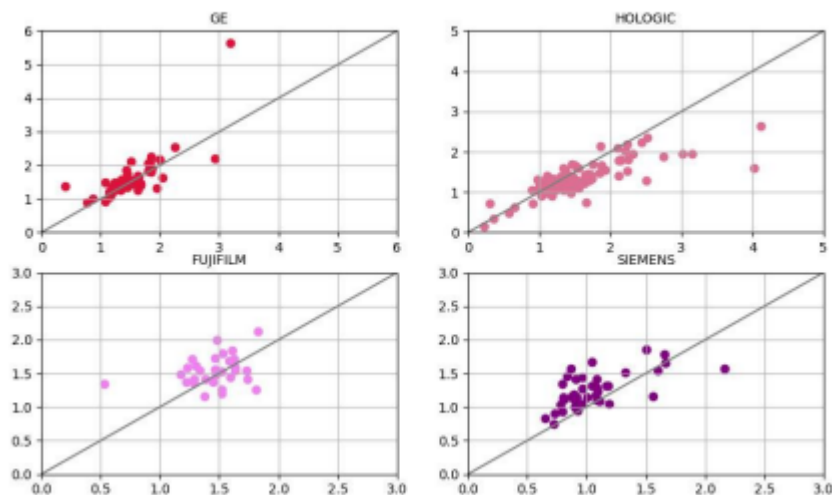
## Dose glandular média em mamografia digital no Brasil: comparação entre diferentes métodos de estimativas de dose

De Souza L.<sup>1</sup>, Santos J.<sup>2</sup>, Peixoto J.<sup>2</sup>, De Almeida C.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> Luany Pereira De Souza, <sup>2</sup> Universidade Federal D, <sup>3</sup> Ird/Cnen

**Resumo:** A dosimetria na mamografia utiliza a grandeza dose glandular média (DGM) estimada através de métodos teóricos com base em simulações, para realização do controle de qualidade (CQ) e otimização dos procedimentos. No entanto, mamógrafos digitais (DRs) estimam a DGM aplicada em um exame diretamente através de métodos de cálculos desconhecidos, o que torna relevante a avaliação dessas estimativas por meio da comparação com a DGM obtidas por meio de métodos tradicionais. O objetivo deste estudo é analisar as doses fornecidas por diferentes equipamentos DR, suas técnicas e métodos de cálculo, utilizando a base de dados do Programa Nacional de Qualidade em Mamografia(PNQM) a fim de compreender a base de cálculo, variação técnica e a confiabilidade das doses informadas.

**Materiais e métodos:** As amostras fornecidas pelo PNQM contam com relatórios e imagens radiográficas obtidas em diferentes mamógrafos DRs de exposições no Controle Automático de Exposição(CAE) de um simulador de PMMA padrão e um detector opticamente estimulado (OSL) para fins de CQ de 2020 a 2025. Para os cálculos da DGM, foram utilizados os métodos teóricos de Dance, Boone, Wu. Estes utilizam fatores multiplicativos sobre uma medida de kerma no ar (Ki). Neste trabalho Ki foi obtida convertendo as leituras do OSL para kerma utilizando fatores de calibração fornecidos pelo PNQM. Para fins de análises estatísticas serão usados diferentes métodos de validação como testes estatísticos e gráficos de distribuição.

Comparação de DGM calculada por Dance e pelos equipamentos



**Resultados e discussões:** Resultados preliminares indicam maior ocorrência de mamógrafos Hologic e uso de tungstênio/ródio como combinação alvo/filtro no Brasil. Além disso, equipamentos DRs da Hologic e GE Healthcare apresentam valores de DGM similares ao esperado pelo método de Dance, no entanto, com avaliação da exposição na superfície de entrada (ESE) apresentando divergência significativa com o kerma medido pelo OSL.

**Conclusões:** Até o presente momento acredita-se que os fabricantes GE Healthcare e Hologic podem utilizar o método de dance como base do seu método de cálculo. Novas análises buscam comparar as medidas de DGM utilizando uma conversão da dose na superfície de entrada

(ESE) para kerma no ar, comparação de DGM para outros métodos, além de avaliar a uniformidade de DGM e técnicas utilizadas.

**Agradecimento:** Agradeço ao IRD/CNEN e a PIBIC pela concessão da bolsa de iniciação científica, que contribuiu significativamente para o aprimoramento da pesquisa. Além disso agradeço ao Programa de Qualidade em Mamografia do Instituto Nacional do Câncer (PQM/INCA) e ao Programa de Certificação de Qualidade em Mamografia do Colégio Brasileiro de Radiologia (PCQM/CBR) que integram o PNQM, pelo seu trabalho e pelo fornecimento dos dados para este estudo.

**Referências:**

- [1] DANCE, D. R. Monte-Carlo calculation of conversion factors for the estimation of mean glandular breast dose. *Physics in Medicine & Biology*, v. 35, n.9, p. 1211, 1990.
- [2] BOONE, John M. Normalized glandular dose (DgN) coefficients for arbitrary x-ray spectra in mammography: Computer-fit values of Monte Carlo derived data. *Medical physics*, v. 29, n. 5, p. 869-875, 2002.
- [3] WU, Xizeng et al. Normalized average glandular dose in molybdenum target-rhodium filter and rhodium target-rhodium filter mammography. *Radiology*, v. 193, n. 1, p. 83-89, 1994.
- [4] INCA - Instituto Nacional do Câncer, Ministério da Saúde. Programa de Qualidade em Mamografia. Brasil: INCA, 2006. CBR- Colégio Brasileiro de Radiologia. Norma do Programa de Certificação de Qualidade do CBR. São Paulo: CBR, 2024.

## Avaliação da otimização em mamografia digital através de diferentes formulações da Figura de Mérito

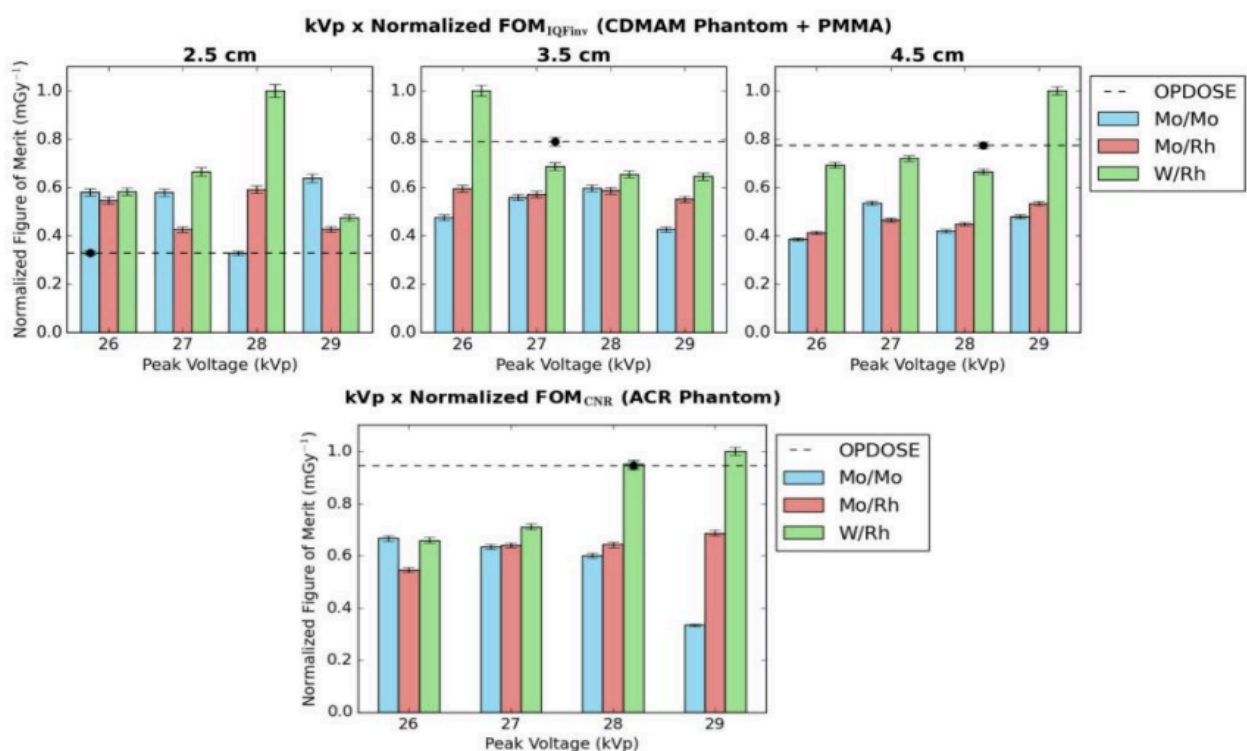
Berwanger J.<sup>1</sup>, De Carvalho G.<sup>2</sup>, Dias J.<sup>3</sup>, Candeia B.<sup>3</sup>, Contassot R.<sup>4</sup>, Lykawka R.<sup>5</sup>, Anés M.<sup>3</sup>, Bacelar A.<sup>3</sup>, Valença J.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Juliane P. Berwanger, <sup>2</sup> Não Pertença A Nenhuma Empresa/Entidade, <sup>3</sup> Hcpa, <sup>4</sup> Fundação Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre, <sup>5</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre, <sup>6</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufc

**Resumo:** A mamografia é uma modalidade de imagem fundamental para a detecção precoce do câncer de mama. Na literatura, o uso da Figura de Mérito (FOM) como métrica da otimização em mamografia digital auxilia a garantir o equilíbrio entre qualidade da imagem e a dose de radiação nos exames [1]. Este trabalho buscou encontrar e discutir acerca das melhores relações entre dose e qualidade da imagem em um sistema de mamografia digital através de diferentes formulações da Figura de Mérito, utilizando o CDMAM Phantom e o Phantom ACR.

**Materiais e métodos:** Foram realizadas análises de contraste-detalhe com o IQFINV para três espessuras simuladas de PMMA e CDMAM Phantom v. 3.4 (2,5, 3,5 e 4,5 cm), e análise da relação contraste-ruído (RCR) para 4,5 cm com o Phantom ACR, seguindo o protocolo europeu [2]. As imagens foram obtidas com o modo AEC e OPDOSE para quatro valores de tensão (26, 27, 28 e 29 kVp) e combinações alvo-filtro de Mo/Mo, Mo/Rh e W/Rh, para ambos os fantasmas. Diferentes formulações da FOM consideraram o IQFINV e a RCR como parâmetros de qualidade da imagem e a Dose Glandular Média (DGM), estimada por medida do kerma no ar na superfície de entrada com o detector de estado sólido RTI Black Piranha, como parâmetro dosimétrico.

**Resultados e discussões:** Para 2,5 cm houve uma redução da DGM de 61,1% e aumento da qualidade da imagem em 8,6%, enquanto para 3,5 e 4,5 cm a redução da dose de 7,8% e 8,1% e aumento da qualidade da imagem em 16,4% e 3,9%, respectivamente. Tendência similar foi observada em ambos os fantasmas, para 4,5 cm, tanto no modo OPDOSE quanto para definição dos parâmetros otimizados com o AEC e a FOM, como apresentado no gráfico.



**Conclusões:** O IQFINV é um parâmetro mais detalhado para avaliação intra-sistema, oferecendo informações essenciais como a análise da curva de contraste-detalhe. A combinação alvo-filtro de W/Rh mostrou ser eficaz para melhor relação entre dose e qualidade da imagem em todas espessuras, enquanto que o uso da FOM mostrou-se como uma ferramenta importante para otimização e proteção radiológica de pacientes.

**Referências:**

- [1] VILLARREAL, O. A. M. et al. Optimization of the exposure parameters in digital mammography for diverse glandularities using the contrast-detail metric. *Physica Medica*, v. 101, p. 112-119, 2022
- [2] EUREF. European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services. *European Guidelines for Quality Assurance in Breast Cancer Screening and Diagnosis*. Belgium, 2006.

## **Skull stripping em imagens cerebrais ponderadas em T1 utilizando Inteligência Artificial**

Oliveira H.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>2</sup>, Rodrigues A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Heloisy, <sup>2</sup> Universidade Federal De Goiás, <sup>3</sup> Ebserh - Hospital Das Clinicas De Goias

**Resumo:** A ressonância magnética (RM) cerebral é fundamental para estudos anatômicos e diagnóstico, mas inclui tecidos não cerebrais que prejudicam análises quantitativas. Técnicas de pré-processamento, como o skull stripping, são essenciais para remover essas estruturas extra-crânio. Este projeto propõe desenvolver um algoritmo de inteligência artificial (IA) para realizar a remoção automática do crânio em imagens ponderadas em T1, visando maior precisão e eficiência no processamento de imagens cerebrais.

**Materiais e métodos:** O algoritmo é implementado em Python, utilizando a plataforma Google Colab para treinamento e testes. A rede U-Net será empregada para segmentação, com técnicas de data augmentation e validação cruzada para robustez. A curadoria de dados inclui seleção de variáveis e padronização. Imagens de 50 pacientes do Serviço de Radiologia do Hospital das Clínicas da UFG serão utilizadas para avaliação do modelo, comparando-o a softwares de referência.

**Resultados e discussões:** Como resultado parcial, o algoritmo de IA é eficaz para segmentação de imagens cerebrais, reduzindo a intervenção manual e o tempo de análise. A iniciativa fomenta a formação acadêmica, promove a produção científica e fortalece parcerias de pesquisa, além de aprimorar processos clínicos no serviço de Radiologia.

**Conclusões:** A aplicação de IA no skull stripping de imagens de RM otimiza análises clínicas e pesquisas acadêmicas, com impacto direto na precisão diagnóstica e no tempo de processamento. A validação do algoritmo permite sua incorporação na rotina clínica e futuras aplicações em outros protocolos de imagem.

### **Referências:**

- [1] Dale BM, Brown MA, Semelka RC. MRI: Basic Principles and Applications. Wiley, 2015.
- Kalavathi P, Prasath VBS. Methods on Skull Stripping of MRI Head Scan Images - a Review. J Digit Imaging. 2016.
- [2] Pei L, et al. General skull stripping of brain MRIs using 3D convolutional neural networks. Sci Rep. 2022.
- Ronneberger O, et al. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. MICCAI, 2015.

## Desenvolvimento de um tomógrafo híbrido com detectores contador de fótons e integrador de energia

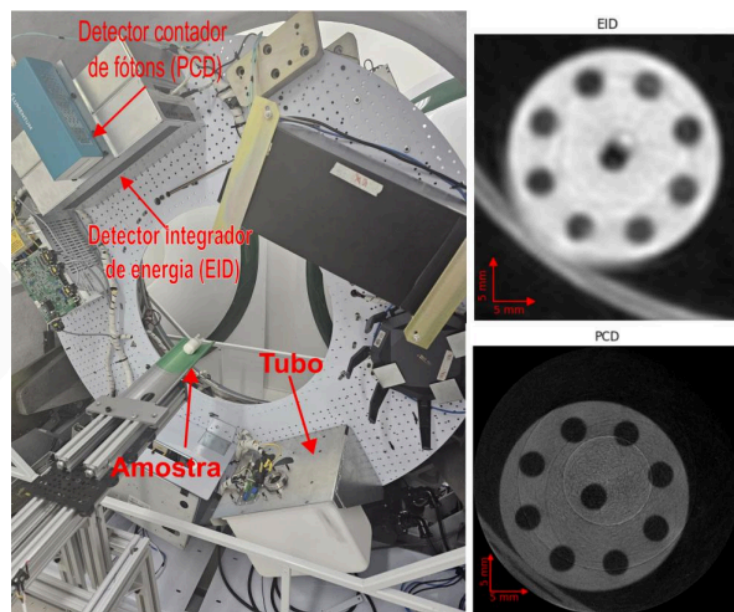
Mendes H.<sup>1</sup>, Alves A.<sup>2</sup>, Rocha L.<sup>3</sup>, Garcia J.<sup>4</sup>, Tavares P.<sup>1</sup>, De Souza V.<sup>5</sup>, Pataca D.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Instituto Hardware Br, <sup>2</sup> Instituto De Biociências De Botucatu - Unesp, <sup>3</sup> Ibt, <sup>4</sup> Iibr, <sup>5</sup> Vitor Gomes De Souza, <sup>6</sup> Daniel Moutinho Pataca

**Resumo:** Um grande avanço em tomografia computadorizada (TC) nos últimos anos foi o advento dos detectores de contagem de fótons (PCDs), que utilizam materiais semicondutores como telureto de cádmio (CdTe) para converter diretamente as energias dos fótons de raios X em sinais elétricos [1]. Ao contrário dos detectores integradores de energia (EIDs), que são usualmente empregados em TC, que medem a energia total depositada no detector, os PCDs contam fótons individuais [1]. Os PCDs fornecem vantagens como contraste aprimorado, resolução espacial superior e redução do ruído eletrônico [2]. Este trabalho mostra os resultados preliminares de um protótipo de TC híbrido, que incorpora dois detectores, um PCD e outro EID.

**Materiais e métodos:** Um gantry de um TC desativado foi utilizado como estrutura mecânica. O tubo de raios X é do modelo I-40R 15RF (IMD, Itália). O PCD é formado por seis chips Medipix 3RX, totalizando 256x1536 pixels com tamanho de pixel de 27,5  $\mu\text{m}$  no isocentro, o material do sensor é CdTe. O detector IED é composto por 32x384 pixels e tamanho de pixel de 0,53x0,56  $\text{mm}^2$  no isocentro. O campo de visão (FOV) do PCD é 42 mm e o do EID é 215 mm. O algoritmo de reconstrução é o Feldkamp-Davis-Kress. Foi realizada uma tomografia de um objeto simulador cilíndrico homogêneo de poliacetal com 3 cm de diâmetro e com subcilindros de 4 mm de diâmetro cada.

**Resultados e discussões:** A Figura 1 em anexo mostra o tomógrafo e imagens obtidas com o EID e PCD usando os parâmetros 70 kV, 2 mA com e 60 s de tempo de imagem. Visualmente é observável que a imagem com o PCD apresenta uma maior resolução espacial quando comparada com o EID. Por outro lado, a razão sinal-ruído na imagem do EID é  $44 \pm 5$  e  $5 \pm 1$  para o PCD. Um ponto negativo no caso do PCD é a presença de artefatos em anel.



**Conclusões:** Os resultados iniciais demonstram o potencial do sistema híbrido em fornecer imagens simultâneas com características complementares. A maior resolução do PCD e o

menor ruído do EID evidenciam essa complementaridade. Contudo, o PCD apresenta custo elevado que dificulta a sua implementação em um FOV. Futuramente, serão feitas melhorias no processamento e na redução de artefatos.

**Agradecimento:** Este trabalho foi apoiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com recursos da Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991, no âmbito do PNM-Design, coordenado pela Softex e publicado PDI 05 - HAPI Tomógrafo, DOU 01245.019446/2022-11. Agradecemos também ao "Centro de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação" pelo software de reconstrução.

**Referências:**

- [1] Esquivel, A., Ferrero, A., Mileto, A., Baffour, F., Horst, K., Rajiah, P.S., Inoue, A., Leng, S., McCollough, C., Fletcher, J.G.: Photoncounting detector CT: key points radiologists should know. *Korean journal of radiology* 23(9), 854 (2022).
- [2] Willemink, M.J., Persson, M., Pourmorteza, A., Pelc, N.J., Fleischmann, D.: Photon-counting CT: technical principles and clinical prospects. *Radiology* 289(2), 293–312 (2018)
- [3] Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical cone-beam algorithm. *Journal of the Optical Society of America A*. 1984 Jun 1;1(6):612.

## Implementação de uma ferramenta computacional para análise quantitativa de uniformidade e da integridade de canais em equipamentos de ultrassonografia médica

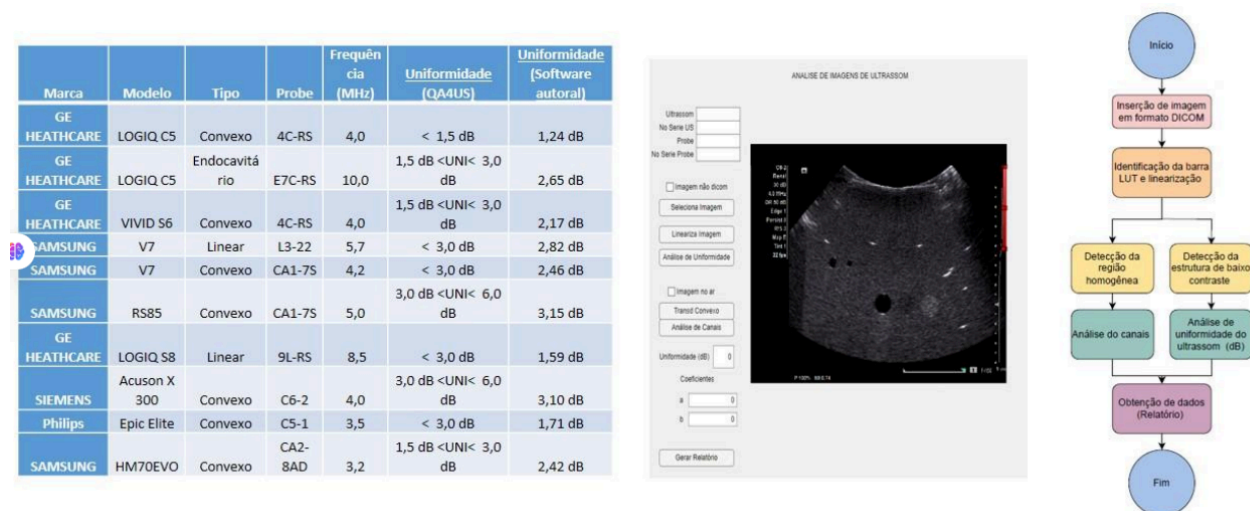
Almeida V.<sup>1</sup>, Marques T.<sup>2</sup>, Alvarez M.<sup>3</sup>, De Pina D.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Fmb Unesp Botucatu, <sup>2</sup> Túlio Guilherme Soares Marques, <sup>3</sup> Consult Medicina Radiometria E Qualidade, <sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista

**Resumo:** A Instrução Normativa nº 96, de 27 de maio de 2021(1,2), estabelece os testes de controle de qualidade (CQ) para equipamentos de ultrassonografia médica e suas periodicidades mínimas. No entanto, não especifica metodologias para esses testes, delegando ao físico médico a responsabilidade de buscar protocolos nacionais ou internacionais. Essa lacuna é crítica em avaliações quantitativas, como o teste de uniformidade, que exige tolerância de 4 dB. Contudo, não há protocolos oficiais com metodologias quantitativas padronizadas para essa análise (3). Embora existam softwares no mercado, como o QA4US(4), os mesmos costumam ser complexos e pouco acessíveis. Torna-se, portanto, essencial desenvolver uma ferramenta simples e intuitiva para avaliação da uniformidade.

**Materiais e métodos:** Um software autoral foi desenvolvido em MATLAB (R2024b)(5) que recebe como input imagens de ultrassom em formato DICOM (6) com estruturas de baixo contraste. Ele realiza a linearização da imagem e calcula a uniformidade em dB com base em quatro regiões de interesse (ROIs) predefinidas (7). O programa inclui um módulo para avaliação da integridade dos canais do transdutor a partir de imagens da região de uniformidade. Por fim, gera um relatório em HTML com os resultados. Os valores de uniformidade aferidos foram comparados com resultados do QA4US. A figura 1 apresenta a arquitetura do software e as etapas que o usuário deve seguir para sua utilização.

**Resultados e discussões:** Os valores de uniformidade obtidos pelo software autoral variaram entre 1,24 dB e 3,15 dB, permanecendo dentro dos intervalos de referência estabelecidos pelo QA4US para todos os modelos de sistemas e probes testados, conforme exposto na Figura 1. Esses resultados indicam boa concordância entre os métodos e reforçam a confiabilidade da ferramenta autoral para avaliações quantitativas da uniformidade em imagens de ultrassom.



**Conclusões:** O software autoral apresentou concordância relevante com o padrão ouro adotado e foi incorporado às ferramentas usadas nos testes de controle de qualidade (CQ) em ultrassonografia médica em um hospital de grande porte. A ferramenta demonstrou potencial

para integrar o rol de softwares disponíveis para suporte às rotinas de controle de qualidade em equipamentos de US, e será disponibilizada em repositórios online.

**Agradecimento:** Os autores agradecem ao Ministério da Saúde pelo apoio financeiro concedido.

**Referências:**

[1] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 96, de 27 de maio de 2021 (republicada em 2022). Diário Oficial da União, 6 jul. 2022.

[2] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 611, de 9 de março de 2022. Diário Oficial da União, 16 mar. 2022.

[3] GOODSITT, M. M. et al. Real-time B-mode ultrasound quality control procedures. AAPM, 1998.

[4] WEIJERS, G. et al. Quality assurance for medical ultrasound equipment. Radboud UMC.

[5] MATHWORKS. MATLAB R2024b [software]. The MathWorks Inc., 2024.

[6] NEMA. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). NEMA, 2024.

[7] GAMMEX INC. Doppler Flow Phantom - Model 1425B. Sun Nuclear, 2021.

## PROTOSCOLOS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE BAIXA DOSE EM PACIENTES COM UROLITÍASE: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Coltz G.<sup>1</sup>, Peglow K.<sup>2</sup>, Pianoschi T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gislaine Maria Coltz, <sup>2</sup> Hospital São Lucas Da Pucrs, <sup>3</sup> Ufcsa

**Resumo:** A urolitíase acomete cerca de 15% da população mundial, sendo a tomografia computadorizada (TC) o principal exame diagnóstico[1]. A TC implica exposição à radiação ionizante, aspecto relevante em contextos de monitoramento contínuo. A recorrência de cálculos urinários atinge 50-70% em 10 anos[2] e cerca de 32% dos pacientes recebem mais de 20 mSv por ano, elevando o risco de efeitos adversos[3]. Assim, protocolos de baixa dose impactam positivamente a prática clínica ao viabilizar um acompanhamento com menor exposição à radiação de pacientes com recorrência da doença. Esta pesquisa propõe uma revisão da literatura para mapear protocolos de TC de baixa dose que sejam capazes de reduzir a exposição à radiação, sem comprometer a qualidade da imagem diagnóstica.

**Materiais e métodos:** A pesquisa buscou responder: 1) Quais os parâmetros técnicos (kV e mAs) foram utilizados para reduzir a dose? 2) Qual protocolo anatômico foi adotado na avaliação da urolitíase? A pesquisa focou em estudos relacionados ao uso da TC de baixa, ultrabaixa e dose padrão. A estratégia de busca foi construída utilizando as palavras-chave “tomografia computadorizada”, “baixa dose” e “urolitíase”. Incluíramse trabalhos que avaliaram acurácia, qualidade de imagem e redução de dose em adultos, sendo excluídos os que dependiam exclusivamente de pós-processamento. A dose efetiva reportada nos estudos baseou-se nos descritores de dose do equipamento (CTDI<sub>vol</sub> e DLP), recomendados pela ICRP.

**Resultados e discussões:** Foram selecionados 236 artigos; 16 duplicados e 181 rejeitados por critérios de exclusão, restando 39 artigos após leitura dos resumos. Destes, 3 foram analisados na íntegra. Consideraramse dados relativos aos parâmetros técnicos (kV e mAs) para aquisição das imagens, ao protocolo de exame aplicado (padrão, de baixa dose e/ou delimitado à região pélvica) e a média de dose efetiva, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Análise dos artigos selecionados de acordo com critérios pré-definidos.

| Artigos  | Protocolo  | kV             | mAs  | CTDI <sub>vol</sub><br>(mGy) | DLP<br>(mGy·cm) | Média de Dose Efetiva (mSv) |
|--|--|----------------|------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| (4) Santos <i>et al.</i> (2020).                                   | TC abdomino-pélvica (protocolo padrão)                                 | 100, 120 e 140 | 192  | 16,6                         | -               | 12,28                       |
| (5) Sabarudin <i>et al.</i> (2015). DOI: 10.1120/jacmp.v16i1.5135. | TC abdomino-pélvica (protocolo dedicado de baixa exposição à radiação) | 120            | 192  | -                            | -               | 6,01                        |
| (6) Roberts <i>et al.</i> (2020). DOI: 10.1111/bju.15116           | TC aparelho urinário   | 120            | 82,2 | -                            | 331,6           | 4,97                        |

Fonte: autores.

**Conclusões:** O estudo preliminar demonstra a viabilidade de protocolos de TC com dose otimizada para urolitíase. As estratégias de ajuste de parâmetros técnicos e delimitação anatômica são promissoras na detecção de cálculos. Contudo, a amostra limitada impede

generalizações e ressalta a necessidade de uma revisão ampliada a partir da inclusão de novos artigos para o mapeamento de protocolos eficazes.

**Referências:**

- [1] SOCIEDADE BRASILEIRA DE UROLOGIA. Litíase urinária: investigação diagnóstica. 2019. Disponível em: <https://amb.org.br>.
- [2] KANDASAMY, M. et al. Comparison of diagnostic accuracy of ultra low-dose CT and X-ray in urolithiasis follow-up. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2023;68:132–40.
- [3] TZOU, D. T. et al. CT radiation exposure among kidney stone patients: Registry results. *J Endourol.* 2019;33:619– 24.
- [4] SANTOS JUNIOR, J. A. dos; JANSONNEY, M. S. C.; FONSECA, G. V. de S. Dose efetiva em TC: estudo retrospectivo. *Diagn Tratam.* 2020;25(2):46–51.
- [5] SABARUDIN, A. et al. Dose reduction in thoracic and abdomen-pelvic CT: phantom study. *J Appl Clin Med Phys.* 2015;16:5135.
- [6] ROBERTS, M. J. et al. Ultra-low vs. standard-dose CT in renal colic. *BJU Int.* 2020;126 Suppl 1:27–32.

## Aplicação da tomografia de dupla energia na geração de mapas de iodo para avaliação de TEP: Protocolo de PósProcessamento.

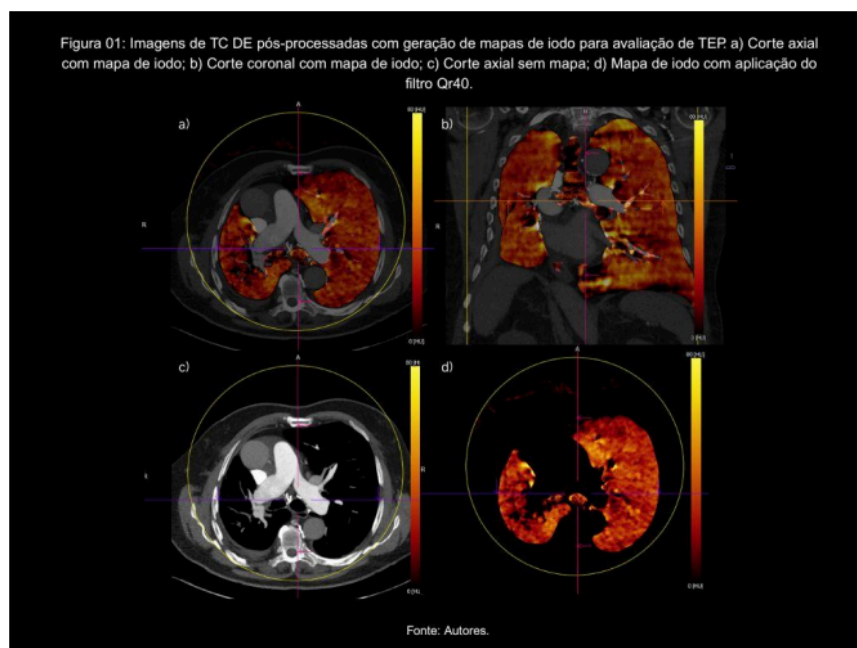
Arruee G.<sup>1</sup>, Peglow K.<sup>2</sup>, Valentini B.<sup>2</sup>, Galhardi M.<sup>3</sup>, Pianoschi T.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 02298976066, <sup>2</sup> Hospital São Lucas Da Pucrs, <sup>3</sup> -, <sup>4</sup> Ufcspa

**Resumo:** A Tomografia Computadorizada (TC) evoluiu com a tecnologia Dual Energy (DE), permitindo a aquisição simultânea de imagens em dois espectros de energia, viabilizando novas possibilidades diagnósticas [1]. O pós-processamento de imagens desempenha papel relevante na avaliação anatômica voltada ao diagnóstico, sendo fundamental a padronização e gestão de protocolos para tornar essa avaliação mais precisa [1,2]. Dentre as aplicações da DE, destaca-se a geração de mapas de iodo, que avaliam sua distribuição no parênquima pulmonar e se correlacionam com a perfusão [3,4]. Este trabalho apresenta um protocolo de pós-processamento torácico em TC DE para avaliação do tromboembolismo pulmonar (TEP) por meio de mapas de iodo.

**Materiais e métodos:** Trata-se de um estudo descritivo de protocolo de pós-processamento para avaliação de tromboembolismo pulmonar (TEP) em tomografia computadorizada (TC) com tecnologia Dual Energy. As imagens foram obtidas em um SOMATOM Drive (256 canais), com espectros de 100 e 140 kV. O pósprocessamento foi realizado no software Syngo.via (Siemens Healthineers), utilizando a ferramenta “Lung Analysis” para gerar mapas de iodo que representam sua distribuição no parênquima pulmonar. As imagens foram reconstruídas nos planos axial e coronal, com calibração automática e normalização de contraste por meio de um ROI na artéria pulmonar para análise qualitativa e quantitativa da perfusão.

**Resultados e discussões:** A aplicação do protocolo desenvolvido permitiu gerar mapas de iodo que permitem a quantificação adequada da perfusão pulmonar, o que serve como complemento à angiotomografia convencional. O mapeamento reflete a distribuição de iodo no parênquima pulmonar. Apesar dos benefícios, há desafios quanto à padronização dos protocolos para uso clínico.



**Conclusões:** O protocolo de pós-processamento com mapas de iodo demonstrou ser uma ferramenta útil e viável para a avaliação da perfusão pulmonar em casos de TEP. A tecnologia DE agrega valor à angiotomografia convencional ao oferecer dados funcionais adicionais que permitem identificar áreas hipoperfundidas de formas quantitativa e qualitativa. Estudos para padronização ainda são necessários.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Serviço de Radiologia do Hospital Moinhos de Vento pelo apoio e por viabilizar a realização deste trabalho.

**Referências:**

- [1] FORGHANI, R. et al. Dual-energy computed tomography: physical principles, approaches to scanning, usage, and implementation: part 1. *Neuroimaging Clinics of North America*, v.27(3),p371,2017.
- [2] DA COSTA ROSA et al. Manual prático de pós-processamento de imagens em Tomografia Computadorizada. *Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas*, v.25(2),p207,2024.
- [3] GROB, Dagmar et al. Image quality of iodine maps for pulmonary embolism: a comparison of subtraction CT and DE by CT. *Am. Jour. of Roentgenology*, v.212(6),p1253, 2019.
- [4] MURPHY, Andrew et al. Dual-energy computed tomography pulmonary angiography: comparison of vessel enhancement between linear blended and virtual monoenergetic reconstruction techniques. *Jour. of Medical Imaging and Radiation Sciences*, v.50(1), 62, 2019.
- [5] BOSMANS, H. et al. European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging. *Radiation Protection No. 185*, 2018. ...

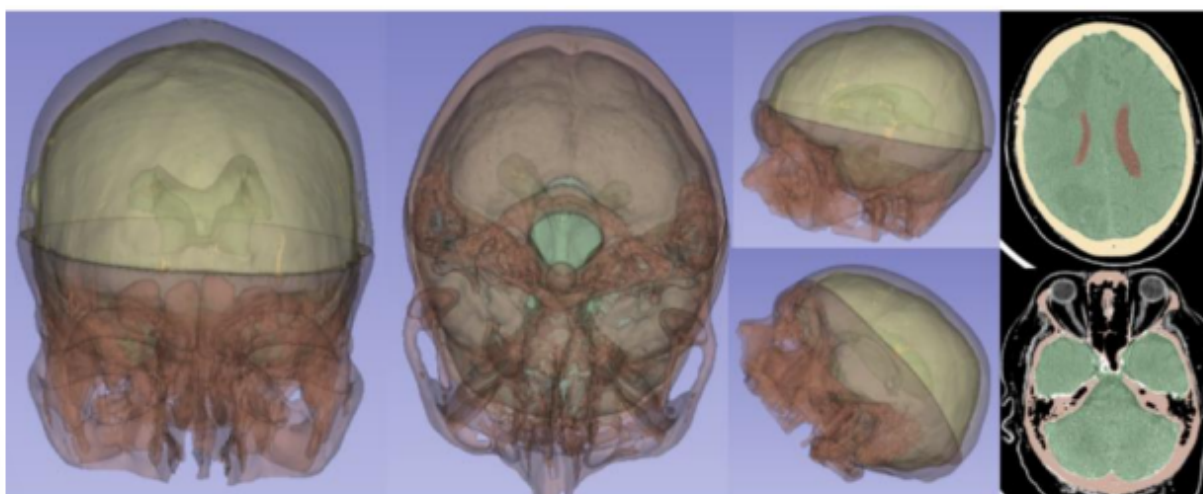
## Desenvolvimento e validação de objetos simuladores antropomórficos para aplicações em diagnóstico por imagem do cérebro

De Oliveira V.H., Boiset G.<sup>1</sup>, Nersissian D.<sup>2</sup>, Costa P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ifusp, <sup>2</sup> Instituto De Física - Universidade De São Paulo, <sup>3</sup> Instituto De Física Da Usp

**Resumo:** No contexto das tecnologias de diagnóstico por imagem, em especial da Tomografia Computadorizada (TC), objetos simuladores (phantoms) são dispositivos feitos com materiais que simulam a interação da radiação ionizante de maneira similar à esperada por tecidos humanos. Nesse sentido, estes dispositivos ajudam na avaliação de padrões técnicos, protocolares e dosimétricos, em harmonia com critérios de segurança e qualidade nacionais e internacionais. Neste contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um phantom antropomórfico craniano, baseado em aquisições tomográficas e na seleção de materiais com propriedades radiológicas equivalentes aos tecidos ósseo e cerebral, visando aplicações em diagnóstico.

**Materiais e métodos:** Imagens de TC de pacientes anonimizados (CAAE: 27912619.6.0000.0068) foram segmentadas utilizando o software 3D Slicer2 para obtenção de modelos tridimensionais das estruturas cranianas. A modelagem incluiu a calota, base do crânio, ventrículos cerebrais e três massas encefálicas (metástases). A escolha de materiais utilizados em técnicas de impressão 3D foi baseada na caracterização por espectrometria por raios X para obtenção dos coeficientes de atenuação linear,  $\mu(E)$ , e utilizando imagens de TC para medição dos números CT. Por fim, os dados foram comparados aos valores de referência dos tecidos humanos com base no banco NIST/XCOM4 e no relatório ICRU-445.



**Resultados e discussões:** Os resultados evidenciaram que o PLA Stone, com número CT entre 700 e 770 HU, tem contraste semelhante ao do tecido ósseo<sup>6</sup>. A mistura de resina epóxi com 1% de NaCl apresentou  $\mu(E)$  com 11% de diferença em relação ao tecido cerebral e número CT de 49 HU (valor de referência 40 HU)<sup>6</sup>. A segmentação gerou modelos compatíveis com impressão 3D, incluindo estruturas de interesse clínico como ventrículo.

**Conclusões:** O estudo fundamenta a viabilidade da combinação entre a modelagem digital e a escolha de materiais para produção de phantoms antropomórficos cranianos. As amostras PLA Stone e epóxi com NaCl mostraram-se promissoras quanto à reprodutibilidade radiológica.

Dessa forma, o phantom resultante será aplicável no contexto de imagens e será um candidato adequado para simuladores realistas em neuroimagem.

**Referências:**

- [1] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). What are imaging phantoms? Disponível em: <https://www.nist.gov/physics/what-are-imaging-phantoms>.
- [2] 3D Slicer. 3D Slicer software. Disponível em: <https://www.slicer.org>.
- [3] SIRICO, Ana Carolina Albernaz. Aplicações de métodos para validação de materiais radiologicamente equivalentes a tecido humano e à água. 2020. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.43.2020.tde-10022021-122312>.
- [4] Hubbell J, Seltzer S. NIST standard reference database 126. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1996. doi:10.18434/T4D01F.
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS (ICRU). ICRU Report 44: Tissue substitutes in radiation d

## Avaliação da Rejeição de Imagens em Mamografia Digital: Conformidade com Recomendações de Controle de Qualidade e Proteção Radiológica

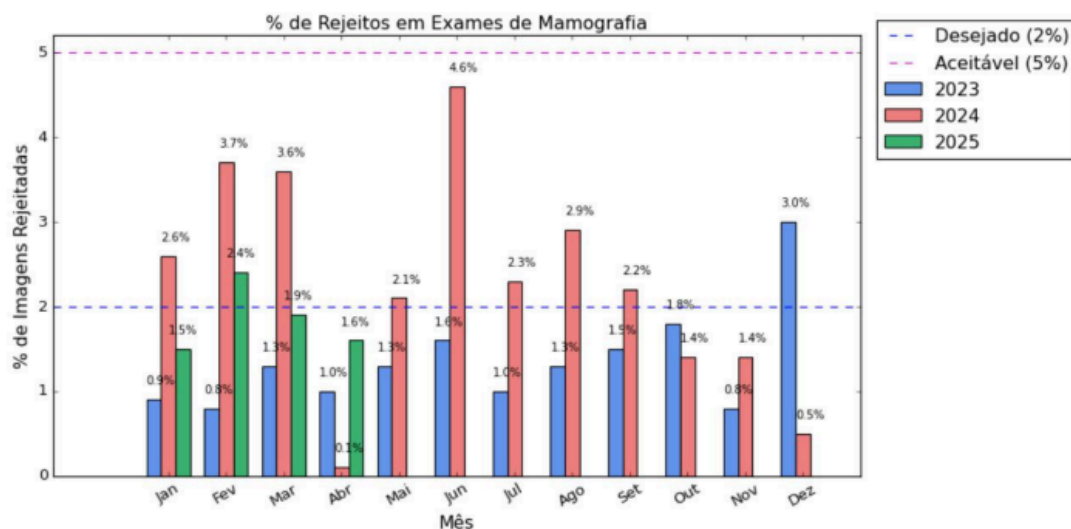
Berwanger J.<sup>1</sup>, Dorneles T.<sup>2</sup>, De Carvalho G.<sup>3</sup>, Candeia B.<sup>3</sup>, Dias J.<sup>4</sup>, Bacelar A.<sup>4</sup>, Anés M.<sup>4</sup>, Lykawka R.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Juliane Pacheco Berwanger, <sup>2</sup> Ufcspa, <sup>3</sup> Não Pertencem a Nenhuma Empresa/Entidade, <sup>4</sup> Hcpa, <sup>5</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre

**Resumo:** O exame de Mamografia é amplamente utilizado para o rastreamento e diagnóstico precoce do câncer de mama, portanto, é fundamental assegurar a qualidade das imagens adquiridas. A rejeição de imagens pode comprometer a eficiência do serviço, elevar a dose de radiação recebida e aumentar os custos operacionais. Dentre os princípios de Proteção Radiológica, estão o da justificação, que estabelece que nenhuma exposição deve ser realizada sem um benefício clínico claro, e da otimização, que visa manter as exposições tão baixas quanto razoavelmente possível (princípio ALARA) sem comprometer a qualidade diagnóstica. Este trabalho buscou avaliar a taxa de rejeição de imagens mamográficas e verificar a conformidade com recomendações internacionais, avaliando também os principais motivos de rejeição.

**Materiais e métodos:** Foram coletados dados de rejeição de imagens no período de 2023 a abril de 2025, obtidas mensalmente a partir dos relatórios do sistema de mamografia Mammomat Inspiration Siemens, localizado no Serviço de Radiologia do HCPA. Cada imagem rejeitada é identificada pelo motivo de rejeição predefinido e operador. Para a avaliação, foram considerados os limites recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) no documento Human Health Series N° 17, que estabelece uma taxa de repetição aceitável inferior a 5%, sendo desejável mantê-la abaixo de 2%, considerando um mínimo de 250 pacientes, garantindo relevância estatística.

**Resultados e discussões:** A taxa de rejeição anual foi de 1,5% (2023), 2,2% (2024) e 1,8% (até 04/2025). O principal motivo foi o posicionamento inadequado da paciente (73,8%), seguido por artefatos na imagem (18,8%). O aumento de 15,4% na equipe técnica, com o ingresso de novos operadores, e a manutenção recorrente em uma das salas podem ter influenciado os resultados obtidos.



**Conclusões:** No período, as taxas de rejeição mantiveram-se abaixo do limite internacional de 5%, mas houve aumento na frequência de valores superiores a 2% em 2024, tendência que

pode seguir em 2025. Esse cenário reforça a importância do acompanhamento do plano de garantia da qualidade do hospital e da análise periódica dos rejeitos para garantir segurança, eficácia diagnóstica e otimização das doses.,

**Referências:**

- [1] AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA. Programa de Garantia da Qualidade para Mamografia Digital. Viena: IAEA, 2011. (Human Health Series, n. 17).
- [2] MERCIECA, N.; PORTELLI, J. L.; JADVA-PATEL, H. Mammographic image reject rate analysis and cause – A National Maltese Study. Radiography, [S.l.], v. 23, n. 1, p. 25–31, 2017. DOI: 10.1016/j.radi.2016.07.004.
- [3] EKLUND, G. W.; CARDENOSA, G. The art of mammographic positioning. Radiologic Clinics of North America, Philadelphia, v. 30, n. 1, p. 21–53, jan. 1992.

## Simulação de Contrastes Radiológicos em MicroCT

Pinheiro L.<sup>1</sup>, Lopes R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lays Dos Santos Pinheiro, <sup>2</sup> Rlopes

**Resumo:** Este projeto tem como objetivo desenvolver uma simulação computacional que avalia o impacto de diferentes meios de contraste na atenuação dos raios-X em microtomografia computadorizada (microCT). Ele ajudará a otimizar a escolha de agentes de contraste para diferentes tipos de amostras biológicas ou materiais, considerando suas propriedades de absorção e dispersão dos fótons de raios-X.

**Materiais e métodos:** As simulações foram conduzidas utilizando Geant4 e MCNP para modelar a interação de raios-X com diferentes meios de contraste (iodo, gadolínio e nanopartículas metálicas) aplicados a amostras simuladas. Python foi empregado no processamento e visualização dos dados, com uso de Matplotlib para gráficos e Dragonfly SDK para visualizações tridimensionais. A transmissão foi avaliada em função da energia (20–120 keV) via Lei de Beer-Lambert. Os coeficientes de atenuação foram obtidos do NIST. Foram comparados os efeitos dos contrastes na atenuação e qualidade de imagem simulada.

**Resultados e discussões:** O ouro apresentou a maior atenuação em todas as energias simuladas (20–120 keV), seguido por gadolínio e iodo. Isso indica maior eficácia para gerar contraste, especialmente em baixas energias. A escolha do agente ideal deve considerar o tipo de amostra, a qualidade da imagem desejada e a dose de radiação envolvida.

**Conclusões:** A simulação demonstrou que agentes de alto número atômico, como o ouro, oferecem melhor atenuação e contraste em microCT. A análise comparativa auxilia na escolha do meio mais adequado para cada aplicação, otimizando a qualidade da imagem e reduzindo a exposição à radiação em estudos biológicos e de materiais.

**Agradecimento:** Agradeço ao Laboratório de Imagens e Núcleos (LIN) pelo suporte técnico e infraestrutura disponibilizada, e ao Prof. Ricardo Tadeu Lopes pela orientação, incentivo e contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

### Referências:

[1] <https://www.scielo.br/j/floram/a/YDvrzycHJsc63GpHR7KmrPz/?lang=pt>

[2] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7966753/>

[3] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023102210>

[4] [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/49/18/009/meta?casa\\_token=FLWYcv7KVHIAAAAA:C3jFJci51lZLSgrLM3kA1zXbdL7Et62aoERc1WNHJZDz6taddtMCZGRxOZGyrCTY56EarqG7JxIT7V7WVT6FQpqr6koy](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/49/18/009/meta?casa_token=FLWYcv7KVHIAAAAA:C3jFJci51lZLSgrLM3kA1zXbdL7Et62aoERc1WNHJZDz6taddtMCZGRxOZGyrCTY56EarqG7JxIT7V7WVT6FQpqr6koy)

[5] <https://www.scielo.br/j/rb/a/j5vWhG6Y4TV9QF4YdySNvdj/?lang=pt>

## Estudo comparativo da qualidade de imagem da Mamografia Digital e da Mamografia Sintética obtida através da Tomossíntese Digital Mamária

Dos Santos R.<sup>1</sup>, De Oliveira S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Roberta Ferreira Dos Santos, <sup>2</sup> Fiocruz

**Resumo:** Hoje não é possível imaginar um protocolo de prevenção para o câncer de mama sem pensar no exame de mamografia. Porém, nos últimos anos, diversas outras aplicações foram elaboradas, mas a Tomossíntese Digital Mamária (TDM) passou a ganhar maior destaque, uma vez que permite a visualização das mamas sem sobreposição de tecidos, reduzindo a possibilidade de falso-positivo. O procedimento pode ainda ser mais eficiente quando o sistema produz uma Imagem Mamográfica Sintética (IMS), que apresenta o mesmo padrão de uma Imagem Mamográfica Digital Convencional (IMDC), sem aumento da exposição às radiações ionizantes, uma vez que a imagem é produzida a partir da aquisição da TDM. Assim, o objetivo é discutir a eficiência desta imagem produzida a partir de padrões como contraste, ruído e dose.

**Materiais e métodos:** Selecionamos os mamógrafos Senographe Pristina GE e Amulet Innovality FUJIFILM, ambos produzem imagem sintética a partir da TDM. Utilizamos quatro simuladores comerciais de mama: Mammography ACR Phantom 156, Phantom Mama, CIRS 011A e CIRS 014A; para produzir diferentes imagens, variando a quantidade de detalhes a serem analisados. Para evitar grandes variações, todas as imagens foram obtidas em modo automático e em um mesmo posicionamento, tanto a partir da TDM quanto em MDC, havendo apenas variações de espessura em alguns casos. Para a análise das imagens, utilizamos o programa ImageJ e comparamos os resultados de qualidade entre as imagens padrão e sintética.

**Resultados e discussões:** Os resultados são preliminares, a partir da observação das imagens, mas mostram que a IMS apresenta resultado satisfatório quando observado os objetos padrões presentes nos simuladores de mama. Porém, observamos que a imagem apresenta um ruído maior quando comparada com a IMDC, fato esperado, considerando a obtenção da imagem que é realizada em cortes angulados (9 no total).



**Conclusões:** Como ainda se tratam de resultados preliminares, observamos que as IMS apresentam algumas limitações visuais, como uma textura mais granulada, porém aparenta apresentar um contraste de imagem mais elevado, dado as diferenças entre determinadas regiões. No que se refere a eficiência para obtenção de parâmetros específicos, como microcalcificações, as IMS se mostram eficiente.

**Agradecimento:** Agradeço ao IRD pela oportunidade e a CAPES pelo apoio financeiro.

**Referências:**

- [1] BALDELLI, P., BERTOLINI, M., CONTILLO, A., GALA, G. D., GOLINELLI, P., PAGAN, L., RIVETTI, S., TAIBI, A. A comparative study of physical image quality in digital an synthetic mammography from commercially available mammography systems. *Physics in Medicine & Biology*, 2018.
- [2] BARCA, P., LAMASTRA, R., CARAMELLA, D., TARINO, A., TUCCIARIELLO, R., FANTACCI, M. Image Quality Comparison between Digital an Synthetic 2D Mammograms: A Qualitative and Quantitative Phantom Study. *Bioimaging*, 2019.
- [3] CHIKARMANE, A. S., OFFIT, R. L., GLESS, C. S. Synthetic Mammography: Benefits, Drawbacks, and Pitfalls. *RadioGraphics*, 2023.

## Uso de software livre para auxílio no gerenciamento de protocolos de imagem

Amorim P.<sup>1</sup>, Jornada T.<sup>2</sup>, De Oliveira B.<sup>3</sup>, Ferro A.<sup>4</sup>, Souza D.<sup>5</sup>, Caldas L.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Priscila Amorim, <sup>2</sup> Hc Ufpe/Ebserh, <sup>3</sup> Ipen, <sup>4</sup> Estudante, <sup>5</sup> Universidade Federal De Sergipe

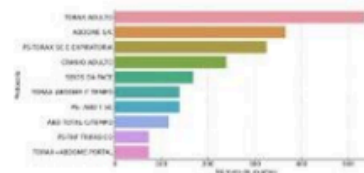
**Resumo:** Segundo o documento da Associação Americana de Física Médica (AAPM) (1), a revisão e o gerenciamento de protocolos de tomografia computadorizada (TC) são fundamentais para assegurar a qualidade diagnóstica, otimizar a dose de radiação e garantir o uso adequado do equipamento, promovendo, assim, a segurança do paciente. Centros que realizam exames de TC operam com inúmeros protocolos, variando conforme a região anatômica, a indicação clínica, a faixa etária do paciente, o uso de contraste entre outras particularidades. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é descrever as características e frequências dos exames tomográficos realizados em um hospital universitário, fornecendo subsídios para aprimorar a gestão de protocolos e estratégias de otimização.

**Materiais e métodos:** Foi conduzido um estudo retrospectivo com base na extração de dados realizada por meio do software livre OpenREM (2), no setor de tomografia computadorizada (TC) do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco (HC-UFPE). O referido software é utilizado para o gerenciamento e análise de doses em exames de radiodiagnóstico por imagem. Foram incluídos no estudo os exames realizados no período compreendido entre janeiro de 2023 e dezembro de 2024. Os dados coletados foram anonimizados, exportados e organizados para posterior análise estatística. As variáveis avaliadas incluíram: tipo de exame, frequência por protocolo, faixa etária dos pacientes, volume tomográfico de dose.

**Resultados e discussões:** Anexado na imagem

**Resultados e Discussão:** A análise dos dados apresentados no Gráfico 1, obtidos por meio do software OpenREM, evidencia que o protocolo de tomografia de tórax em adultos foi, de forma significativa, o mais frequentemente utilizado ao longo do período entre janeiro de 2023 e dezembro de 2024, totalizando mais de 500 exames realizados. Na sequência, verificou-se também uma elevada demanda pelos protocolos de abdome sem contraste e PS-tórax sem contraste com fase expiratória, ambos com quantitativos superiores a 300 exames no mesmo período.

Gráfico 1. Protocolos mais utilizados no setor de TC.



Apesar de o protocolo de tomografia de crânio em pacientes adultos ter apresentado o maior valor de  $CTDI_{vol}$  (Gráfico 1), os níveis observados permaneceram dentro dos limites de referência estabelecidos pela Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) vigente (Tabela 1), não configurando, portanto, prioridade para intervenção imediata. Diante disso, recomenda-se que as ações de otimização sejam direcionadas, inicialmente, aos exames que envolvem múltiplas fases, como os protocolos de aorta arterial, abdome trifásico e abdome total, os quais tendem a resultar em doses mais elevadas devido à sua complexidade e extensão.

Gráfico 1: Valores de  $CTDI_{vol}$  Médio dos 10 protocolos mais utilizados.

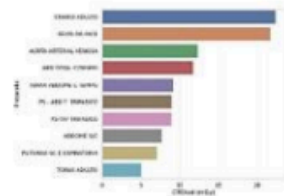


Tabela 1. Limites estabelecidos pela RDC.

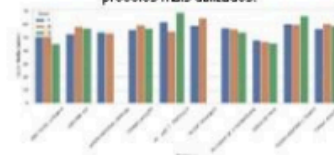
| Exame                   | $CTDI_{vol}$      |
|-------------------------|-------------------|
| Cabeça (adulto típico*) | Referência Máxima |
| Abdome (adulto típico*) | 70                |
| Abdome (pediátrico**)   | 25                |
| Abdome (pediátrico**)   | 20                |

\*Pacientes adultos típico (para fins de avaliação de exposição médica em adulto) – indivíduo com características biométrica típica de adulto, com peso entre 60 e 75 Kg e altura entre 1,60 e 1,75m.

\*\*Pediátrico – indivíduo com 5 anos de idade, com aproximadamente 20 Kg.

Outro aspecto relevante diz respeito à baixa frequência de exames realizados em pacientes neonatais e pediátricos, conforme demonstrado no Gráfico 2. Trata-se de um grupo que demanda atenção especial em termos de radioproteção. Os dados indicam que o número de exames nessa faixa etária é aproximadamente dez vezes inferior ao observado na população entre 40 e 59 anos, o que justifica, neste momento, a priorização de ações de otimização voltadas aos protocolos destinados à população adulta.

Gráfico 2: Idade Média por protocolo e sexo dos 10 protocolos mais utilizados.



**Conclusões:** A utilização do software OpenREM permitiu uma compreensão detalhada da rotina dos protocolos de exames tomográficos do setor, apontando caminhos mais eficientes para o início do processo de otimização. Portanto, caso o físico médico seja questionado sobre a escolha de iniciar o processo de otimização por protocolos não convencionais, suas ações estarão fundamentadas em dados objetivos.

**Agradecimento:** Os autores agradecem ao Hospital das Clínicas de Pernambuco, às agências de fomento IPEN/CNEN na bolsa (P.S.A) e CNPq (Projetos nº 305142/2021-6, 407493/2021-2, 131466/2023-2, 307008/2022-3) FAPESP (Projeto nº 2018/05982-0).

**Referências:**

- [1] Cody DD, Dillon CM, Fisher TS, Liu X, McNitt-Gray MF, Patel V. AAPM Medical Physics Practice Guideline 1.b: CT protocol management and review practice guideline. *J Appl Clin Med Phys.* 2021;22(6):4–10. doi:10.1002/acm2.13193.
- [2] OpenREM. OpenREM – Open Radiology Exposure Monitoring [Internet]. [place unknown]: OpenREM project; [cited 2025 May 12]. Available from: <https://openrem.org>

## Ultrassonografia Doppler: Análise de Protocolos de Controle de Qualidade.

Da Silva C.<sup>1</sup>, Jardim A.<sup>2</sup>, Da Silva I.<sup>2</sup>, Lykawka R.<sup>3</sup>, Pianoschi T.<sup>1</sup>, Botelho V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> André Goncalves Jardim, <sup>3</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre, <sup>4</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** A ultrassonografia (US) Doppler é um método de imagem essencial para a análise não invasiva da circulação sanguínea. Contudo, sua natureza quantitativa e operador-dependente, torna seus resultados inerentemente suscetíveis a erros e artefatos. A implementação de exigentes programas de controle de qualidade (CQ) é, portanto, uma condição essencial para certificar a acurácia, a reprodutibilidade e a segurança dos exames. Este trabalho busca contrastar as recomendações de protocolos internacionais com os requisitos mínimos da RDC nº 611/2022 e IN nº 96/2021, a fim de identificar os testes de qualidade citados na literatura que não são mandatórios pela normativa nacional.

**Materiais e métodos:** Como metodologia, foi realizada uma revisão da literatura sobre os protocolos de CQ em diagnóstico por imagem, com foco na inclusão de testes específicos relacionados ao modo Doppler. Nesse contexto, foram analisados o protocolo do IPEM nº 102 e o Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. Para a análise dos testes descritos no protocolo do AIUM, adotou-se como referência o artigo de revisão “A Review of Doppler Ultrasound Quality Assurance Protocols and Test Devices”, o qual oferece uma síntese abrangente dos testes utilizados em programas de CQ. A análise dos materiais permitiu identificar testes não previstos na legislação vigente, mas de relevante importância.

**Resultados e discussões:** A análise mostra que os protocolos internacionais de CQ adotam uma abordagem mais ampla que a exigida por lei, tendo em vista que a legislação brasileira exige apenas dois testes para o modo Doppler em US. A avaliação mais extensa dos parâmetros do modo Doppler resulta em uma avaliação diagnóstica aprimorada, aumentando a confiabilidade clínica e reforçando a segurança do paciente.

FIGURA 1: TABELA COMPARATIVA DE TESTES

| NOME DO TESTE / PARÂMETRO                    | PROTOCOLO   | MODOS DOPPLER   | PERIODICIDADE                                  | SIMULADOR  | OBJETIVO TÉCNICO PRINCIPAL   | IMPACTO CLÍNICO  |
|--|---|---|--|--|--|--|
| Precisão na velocidade do fluxo              | IPEM <sup>(1)</sup> , AIUM <sup>(2)</sup> , ESPANHOL <sup>(3)</sup> | Doppler Espectral   | Aceitação, referência, avaliação e constância. | Simulador String e simulador de tecido com cavidades para fluxo. | Verificar se a velocidade calculada e exibida pelo equipamento corresponde com exatidão à velocidade conhecida de um simulador.  | O teste assegura que o equipamento apresenta o parâmetro preciso permitindo análise de patologias vasculares, como estenoses.  |
| Direção do fluxo                             | IPEM <sup>(1)</sup> , AIUM <sup>(2)</sup> , ESPANHOL <sup>(3)</sup> | Doppler Espectral e Doppler Colorido                      | Aceitação, referência, avaliação e constância. | Simulador String e simulador de tecido com cavidades para fluxo. | Assegurar que o sistema seja capaz de identificar com precisão a direção do fluxo, discriminando adequadamente sinais de desvio de frequência positivo e negativo.                     | O teste assegura que o equipamento tem a resposta necessária para diferenciar com precisão o fluxo anterógrado do retrógrado ou bidirecional.  |
| Registro do Volume Amostral                  | IPEM <sup>(1)</sup> , AIUM <sup>(2)</sup> , ESPANHOL <sup>(3)</sup> | Doppler Espectral, Doppler Colorido e Doppler de Potência | Aceitação, referência, avaliação e constância. | Simulador String e simulador de tecido com cavidades para fluxo. | Assegurar correspondência espacial ideal entre a localização indicada pelo cursor na imagem em modo B e o ponto real de aquisição do sinal Doppler.                                    | O teste assegura o mapeamento preciso do fluxo sanguíneo em seu local anatômico, tanto que resulta na localização exata de patologias e no rastreamento eficaz de artefatos.   |
| Controle de Frequência de Repetição de Pulso | IPEM <sup>(1)</sup> , AIUM <sup>(2)</sup>                           | Doppler Espectral e Doppler Colorido                      | Aceitação, referência e avaliação.             | Simulador String   | Verificar a precisão do ajuste da Frequência de Repetição de Pulso do equipamento em correspondência com as diferentes velocidades de fluxo.   | O teste assegura que o equipamento tem a resposta precisa para prevenir erros diagnósticos nos dois extremos da escala de velocidade.  |
| Correção do Ângulo                           | IPEM <sup>(1)</sup> , AIUM <sup>(2)</sup>                           | Doppler Espectral   | Aceitação, referência e avaliação.             | Simulador String   | Verificar a integridade do software e do hardware da máquina. Validar a precisão do cálculo de velocidade baseado no ângulo (θ) informado ao sistema.                                  | O teste assegura a um valor calculado e depende criticamente do cos(θ). Pequenos erros de ângulo causam grandes erros de velocidade e consequentes decisões terapêuticas inadequadas.  |
| Ganho Doppler                                | IPEM <sup>(1)</sup> , AIUM <sup>(2)</sup>                           | Doppler Espectral, Doppler Colorido e Doppler de Potência | Aceitação, referência e avaliação.             | Simulador String   | Assegurar a consistência e a previsibilidade do controle de ganho, avaliando a sensibilidade, máxima estabilidade e reprodutibilidade.   | O teste assegura que o equipamento apresenta o ganho calibrado e confiável, o que permite ao operador tomar decisões com base em informações hemodinâmicas fidedignas.   |
| Controle de Prioridade Duplex ou Triplex     | IPEM <sup>(1)</sup> , AIUM <sup>(2)</sup>                           | Doppler Espectral, Doppler Colorido e Doppler de Potência | Aceitação, referência e avaliação.             | Simulador String   | Verificar se a operação do equipamento responde de forma eficaz e estável aos comandos do operador.  | O teste assegura que o equipamento tem a resposta precisa, permitindo ao operador escolher qual modo Doppler terá prioridade durante um exame.   |
| Revolução Axial                              | IPEM <sup>(1)</sup> , ESPANHOL <sup>(3)</sup>                       | Doppler Espectral   | Aceitação, referência, avaliação e constância. | Simulador String e simulador de tecido com cavidades para fluxo. | Aferir a menor distância separável entre dois alvos adjacentes, posicionados ao longo do eixo de propagação do feixe de ultrassom.   | O teste assegura que o equipamento tem a capacidade fundamental de fornecer informações anatómicas detalhadas e dimensionalmente precisas, que são a base para um diagnóstico confiável.                                       |
| Sensibilidade                                | AIUM <sup>(2)</sup> , ESPANHOL <sup>(3)</sup>                       | Doppler Espectral e Doppler Colorido                      | Aceitação, referência, avaliação e constância. | Simulador String e simulador de tecido com cavidades para fluxo. | Aferir a capacidade do sistema de detectar os sinais mais fracos, determinando a profundidade mínima de penetração e a menor velocidade de fluxo que o equipamento consegue registrar. | O teste assegura que o equipamento tem a capacidade de detectar fluxos mínimos. Em patologias com fluxo sanguíneo lento, como na trombose venosa profunda a capacidade do aparelho de detectar esses fluxos é vital.           |
| Alargamento Espectral Intrínseco (Artefato)  | IPEM <sup>(1)</sup>   | Doppler Espectral   | Aceitação, referência e avaliação.             | Simulador String   | Verificar o espessamento da linha espectral que é um artefato inerente ao próprio equipamento, validando a performance do sistema.   | O teste assegura que o equipamento tem a capacidade fundamental de diferenciar o alargamento espectral intrínseco que pode imitar o alargamento espectral patológico.  |
| Controle da Linha de Base                    | IPEM <sup>(1)</sup>   | Doppler Espectral e Doppler Colorido                      | Aceitação, referência e avaliação.             | Simulador String   | Verificar a precisão do controle de linha de base quanto à discriminação de fluxos e estabilidade da linha zero.   | O teste assegura que o equipamento tem a capacidade fundamental de permitir que o operador possa usar todo o potencial de escala de velocidade para realizar medições precisas dos pacientes.                                  |
| Resposta do Filtro High-Pass                 | AIUM <sup>(2)</sup>   | Doppler Espectral e Doppler Colorido                      | Não encontrado                                 | injeção eletrônica   | Verificar a funcionalidade, a precisão e a consistência do filtro, garantindo que essa ferramenta crítica de “limpeza de imagem” seja confiável e calibrada.                           | O teste assegura que o equipamento tem a capacidade de eliminar seletivamente os ruídos de baixa velocidade (movimento das paredes dos vasos), sem remover os sinais de fluxo sanguíneo lento que são diagnosticamente vitais. |
| Precisão no Volume do Fluxo                  | ESPANHOL <sup>(3)</sup>   | Doppler Espectral e Doppler Colorido                      | Aceitação, referência, avaliação e constância. | Simulador String e simulador de tecido com cavidades para fluxo. | Verificar a integridade do sistema de cálculo do equipamento, pois este parâmetro depende dos valores de velocidade e área.  | Este teste comprova que o equipamento realiza medições confiáveis, essenciais para o manejo adequado de fistulas arteriovenosas em pacientes de hemodiálise.   |
| Resolução Lateral                            | ESPANHOL <sup>(3)</sup>   | Doppler Espectral   | Aceitação, referência, avaliação e constância. | Simulador String e simulador de tecido com cavidades para fluxo. | Aferir a menor distância separável entre dois alvos adjacentes, posicionados perpendicularmente ao eixo de propagação do feixe de ultrassom.   | O teste assegura a capacidade do equipamento de representar fielmente a relação espacial entre estruturas anatómicas adjacentes, o que é indispensável para medições confiáveis e para o diagnóstico diferencial de lesões.    |

Legenda: Em azul estão destacados os testes contemplados pela IN nº 96/2021.

Referências:

[1] DUDLEY, N. et al. Report No 102 Quality Assurance of Ultrasound Imaging Systems (S. Russell, Ed.). [s.l.]: Institute of Physics and Engineering in Medicine, 2010. [2] AMERICAN INSTITUTE OF ULTRASOUND IN MEDICINE, TECHNICAL STANDARDS COMMITTEE. Performance Criteria and Measurements for Doppler Ultrasound Devices: Technical Discussion (American Institute of Ultrasound in Medicine, Ed.). [s.l.]: s.n., [3] Sociedad Española de Física Médica, Sociedad Española de Protección Radiológica, Sociedad Española de Radiología Médica. Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. [Sendo Editorial, S.A., Ed.]. [s.l.]: s.n.,

**Conclusões:** Como ainda se tratam de resultados preliminares, observamos que as IMS apresentam algumas limitações visuais, como uma textura mais granulada, porém aparenta apresentar um contraste de imagem mais elevado, dado as diferenças entre determinadas

regiões. No que se refere a eficiência para obtenção de parâmetros específicos, como microcalcificações, as IMS se mostram eficiente.

**Agradecimento:** Agradeço ao IRD pela oportunidade e a CAPES pelo apoio financeiro.

**Referências:**

- [1] BALDELLI, P., BERTOLINI, M., CONTILLO, A., GALA, G. D., GOLINELLI, P., PAGAN, L., RIVETTI, S., TAIBI, A. A comparative study of physical image quality in digital an synthetic mammography from commercially available mammography systems. *Physics in Medicine & Biology*, 2018.
- [2] BARCA, P., LAMASTRA, R., CARAMELLA, D., TARINO, A., TUCCIARIELLO, R., FANTACCI, M. Image Quality Comparison between Digital an Synthetic 2D Mammograms: A Qualitative and Quantitative Phantom Study. *Bioimaging*, 2019.
- [3] CHIKARMANE, A. S., OFFIT, R. L., GLESS, C. S. Synthetic Mammography: Benefits, Drawbacks, and Pitfalls. *RadioGraphics*, 2023.

## Metodologia Aprimorada de Calibração de Detectores PKA com Monte Carlo e Espectrometria de Raios X com detectores CdTe

Junior J.<sup>1</sup>, Potiens M.<sup>2</sup>, Junior O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ipen, <sup>2</sup> Ipen-Cnen/Sp, <sup>3</sup> Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares

**Resumo:** A metrologia de radiações ionizantes e a calibração laboratorial de medidores, como os de PKA, são fundamentais para assegurar a precisão da dosimetria clínica, garantindo a segurança do paciente e a conformidade com protocolos radiológicos, conforme ANVISA (1). Contudo, métodos tradicionais de calibração, baseados em técnicas empíricas, apresentam limitações - incertezas sistemáticas e alto custo operacional (2). Assim, propõe-se uma abordagem que combina simulação computacional, por Monte Carlo (3), modelando as interações da radiação, com espectrometria de raios X, via detector CdTe, reconhecidos por sua resolução energética superior, sensibilidade e estabilidade. As técnicas em conjunto corrigem distorções espectrais, otimizam fatores de calibração e reduzem incertezas.

**Materiais e métodos:** O estudo emprega simulações Monte Carlo (MC) e espectrometria com CdTe para calibração de detectores KAP. Espectros de raios X (40–150 kVp, padrões RQR) são adquiridos via CdTe, corrigidos quanto à eficiência e validados metrologicamente. Esses espectros alimentaram simulações por MC (com software TOPAS), modelando transporte de radiação e interações em geometrias clínicas. A validação do feixe comparou dados simulados e experimentais, assegurando coerência física. A correlação entre resultados MC e medições permitiu derivar fatores de calibração. Por fim, a abordagem foi confrontada com o método de substituição de PKA, avaliando rastreabilidade dosimétrica.

**Resultados e discussões:** Os dados simulados de PKA demonstram alta concordância ( $R^2 > 0,98$ ) com os respectivos valores experimentais, validando a modelagem computacional. Variações na qualidade do feixe (40–150 kVp, padrões RQR) foram identificadas com precisão (< 2%), correlacionando espectros obtidos CdTe e simulações. A calibração otimizada reduziu incertezas para <5% na configuração analisada, adaptando aos protocolos.

**Conclusões:** A metodologia híbrida (MC + CdTe) mostrou-se robusta na calibração de KAP, padronizando protocolos e otimizando o método de substituição. Reduziu dependências experimentais e melhorou a reprodutibilidade. Futuros estudos integrarão simulações em rotinas, analisando dependências geométricas/energéticas e correlacionando fatores simulados com dados clínicos.

**Agradecimento:** Os autores agradecem o apoio financeiro parcial do CNPq (Processo nº 140864/2023) e da FAPESP (Processo nº 2018/05982-0). Os autores também gostariam de agradecer ao CDTN – CNEN/MG pelo empréstimo do equipamento PDC e à equipe do LABPROSAU-IFBA, de Salvador.

### Referências:

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 611, de 9 de março de 2022. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, BRASIL, 2022.
- [2] ALMEIDA JUNIOR., J. N. et al. Calibration of PKA meters against ion chambers of two geometries. Revista Brasileira de Física Médica, v. 5(1), p. 15-20, 2011a. <https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/115/v5n1p15>
- [3] MALUSEK, A. and CARLSSON, G.A. (2011). Analysis of the tandem calibration method for Kerma area product meters via Monte Carlo simulations Standards, Applications and Quality Assurance in Medical Radiation Dosimetry (IDOS). Presented at the Int. Symp. on Standards, Applications and Quality Assurance in Medical Radiation Dosimetry (IDOS) (Vienna, 9–12 November 2010), pp 129-136.

## **Gerenciamento de Doses em Procedimento de Implante de Marcapasso em Paciente Adulto: Procedimento guiado por Fluoroscopia em um Hospital Universitário no Brasil Uma análise e comparação dos VTD e dos descritores de dose dos equipamentos utilizados.**

Alves G.<sup>1</sup>, Trombini H.<sup>2</sup>, Pianoschi T.<sup>3</sup>, Dias J.<sup>4</sup>, De Carvalho G.<sup>5</sup>, Berwanger J.<sup>6</sup>, Dorneles T.<sup>3</sup>, Candeia B.<sup>3</sup>, Anés M.<sup>4</sup>, Bacelar A.<sup>4</sup>, Rochelle

<sup>1</sup> Grupo De Física Medica Experimental E Computacional- Ufcsa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre, <sup>3</sup> Ufcsa, <sup>4</sup> Hcpa, <sup>5</sup> Não Pertencço A Nenhuma Empresa/Entidade, <sup>6</sup> Juliane Pacheco Berwanger, <sup>7</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre

**Resumo:** Procedimentos guiados por fluoroscopia (FGI) de implante de marcapasso cardíaco são frequentemente realizados em ambientes cirúrgicos de hospitais públicos e envolvem exposição à radiação ionizante. A fluoroscopia, embora útil, pode resultar em doses significativas de radiação tanto para o paciente. O gerenciamento da dose é fundamental para garantir a segurança dos pacientes e a qualidade do procedimento, especialmente considerando a variabilidade entre equipamentos e protocolos. A pesquisa avalia os valores típicos de dose (VTD) dos procedimentos FGI de implante de marcapasso em pacientes adultos de um hospital público e apresenta a comparação entre os equipamentos utilizados.

**Materiais e métodos:** Este estudo retrospectivo foi realizado em um hospital público entre 2017 a 2024. Foram incluídos pacientes adultos submetidos ao implante de marcapasso. Foram coletados dados dos descritores de dose dos procedimentos realizados nos arcos cirúrgicos e angiógrafos, através dos relatórios estruturados de dose assentados nos sistemas PACS, OpenREM e DoseWatch do hospital. As variáveis extraídas incluem idade do paciente, produto kerma-área (PKA, em Gy $\text{cm}^2$ ), tempo de fluoroscopia, protocolo de aquisição e número de séries cine bem como média de tensão e corrente. Os dados foram organizados em Planilhas Google institucional e analisados estatisticamente o VTD através da mediana.

**Resultados e discussões:** Em 460 procedimentos avaliados, identificou-se variações significativas nos valores de dose entre os diferentes equipamentos utilizados. O menor VTD foi de 0,833 Gy $\text{cm}^2$  para o equipamento de arco cirúrgico 2 com 185 procedimentos, e o maior foi do angiógrafo 2 de 8,21 Gy $\text{cm}^2$ . O tipo de equipamento, o protocolo e o registro em modo fluoroscopia e não em modo cine influenciam na dose dos pacientes.

**Conclusões:** Os achados destacam a importância do controle das doses em FGI de marcapasso, com VTD como indicador. Protocolos de otimização baseados em boas práticas devem incluir colimação, modo de aquisição criterioso, tempo reduzido e calibração. Tais medidas reduzem a dose sem comprometer a eficácia diagnóstica, promovendo segurança ao paciente.

### **Referências:**

- [1] ICRP Publication 135. Annals of the. ICRP 46. Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. 2017.
- [2] LYKAWKA, Rochelle et al. Danos da radiação e medidas de proteção em procedimentos cardiológicos. PROCARDIOL. Secad Artmed, Ciclo 16, v. 1, p. 109-160, 2021.
- [3] YUAMOTO, Mariana et al. Alternative methodology for occupational dose estimation in cardiac electrophysiology procedures. Brazilian Journal of Radiation Sciences, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3B (Suppl.), 2022.
- [4] IAEA. Radiation protection of patients (RPOP). 2023. Disponível em: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/radiology/fluoroscopy>. Acesso em 12.05.2025.

## Avaliação quantitativa da qualidade da imagem de TC do crânio utilizando diferentes métodos de reconstrução: um estudo com phantom

Dos Santos F.<sup>1</sup>, Laurindo P.<sup>1</sup>, Anés M.<sup>2</sup>, Candeia B.<sup>2</sup>, De Carvalho G.<sup>3</sup>, Lykawka R.<sup>4</sup>, Bacelar A.<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Hcpa, <sup>3</sup> Não Pertencem A Nenhuma Empresa/Entidade, <sup>4</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre

**Resumo:** Na Tomografia Computadorizada busca-se gerar imagens capazes de permitir a sua interpretação e promover o máximo de informação diagnóstica. A qualidade da imagem pode ser definida em termos de parâmetros físicos (ruído), psicofísicos (resolução espacial) e do observador (índice de detectabilidade  $d'$ ) [1,2]. Os métodos de reconstrução de imagem são: retroprojeção filtrada (FBP), a reconstrução iterativa (IR) e o Deep learning-based Reconstruction (DLR). Este trabalho busca avaliar o comportamento dos parâmetros de qualidade de imagem de tomografia do crânio dos diferentes métodos de reconstrução FBP, IR estatística e DLR.

**Materiais e métodos:** Utilizamos um tomógrafo Canon Aquilion Prime SP com o Phantom ACR Gammex 464, aplicando um protocolo de TC cerebral em três níveis de dose (CTDIvol): 28,8; 41,4 e 69,9 mGy. Aplicamos os métodos de reconstrução das imagens FBP (kernel FC21), IR (níveis Mild, Standard e Strong) e DLR (Mild, Standard e Strong). Medimos as propriedades do ruído pelo espectro de potência do ruído (NPS) e a resolução espacial com a função de transferência da tarefa (TTF). Calculamos o índice de detectabilidade  $d'$  para lesões hipodensas e bordas não definidas (lesão circular de 5 mm e função tarefa Gaussiana) e com baixo contraste avaliando os objetos de polietileno e acrílico com o modelo de visão 2D Eckstein.

**Resultados e discussões:** Em comparação ao protocolo de referência (FBP kernel FC 21) apenas o método AIDR MILD à 69,9 mGy apresentou NPS fav (mm<sup>-1</sup>) maior em 16,66%. A resolução espacial TTF<sub>f50</sub> (mm<sup>-1</sup>) apresentou variação mínima (0,32 à 0,40) entre todas as imagens. Mesmo com 50% da dose menor que o protocolo de referência, os filtros DLR standard e strong mostraram detectabilidade superior.

Tabela 1: Parâmetros de qualidade de imagem em diferentes métodos de reconstrução e níveis de dose.

| Métodos de Reconstrução  | Dose (mGy)  | 28             |       |              | 41,4*        |       |              | 69,9         |       |              |
|--------------------------|-------------|----------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|
|                          |             | Valores Médios | $d'$  | NPS FAV 1/mm | TTF f50 1/mm | $d'$  | NPS FAV 1/mm | TTF f50 1/mm | $d'$  | NPS FAV 1/mm |
| FC21 AIDR STD Head 2.0*  | Polietileno | 23,714         | 0,260 | 0,380        | 27,568       | 0,260 | 0,380        | 25,660       | 0,240 | 0,360        |
|                          | Acrílico    | 30,912         | 0,260 | 0,350        | 35,620       | 0,260 | 0,360        | 33,390       | 0,240 | 0,340        |
| AIDR STD Head 2.0        | Polietileno | 23,740         | 0,260 | 0,370        | 27,450       | 0,260 | 0,380        | 32,320       | 0,260 | 0,340        |
|                          | Acrílico    | 30,928         | 0,260 | 0,350        | 35,640       | 0,260 | 0,360        | 41,630       | 0,260 | 0,330        |
| AIDR Strong Head 2.0     | Polietileno | 25,660         | 0,240 | 0,360        | 29,780       | 0,240 | 0,370        | 34,880       | 0,240 | 0,340        |
|                          | Acrílico    | 33,394         | 0,240 | 0,340        | 38,520       | 0,240 | 0,360        | 45,130       | 0,240 | 0,320        |
| AIDR MILD Head 2.0       | Polietileno | 21,328         | 0,282 | 0,380        | 24,420       | 0,280 | 0,390        | 29,780       | 0,280 | 0,350        |
|                          | Acrílico    | 27,824         | 0,282 | 0,360        | 31,710       | 0,280 | 0,360        | 38,210       | 0,280 | 0,340        |
| AICE strong Head 2.0     | Polietileno | 67,074         | 0,148 | 0,370        | 79,170       | 0,150 | 0,380        | 88,190       | 0,150 | 0,360        |
|                          | Acrílico    | 91,338         | 0,148 | 0,370        | 106,610      | 0,150 | 0,380        | 118,840      | 0,150 | 0,350        |
| aice brain mild AICE 2.0 | Polietileno | 23,668         | 0,258 | 0,400        | 33,530       | 0,258 | 0,400        | 40,950       | 0,260 | 0,370        |
|                          | Acrílico    | 32,112         | 0,258 | 0,380        | 45,006       | 0,258 | 0,380        | 54,550       | 0,260 | 0,360        |
| aice brain STD AICE 2.0  | Polietileno | 54,974         | 0,178 | 0,370        | 66,220       | 0,180 | 0,390        | 76,940       | 0,170 | 0,360        |
|                          | Acrílico    | 74,532         | 0,148 | 0,370        | 89,130       | 0,180 | 0,380        | 103,510      | 0,170 | 0,350        |

\* Indica o protocolo de referência

**Conclusões:** O método de reconstrução impacta significativamente a qualidade e a detectabilidade da imagem. Os parâmetros de qualidade da imagem utilizados podem permitir a otimização dos protocolos de exames de TC cerebral, reduzindo a exposição à radiação sem comprometer a qualidade da imagem e precisão diagnóstica. Faz-se necessária avaliação com outros objetos de diferentes contrastes.

**Agradecimento:** Agradeço ao Serviço de Física Médica e Radioproteção do Hospital de Clínicas de Porto Alegre pelo apoio técnico-científico e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste estudo, bem como a toda equipe envolvida pela colaboração na realização deste trabalho.

**Referências:**

- [1] Zarb, F., Raiforb, L., McEntee, M.F., Image quality assessment tools for optimization of CT images. *Radiography*. 16(2). 2010. p 147-153.
- [2] SAMEI, Ehsan et al. Performance evaluation of computed tomography systems: summary of AAPM Task Group 233. *Medical physics*, v. 46, n. 11, p. e735-e756, 2019. Acesso em: 01/04/2025. Disponível em: [https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT\\_233.pdf](https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_233.pdf)
- [3] Chen, B., O. Christianson, J.M. Wilson, and E. Samei, “Assessment of volumetric noise and resolution performance for linear and nonlinear CT reconstruction methods.” *Med Phys*, 2014.41(7): p. 071909

## **Avaliação dosimétrica de material utilizado em impressora 3d em feixe de radiodiagnóstico**

Dantas A.<sup>1</sup>, Pianoschi T.<sup>2</sup>, Dos Santos M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fundacao Universidade Federal De Ciencias Da Saude De Porto Alegre, <sup>2</sup> Ufcspa, <sup>3</sup> If Goiano - Campus Ceres

**Resumo:** A manufatura aditiva tem sido amplamente utilizada na confecção de dispositivos médicos personalizados, como simuladores anatômicos e suportes para exames radiológicos. Entre os materiais utilizados na fabricação desses dispositivos, o PLA destaca-se por seu baixo custo, sendo uma alternativa aos materiais usinados, como o PMMA. No entanto, a interação desses materiais com radiações ionizantes deve ser bem compreendida para garantir a segurança de pacientes e profissionais, além da precisão diagnóstica. Avaliações dosimétricas permitem caracterizar a resposta desses materiais em diferentes energias típicas do radiodiagnóstico. Este trabalho analisa a atenuação da radiação em PLA e PMMA por meio de medições experimentais e simulações Monte Carlo.

**Materiais e métodos:** As simulações computacionais foram realizadas com o código PENELOPE para estimar a distribuição de dose e a atenuação em cada material, permitindo a comparação dos resultados simulados e experimentais. O estudo foi realizado com dois materiais, o PMMA e o PLA, sendo a água adotada como referência para tecidos moles. Para cada material, foram confeccionados phantoms específicos, posicionados a uma distância de 60 cm do tubo de um aparelho de raio X móvel Shimadzu MUX-10 Mobileart Eco. As amostras foram expostas a radiações com correntes de 1 mA e tensões de pico de 120 kV. A densidade óptica foi registrada em um detector DR e as imagens foram analisadas pelo imageJ.



**Resultados e discussões:** A simulação computacional mostrou que o PLA e o PMMA possuem respostas similares, indicando diferenças médias de 3,04% e 15,0%, respectivamente, em relação à água. Considerando as medidas de atenuação experimental, o PLA pode ser utilizado

como substituto do PMMA na confecção de objetos simuladores, uma vez que apresenta uma diferença média de 7%.

**Conclusões:** O material PLA mostrou-se promissor para confecção de simuladores utilizados em controle de qualidade de equipamentos e, posteriormente, para controle de qualidade de pacientes. A simulação computacional é uma ferramenta que pode ser utilizada para estudar novos materiais, pois não envolve custos operacionais.

**Referências:**

- [1] Chang KT, Das IJ, Liu C-R. Characterization of the attenuation properties of 3D printing materials using X-ray and gamma ray spectroscopy. PLoS One. 2021;16(7):e0254724. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8299499/>
- [2] Rodrigues RF. Caracterização de materiais aplicáveis em impressão 3D com feixes de raios X [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2021. Available from: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP\\_d3ae738890deeff51e36fc069591c91](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP_d3ae738890deeff51e36fc069591c91)
- [3] Almeida SB, Valeriano CCS, Campos LL. Avaliação da substituição de placas de PMMA por PLA impresso 3D n

## Caracterização de um Fotoresistor de Sulfeto de Cádmio como Detector Alternativo para Radiodiagnóstico

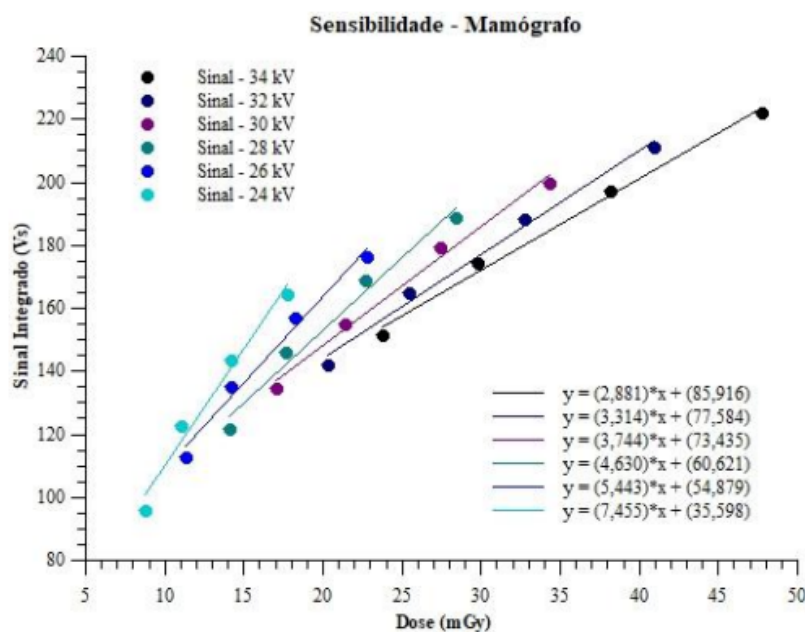
Guimarães V.<sup>1</sup>, Paiva P.<sup>2</sup>, De Almeida C.<sup>3</sup>, Santos J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal D, <sup>2</sup> -, <sup>3</sup> Ird/Cnen

**Resumo:** A detecção precisa de radiação ionizante é essencial em aplicações médicas, mas os custos elevados dos detectores comerciais limitam seu uso em ambientes com poucos recursos. Neste contexto, sensores baseados em fotoresistores de sulfeto de cádmio (CdS) apresentam potencial para aplicações em Radiodiagnóstico, dada sua sensibilidade à radiação ionizante e facilidade de integração com sistemas eletrônicos acessíveis. Este trabalho explora a resposta de um fotoresistor à dose e à taxa de dose de feixes de raios X, avaliando sua linearidade, um critério essencial para aplicações em controle de qualidade, ensino e dosimetria em ambientes com infraestrutura limitada.

**Materiais e métodos:** O sistema consiste em um LDR (Resistor Dependente de Luz) de CdS acoplado a um microcontrolador Arduino, operando como divisor de tensão. Foram realizadas irradiações em equipamentos de mamografia e radiografia industrial, com variações controladas de tensão, corrente e tempo de exposição. A dose e a taxa de dose foram medidas com detectores comerciais (Piranha e NERO mAx) e comparadas à resposta do LDR, cuja leitura foi obtida a partir da média dos sinais registrados durante a exposição. Ensaios de reprodutibilidade e estabilidade foram incluídos para validar a consistência dos resultados.

**Resultados e discussões:** O LDR mostrou resposta linear à dose em 24-34 kV (mamografia), mas exponencial acima de 50 kV (radiografia industrial), devido à sua dependência não-linear com a tensão aplicada. A resposta à taxa de dose foi aproximadamente linear. O sistema mediu o tempo de exposição com erro <2% em relação ao detector comercial, demonstrando reprodutibilidade e aplicabilidade em contextos de ensino e pesquisa.



**Conclusões:** O detector baseado em LDR de CdS mostrou-se sensível à dose (Fig. 01) e à taxa de dose de radiação X, com boa reprodutibilidade e resposta coerente com os feixes aplicados. Sua simplicidade, baixo custo e desempenho promissor indicam potencial para uso em

atividades experimentais, ensino de Física Médica e desenvolvimento de instrumentação científica.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Laboratório de Radiação Gama e X do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro e ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear pelo suporte técnico e estrutural.

**Referências:**

- [1] Damulira, E., 2022. Radiation dosimetry in medicine using II-VI semiconductors. 15, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2022.06.001>. Knoll, G. F., 2010. Radiation detection and measurement, fourth ed. John Wiley & Sons, Michigan.
- [2] Le Viet, H. et al, 2021. Development of compact sensor with CdS photoresistor for high gamma-ray field monitoring. Applied Radiation and Isotopes. 172, 109698. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109698>.
- [3] Román-Raya, J. et al, 2020. Light-Dependent Resistors as Dosimetric Sensors in Radiotherapy. Sensors. 20, 1568-1578. <https://doi.org/10.3390/s20061568>. Odeh, A.S., 1994. X-ray dosimetry using a Cd sulphide photoresistor. Radiation Physics and Chemistry. 44(1-2), 61-62. [https://doi.org/10.1016/0969-806X\(94\)90104-X](https://doi.org/10.1016/0969-806X(94)90104-X).

## A Importância da Compressão Correta em Testes de CNR em Mamografia segundo Protocolos Internacionais

Cabete H.<sup>1</sup>, Dias T.<sup>2</sup>, Rodrigues Junior O.<sup>3</sup>, Capeleti F.<sup>3</sup>, Goto R.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Gmp, <sup>2</sup> Unifesp, <sup>3</sup> Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares, <sup>4</sup> Rafael Eidi Goto

**Resumo:** A razão contraste-ruído (CNR) é essencial na avaliação da qualidade de imagem em mamografia, sendo exigida pela IN nº 92 da RDC nº 611/2022. Protocolos como o EUREF (2018) e o programa espanhol (SEFM, 2019) orientam a medição da CNR com alumínio de 2 mm entre placas de PMMA de 2 a 7 cm. Essas espessuras não correspondem à espessura física da mama, mas a uma equivalência radiológica baseada na atenuação. Assim, 5 cm de PMMA simulam cerca de 6 cm de mama comprimida com 50% de densidade, conforme Dance et al. (2000). Essa equivalência busca reproduzir a absorção dos tecidos mamários. Como os equipamentos ajustam o kVp automaticamente conforme a espessura detectada, essa diferença entre simulação e realidade pode impactar a CNR e a dose glandular. Este estudo investiga essa influência.

**Materiais e métodos:** Foram avaliados três mamógrafos digitais distintos, operando em modo 2D. Utilizou-se um simulador de PMMA com folha de alumínio de 2 mm, posicionada a 6 cm da parede torácica e deslocada lateralmente para não interferir no funcionamento do AEC. Foram testadas espessuras de 2 a 7 cm de PMMA, equivalentes a mamas comprimidas de 2,1 a 9 cm com densidade de 50%. No método 1, a compressão foi ajustada conforme essa equivalência radiológica; no método 2, o compressor apenas encostou no simulador, sem aplicar força. A CNR foi calculada com o software ImageJ, e a dose glandular média estimada pelo método descrito por Dance (2000), seguindo os parâmetros estabelecidos no mesmo protocolo.

**Resultados e discussões:** A CNR foi maior no método com compressão mínima, devido ao uso automático de menor kVp e maior mAs, o que também elevou a DGM, com valores de até 1,49 mGy. Embora esse ajuste aumente o contraste da imagem, pode superestimar os valores de CNR e de dose calculada, comprometendo a fidelidade dos testes de controle de qualidade e levando a uma avaliação imprecisa do desempenho real do equipamento.

| PMMA (cm) | Equipamento 1 |            |           |            | Equipamento 2 |            |           |            | Equipamento 3 |            |           |            |
|-----------|---------------|------------|-----------|------------|---------------|------------|-----------|------------|---------------|------------|-----------|------------|
|           | Método 1      |            | Método 2  |            | Método 1      |            | Método 2  |            | Método 1      |            | Método 2  |            |
|           | DGM (mGy)     | CNR Medida | DGM (mGy) | CNR Medida | DGM (mGy)     | CNR Medida | DGM (mGy) | CNR Medida | DGM (mGy)     | CNR Medida | DGM (mGy) | CNR Medida |
| 2         | 0,6           | 12,5       | 0,6       | 12,5       | 1,0           | 12,7       | 1,1       | 13,0       | 0,6           | 11,1       | 0,6       | 12,0       |
| 3         | 0,8           | 11,6       | 0,8       | 11,9       | 1,5           | 11,3       | 1,7       | 11,9       | 0,8           | 10,6       | 0,9       | 10,9       |
| 4         | 1,0           | 10,7       | 1,2       | 11,2       | 1,9           | 8,9        | 2,3       | 9,8        | 0,9           | 10,0       | 1,1       | 10,2       |
| 4,5       | 1,1           | 10,3       | 1,3       | 10,8       | 2,1           | 7,8        | 2,4       | 8,7        | 1,1           | 9,7        | 1,4       | 10,2       |
| 5         | 1,2           | 9,2        | 1,6       | 10,4       | 2,1           | 6,2        | 3,5       | 8,3        | 1,2           | 9,2        | 1,6       | 10,0       |
| 6         | 1,4           | 7,8        | 2,1       | 9,3        | 2,3           | 5,8        | 3,8       | 6,3        | 1,4           | 8,0        | 2,1       | 9,2        |
| 7         | 1,6           | 4,8        | 2,5       | 7,6        | 2,4           | 4,4        | 3,7       | 5,6        | 1,5           | 6,1        | 2,5       | 7,5        |

**Conclusões:** A compressão adequada é essencial para a reprodutibilidade dos testes de CNR e para manter a dose glandular média em níveis aceitáveis. Resultados obtidos sem respeitar a equivalência entre a espessura de PMMA e a compressão simulada podem superestimar o desempenho do equipamento e comprometer a confiabilidade da avaliação.

**Agradecimento:** À GMP Consultoria e ao Programa de Mestrado Profissional do IPEN, pelo apoio técnico e acadêmico na realização deste trabalho.

**Referências:**

- [1] AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. ACR Digital Mammography Quality Control Manual. Reston: ACR, 2018. COMISSÃO EUROPEIA. Quality assurance guidelines for breast cancer screening and diagnosis – Supplement for digital breast tomosynthesis. European Reference Organisation, 2018.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Quality assurance programme for digital mammography. Vienna: IAEA Human Health Series No. 17, 2011. MINISTÉRIO DA SAÚDE (ES). Programa de Garantía de Calidad en Radiodiagnóstico. Control de calidad en mamografía digital. Madrid: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, 2019.
- [3] NHS CANCER SCREENING PROGRAMMES. Commissioning and routine testing of full field digital mammography systems. Sheffield: NHSBSP Equipment Report 0604, 2009.

## Teste de limiar de sensibilidade a baixo contraste: levantamento das abordagens propostas pelos fabricantes de phantoms de ultrassom

Rosa P.<sup>1</sup>, Jardim A.<sup>2</sup>, Da Silva I.<sup>2</sup>, Pianoschi T.<sup>3</sup>, Lykawka R.<sup>4</sup>, Bacelar A.<sup>4</sup>, Botelho V.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Hcpa, <sup>2</sup> André Goncalves Jardim, <sup>3</sup> Ufcspa, <sup>4</sup> Hospital De Clínicas De Porto Alegre, <sup>5</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** O ultrassom é uma das técnicas utilizadas no diagnóstico por imagem [1]. Para manter a qualidade do sistema, realiza-se o controle de qualidade com o uso de phantoms, materiais que mimetizam tecidos humanos. A RDC nº 611 [1] e a IN nº 96 [2] da ANVISA exigem testes de qualidade; entretanto, para alguns testes, como o limiar de sensibilidade a baixo contraste (teste de escala cinza), que avalia a capacidade do sistema em distinguir diferentes níveis de contraste, não há definições claras de metodologia nem de tolerâncias, deixando essa decisão a critério dos fabricantes. Consequentemente, divergências nos manuais dos phantoms afetam os métodos e critérios de avaliação. O objetivo desta pesquisa é comparar as abordagens dos manuais e evidenciar a necessidade de padronização para o teste.

**Materiais e métodos:** Para esta pesquisa, foram selecionados manuais de phantoms que possuem alvos específicos para testes envolvendo escalas cinza e cujos manuais descrevem esse procedimento. Foram incluídos os modelos ATS 539 [3], CIRS 054GS [4], CIRS 040GSE [5], Gammex 403GS LE [6], Kyoto N-365 [7], Konex US-MP [8] e Gammex Doppler 403 Flow - 1425B [9]. A análise concentrou-se exclusivamente no teste de escala cinza, considerando os métodos indicados por cada fabricante. Foram identificados os procedimentos recomendados, os critérios de avaliação do controle de qualidade e os limites de tolerância sugeridos em cada manual, permitindo uma comparação crítica entre as abordagens.

| TMM analisado                 | Nome do teste no documento              | Descrição da região de interesse do simulador  | Descrição da análise  | Crítérios de tolerância  |
|-------------------------------|---|--|---|--|
| ATS - 539 [3]                 | Escala Cinza e Alcance Dinâmico Exibido | 6 cilindros com 15mm de diâmetro. (+15, +6, +3, -3, -6, -15) db.   | Avaliação visual de nitidez dos alvos e suas bordas, formato circular, variação no grau de brilho de cada alvo e observação de sombreamento por trás das estruturas.  | Não definido   |
| CIRS - 054 GS [4]             | GRAYSCALE CONTRAST SENSITIVITY          | 6 cilindros com 8mm de diâmetro. (Anechoico, -6 dB, -3 dB, +3 dB, +6 dB, Hyperechoic)  | Avaliação visual dos diferentes níveis de contraste (de anecoico a hiperecoico) e formato dos alvos. Além disso, medir o tamanho (altura e comprimento) dos alvos.  | Definido pelo usuário  |
| CIRS - 040 GSE [5]            | GRAY SCALE TARGETS                      | Grupo 1 (3cm de profundidade): 6 cilindros com 8mm de diâmetro. (-9, -6, -3, +3, +6, +15) dB.<br>Grupo 2 (11.5cm de profundidade): 5 cilindros com 10mm de diâmetro. (-6, -3, +3, +6, +15) dB. | Avaliação visual dos diferentes níveis de contraste em diferentes profundidades e formato dos alvos. Além disso, medir o tamanho (altura e comprimento) dos alvos.  | Qualitativa: até 2 intervalos de desvio na barra de escala cinza<br>Quantitativa: até 10% de desvio da baseline. |
| GAMMEX - 403 GS LE [6]        | Grey Scale                              | 4 alvos com 10mm de diâmetro. (anechoico, -6, +6, hiperecoico) dB  | Avaliação visual pela correspondência dos alvos com uma barra de tons de cinza. Avaliação quantitativa por meio de ROI para comparação da média de intensidade dos pixels entre os alvos e o fundo.   | Definido pelo usuário  |
| KYOTO - N-365 [7]             | Gray Scale                              | 7 alvos de 10mm de diâmetro.   | Avaliação visual dos diferentes níveis de contraste, juntamente de um histograma com intensidade dos ecos.  | Não definido   |
| KONEX - US-MP [8]             | Sensibilidade de Baixo Contraste        | 6 alvos com 5,5mm de diâmetro.   | Avaliação visual de nitidez dos alvos e suas bordas, formato circular, variação no grau de brilho de cada alvo e observação de sombreamento por trás das estruturas.  | Não definido   |
| GAMMEX - DOPPLER 403 FLOW [9] | Gray scale                              | 3 alvos com 10mm de diâmetro. (Anechoico, -6 dB, +6 db)  | Avaliação visual da visibilidade e distinção dos alvos com diferentes contrastes e correspondência com uma barra de escala cinza. Avaliação quantitativa por meio de ROI para comparação da média de intensidade dos pixels entre os alvos e o fundo, além de variação do contraste real (em dB) utilizando dual display. | Não definido   |

[3] ATS LABORATORIES INCORPORATED. Fantoma Multifuncional: Modelo 539. São Paulo: Konex Indústria e Comércio Ltda, Abril de 2016, 19 p.

[4] CIRS. General Purpose Ultrasound Phantom: Model 054 GS User Guide. Norfolk, Virginia - USA: CIRS, 20 p.

[5] CIRS. Multi-Purpose, Multi-Tissue Ultrasound Phantom: Model 040 GSE User Guide. Norfolk, Virginia - USA: CIRS, 24 p.

[6] GAMMEX. 403 GS LE Precision Multi-Purpose Phantoms: User's Guide. Middleton, WI - USA: GAMMEX Inc., 26 p.

[7] KYOTO KAGAKU. Multipurpose Phantom N-365: Instruction Manual. Torrance, CA - USA: Kyoto Kagaku America Inc., Maio de 2020, 12 p.

[8] KONEX. Manual do usuário: Fantoma multipropósito de ultrassonografia modelo US-MP. São Paulo: Konex, Ed 1, 26 p.

[9] GAMMEX. Doppler 403TM Flow Phantom: Model 1425B. Middleton, WI - USA: GAMMEX Inc., 05 Abril 2016, 48 p.

[10] CIRS. Multi-Purpose Phantom Model ATS 539: User Guide. Norfolk, Virginia - USA: CIRS, 24 p.

**Resultados e discussões:** A Tabela 01 mostra que todos os manuais [3-10] propõem análise visual qualitativa para diferenciar níveis de contraste. No entanto, apenas os manuais da CIRS

[4-5] sugerem medir o formato dos alvos, e apenas os manuais da Gammex [6 e 9] propõem análise quantitativa com uso de ROIs. Somente o manual do Gammex - 403 GS LE [6] estabelece critérios de tolerância.

**Conclusões:** A análise comparativa dos manuais revela diferenças entre os critérios estabelecidos por cada fabricante para o teste de escala cinza. Todos propõem análise visual qualitativa, mas divergem quanto à outras metodologias de análise. Critérios para limites de tolerância, em sua maioria, são ausentes ou deixados a critério do usuário, reforçando a necessidade de padronização do controle de qualidade.

**Agradecimento:** Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA)

**Referências:**

[1] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n.º 611, de 9 de março de 2022. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2022.

[2] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa - IN N° 96, 27 de Maio de 2021.

## A Relação entre a Carga de Trabalho e o Número de Canais nos Tomógrafos Computadorizados: Impactos na Eficiência e Operação

Nascimento A.<sup>1</sup>, Pacífico L.<sup>2</sup>, Magalhães L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Uerj, <sup>2</sup> Cebio - Uerj, <sup>3</sup> Universidade Do Estado Do Rio De Janeiro

**Resumo:** A carga de trabalho em tomografia computadorizada (TC), medida em mAmin/semana, reflete o uso do tubo de raios-X. Já o número de canais indica quantos detectores capturam dados simultaneamente, impactando qualidade da imagem e tempo de exame. Com a evolução tecnológica, os tomógrafos passaram de 1–2 para até 128 canais, alterando o desempenho e a demanda. Este estudo analisa a relação entre carga de trabalho e número de canais em 84 tomógrafos entre 2021 e 2024, observando os efeitos operacionais e clínicos dessa evolução.

**Materiais e métodos:** Foram analisados dados de carga de trabalho (mAmin/semana) de 84 tomógrafos com 1, 2, 4, 16, 32, 64 e 128 canais, coletados de serviços de radiologia entre 2021 e 2024. Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos a análises estatísticas descritivas para avaliar variações ao longo do tempo. Todos os serviços seguem rígidos controles de qualidade, assegurando a confiabilidade das informações utilizadas no estudo.

**Resultados e discussões:** A análise mostrou maior carga de trabalho nos tomógrafos de 16 canais, indicando bom equilíbrio entre custo e eficiência. Equipamentos de 1 e 2 canais mantiveram carga estável e baixa. Os de 32 e 64 canais apresentaram oscilações, e os de 128 canais tiveram aumento em 2024, sugerindo adoção recente ou reestruturação dos serviços.

**Conclusões:** Os dados indicam migração para tomógrafos com mais canais, especialmente os de 16 canais, enquanto modelos antigos têm uso reduzido. Entender essa relação é essencial para otimizar a alocação e renovação dos equipamentos. Estudos futuros devem considerar protocolos, custos e impactos regulatórios na gestão dos tomógrafos.

**Agradecimento:** Agradecemos à Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo apoio institucional à realização deste estudo.

### Referências:

- [1] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Managing patient dose in computed tomography. ICRP Publication 87. Ann ICRP. 2000;30(4):7–45.
- [2] Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt EM, Boone JM. The Essential Physics of Medical Imaging. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
- [3] Kalender WA. Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications. 2nd ed. Munich: Publicis Publishing; 2011.
- [4] American Association of Physicists in Medicine (AAPM). AAPM Report No. 96: The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. College Park (MD): AAPM; 2008.
- [5] Huda W, Ogden KM, Khorasani MR. Converting dose-length product to effective dose at CT. Radiology. 2008;248(3):995–1003.

## Padronização de ROIs e sua Importância na Reprodutibilidade da CNR

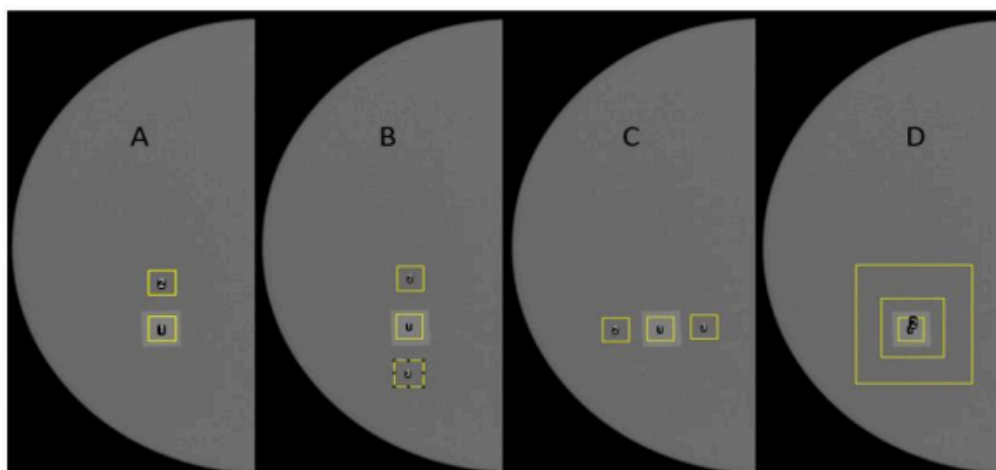
Cabete H.<sup>1</sup>, Dias T.<sup>2</sup>, Rodrigues Junior O.<sup>3</sup>, Capeleti F.<sup>3</sup>, Goto R.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Gmp, <sup>2</sup> Unifesp, <sup>3</sup> Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares, <sup>4</sup> Rafael Eidi Goto

**Resumo:** A razão contraste-ruído (CNR) é amplamente utilizada na avaliação da qualidade de imagem em mamografia digital. Protocolos como EUREF (2018), IAEA (2011), ACR (2018) e o programa espanhol de controle de qualidade recomendam o uso de objetos simuladores com espessuras e dimensões padronizadas, porém divergem quanto ao número, forma, tamanho e posicionamento das regiões de interesse (ROIs) utilizadas no cálculo. Essas variações metodológicas impactam diretamente os valores obtidos, afetando a reprodutibilidade e a comparação entre sistemas. Estudos recentes propõem abordagens alternativas, como o uso de múltiplas ROIs ou softwares de análise automatizada. Este trabalho avalia o impacto dessas metodologias na determinação da CNR, com base em diferentes protocolos adotados na física médica.

**Materiais e métodos:** Foram analisadas imagens 2D de seis modelos distintos de mamógrafos digitais: Selenia Dimensions, Mammomat Fusion, Mammomat Revelation, Senographe Pristina, Mammomat Inspiration e Amulet Innovality. Foram avaliadas três unidades de cada modelo, totalizando 18 equipamentos. Utilizou-se um simulador de tecido mamário composto por uma placa de PMMA com 4,5 cm de espessura associada a uma lâmina de alumínio de 0,2 mm. A CNR foi calculada no software ImageJ, empregando quatro métodos diferentes de posicionamento das regiões de interesse (ROIs), identificados de A a D, todos com ROI no objeto de 1 cm<sup>2</sup>, variando apenas as ROIs de fundo em quantidade e localização. Três imagens foram analisadas por modelo, cada uma de um equipamento distinto.

**Resultados e discussões:** Os valores de CNR variaram entre os métodos, sem padrão consistente entre os modelos. O método A foi o mais simples e reprodutível, adotado como referência. O método B (NHSBSP, 2009) teve boa concordância, com variações de até +1,6%. O método D (EUREF, 2018) apresentou desvios de até -13,9%. Já o método C, sem respaldo em protocolos, mostrou instabilidade, com variações de até -5,4%.



| Método               | A     | B     | C     | D     | $\Delta\% B-A$ | $\Delta\% C-A$ | $\Delta\% D-A$ |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|
| Selenia Dimensions   | 7,30  | 7,33  | 7,26  | 7,26  | 0,45           | -0,59          | -0,59          |
| Mammomat Fusion      | 10,01 | 9,99  | 9,76  | 9,87  | -0,21          | -2,51          | -1,46          |
| Mammomat Revelation  | 8,96  | 8,69  | 8,48  | 8,22  | -3,03          | -5,31          | -8,28          |
| Mammomat Inspiration | 8,17  | 8,30  | 8,08  | 8,13  | 1,53           | -1,10          | -0,54          |
| Senographe Pristina  | 21,19 | 20,62 | 20,55 | 18,24 | -2,69          | -3,05          | -13,9          |
| Amulet Innovality    | 12,00 | 11,86 | 12,12 | 11,47 | -1,22          | 0,97           | -4,47          |

**Conclusões:** A padronização é fundamental nos testes de CNR para garantir consistência e reprodutibilidade. O método A foi o mais estável e adotado como referência. O método B apresentou boa concordância, com variações discretas. Os métodos C e D apresentaram diferenças mais expressivas, possivelmente influenciadas pelo efeito anódico e pelas tecnologias dos detectores, como CsI e a-Se.

**Agradecimento:** À GMP Consultoria e ao Programa de Mestrado Profissional do IPEN, pelo apoio técnico e acadêmico na realização deste trabalho.

### **Referências:**

- [1] AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. ACR Digital Mammography Quality Control Manual. Reston: ACR, 2018.
- [2] COMISSÃO EUROPEIA. European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis – Supplement for digital breast tomosynthesis. 4. ed. Luxembourg: European Reference Organisation, 2018.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Quality assurance programme for digital mammography. Vienna: IAEA Human Health Series No. 17, 2011.
- [4] MINISTÉRIO DA SAÚDE (ES). Programa de Garantía de Calidad en Radiodiagnóstico: control de calidad en mamografía digital. Madrid: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, 2019.
- [5] NHS CANCER SCREENING PROGRAMMES. Commissioning and routine testing of full field digital mammography systems. Sheffield: NHSBSP Equipment Report 0604, 2009.
- [6] BUSHBERG, J. T.; SEIBERT, J. A.; LEIDHOLDT Jr., E. M.; BOONE, J. M. The Essential Physics of Medical Imaging. 4. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2021.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Quality assurance programme for digital mammography. Vienna: IAEA Human Health Series No. 17, 2011.
- [8] MINISTÉRIO DA SAÚDE (ES). Programa de Garantía de Calidad en Radiodiagnóstico: control de calidad en mamografía digital. Madrid: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, 2019.
- [9] NHS CANCER SCREENING PROGRAMMES. Commissioning and routine testing of full field digital mammography systems. Sheffield: NHSBSP Equipment Report 0604, 2009.
- [10] BUSHBERG, J. T.; SEIBERT, J. A.; LEIDHOLDT Jr., E. M.; BOONE, J. M. The Essential Physics of Medical Imagin

# **RADIOTERAPIA**



## Trabalho Completo

Congresso Brasileiro de Física Médica 2025

# Avaliação do Procedimento de Medição de Modelagem de Lâminas Aprimorado (ELM) para determinação do DLG no Eclipse versão 18.0

## Enhanced Leaf Modeling Measurement Procedure (ELM) evaluation for determining DLG using Eclipse version 18.0

Pedro Iwai<sup>1</sup>, Julia Esperandio Barbosa<sup>2</sup>, Rodrigo Gabriel Bueno<sup>2</sup>, Otavio Akira Sakai<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Radioterapia, UOPECCAN, Umuarama, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciências, Universidade Estadual de Maringá, Goioerê, Brasil

<sup>3</sup>Instituto Federal do Paraná Campus de Umuarama, Umuarama, Brasil

### Resumo

O presente trabalho investiga a aplicação do procedimento aprimorado de medição de modelagem de lâminas (Enhanced Leaf Modeling Measurement Procedure – ELM), desenvolvido pela Varian Medical Systems, para a determinação do parâmetro dosimétrico Dosimetric Leaf Gap (DLG) no sistema de planejamento Eclipse versão 18.0. O comissionamento do colimador multilâminas é de suma importância para a implementação das técnicas modernas de radioterapia, sendo a determinação de valores efetivos de DLG e do fator de transmissão (TF) essenciais para garantir uma adequada modelagem dos feixes. O estudo teve como objetivo avaliar a confiabilidade do procedimento ELM em obter valores de DLG compatíveis com os critérios de controle de qualidade clínica, averiguando os resultados com testes como AIDA e DynChair. A metodologia adotada envolveu medições com câmara de ionização SNC600c em um phantom de água, sob condições específicas de energia e geometria, conforme as diretrizes do fabricante. Os dados obtidos foram processados pelo Eclipse para extrair o valor de DLG, o qual foi aplicado nos testes com análise gama. Os resultados demonstraram que o valor de DLG, especialmente entre -0,06 cm e -0,10 cm, proporcionaram melhor desempenho nos testes, sendo o valor -0,41287 centímetros calculado pelo sistema com base no protocolo ELM. As análises revelaram alta taxa de aprovação nos critérios de dose, confirmando a efetividade do método. Conclui-se que a metodologia ELM é confiável e dispensaria ajustes manuais, promovendo maior segurança e precisão na prática clínica de radioterapia.

**Palavras-chave:** Radioterapia; Colimador Multilâminas; Dosimetric leaf gap; Eclipse V18.0; ELM.

### Abstract

*The present work investigates the application of the Enhanced Leaf Modeling Measurement Procedure (ELM), developed by Varian Medical Systems, for determining the dosimetric parameter Dosimetric Leaf Gap (DLG) in the Eclipse treatment-planning system version 18.0. Commissioning the multi-leaf collimator is of utmost importance for implementing modern radiotherapy techniques, and thus the determination of effective DLG values and the transmission factor (TF) is essential to ensure accurate beam modeling. This study aimed to assess the reliability of the ELM procedure in obtaining DLG values that meet clinical quality-control criteria by comparing its results with tests such as AIDA and DynChair. The adopted methodology involved measurements with an SNC600c ionization chamber in a water phantom, under specific energy and geometric conditions according to the manufacturer's guidelines. The data were processed in Eclipse to extract the DLG value, which was then applied in gamma-analysis tests. The results showed that DLG values, particularly between -0.06 cm and -0.10 cm, yielded the best performance in these tests, with the system calculating a value of -0.41287 cm based on the ELM protocol. The analyses revealed a high pass rate under the dose-criteria, confirming the method's effectiveness. It is concluded that the ELM methodology is reliable and would obviate the need for manual adjustments, thereby enhancing safety and precision in clinical radiotherapy practice.*

**Keywords:** Radiotherapy; Multileaf Collimator; Dosimetric leaf gap; Eclipse V18.0; ELM.

### 1. Introdução

Os colimadores multilâminas (MLC), dispositivos desenvolvidos para o bloqueio de campos irregulares e a modulação de feixes [1], evoluíram significativamente desde suas primeiras aplicações até a integração aos sistemas computadorizados.

Sua implementação na área clínica representou um avanço no campo da radioterapia, possibilitando tratamentos mais precisos, ágeis e otimizados [2]. O MLC desponta atualmente como um componente crucial em técnicas avançadas de radioterapia, como

na Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT) e na Terapia de Arco Volumétrico Modulado (VMAT) [2].

Nesse sentido, a modelagem dos colimadores é fundamental no comissionamento de feixes externos de megavoltagem usados em radioterapia, pois permite a otimização de planos de tratamento, aumenta a precisão e entrega do feixe e reduz exposições desnecessárias em tecidos sadios. Para tal, diferentes técnicas são empregadas, incluindo modelagem geométrica, simulação de Monte Carlo,

modelagem dinâmica, além da consideração de parâmetros como abertura foliar dosimétrica (DLG), fator de transmissão (TF) e vazamento entre folhas [3].

É válido ressaltar que cada fabricante desenvolve seu MLC com base na arquitetura dos aceleradores lineares (LINACs), assim sendo existem variações nos parâmetros dos colimadores, resultantes das particularidades de cada equipamento (design, formato das folhas, velocidade de movimentação) [2,3].

O sistema *Millenium MLC* (*Varian Medical Systems*, Palo Alto, CA) oferece duas principais configurações: 120 folhas (SD) e 120 folhas de alta definição (HD). Ambos os modelos apresentam foco único, design *tongue and groove* e extremidades de lâmina arredondadas [2,4]. Considerando as extremidades arredondadas, existem dois fatores que influenciam a modelagem: DLG e TF.

O TF representa a média da transmissão de radiação inter e intra lâminas, ao passo que o DLG quantifica a transmissão nas extremidades arredondadas das lâminas e, permite corrigir uma limitação do Eclipse TPS (*Varian Medical Systems*, Palo Alto, CA), que modela as extremidades das folhas como retangulares, desconsiderando seu real formato arredondado [3,5].

O algoritmo de cálculo de deposição de dose do Sistema de Planejamento de Tratamentos em radioterapia (TPS) Eclipse versão 18.0, utiliza o DLG para compensar a transmissão foliar. Para isso, recua as pontas das folhas em metade do valor do DLG, de modo que a abertura entre folhas fechadas simule adequadamente a dose transmitida [3]. Em geral, a obtenção do DLG seguia uma metodologia padronizada fornecida pelo fabricante. A *Varian*, por exemplo, descreve em seu documento "*Dosimetric Leaf Gap Measurement Exercise*" [6], o procedimento adotado para o Eclipse versão 17 e anteriores [6,7].

De acordo com essa abordagem, a determinação do DLG é realizada por meio de medições com detectores em geometria de referência, utilizando campos específicos definidos por arquivos DICOM. Mede-se a dose de um campo aberto, seguida pelas leituras de campos com MLC fechados e, depois, com gaps móveis de 2 a 20 mm [6].

Com os dados de carga elétrica inseridos na configuração do feixe, o algoritmo da versão 18.0 calcula a contribuição da transmissão média, que é subtraída das leituras brutas. As leituras corrigidas são ajustadas linearmente em função dos tamanhos de gap, e o valor absoluto do intercepto da reta obtida corresponde ao DLG [6].

Ao longo dos anos, surgiram abordagens empíricas para otimizar os valores de DLG. Alguns estudos elaboraram campos de teste próprios, enquanto outros propuseram métodos específicos com o intuito de maximizar o desempenho nos controles de qualidade planares baseados em análise gama [4,9].

Com o advento de versões do Eclipse 18.0 e superiores, um novo procedimento de obtenção da DLG foi proposto pela *Varian*, estando este exposto no documento "*Enhanced Leaf Modeling*

*Measurement Procedure - Guide*" (ELM) [7,8]. Assim, este trabalho objetiva demonstrar que a metodologia fornecida pela fabricante para determinação do DLG é eficaz em testes como AIDA (ou ADA) e *Dynchair*, além de possibilitar resultados satisfatórios de controle de qualidade paciente-específicos baseados em *Portal Dosimetry*, conforme os critérios do TG-218.

## 2. Materiais e Métodos

Para a obtenção dos parâmetros de modelagem do MLC, seguiu-se o procedimento descrito no guia da versão 18.0 do Eclipse [7], que recomenda a realização de um conjunto de medições relativas. Essas medidas devem ser conduzidas com o uso de phantom de água ou plástico, sob as condições de distância fonte-superfície (SSD) de 90 cm, com câmara de ionização (0,125 cc, 0,3 cc ou *Farmer*) posicionada no isocentro, a uma profundidade de 10 cm. A câmara deve estar orientada ao longo do eixo longitudinal, com seu eixo rotacional perpendicular ao deslocamento das lâminas.

As medições de carga elétrica exigidas correspondem aos seguintes campos: 10 × 10 cm<sup>2</sup>, transmissões dos carros A e B, e aberturas de 4 mm, 6 mm e 20 mm. Essas medições devem ser realizadas para cada energia de feixe de fótons, seja com filtro de aplanamento (WFF) ou sem filtro (FFF).

Conforme as diretrizes da *Varian*, é possível empregar câmaras de ionização com volumes de 0,125 cc, 0,3 cc ou 0,6 cc, sendo que os resultados obtidos com esses diferentes volumes apresentam diferenças mínimas, sendo considerados equivalentes do ponto de vista prático.

Neste estudo, utilizou-se a câmara de ionização de volume sensível 0,6 cc por ser a mais utilizada no departamento e com qual tínhamos maior familiaridade sobre seu comportamento a longo prazo, em conformidade com as exigências técnicas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) [10]. A câmara manuseada foi a SNC600c™ (modelo 1047) fabricado pela *Sun Nuclear Corporation*. A partir das medidas de carga elétrica obtidas em triplicata e suas respectivas médias, o sistema Eclipse 18.0 determinou os valores para transmissão e DLG.

As medidas foram realizadas em um acelerador linear *Varian Clinac CX*, com energia 6 MV de fótons WFF e MLC *Millennium 120*, utilizando fantoma de água. O sistema de aquisição de imagem utilizado foi o EPID *Varian aS500*.

As análises foram conduzidas no *Portal Dosimetry*, versão 18.0 do Eclipse. Foram avaliados os principais testes recomendados pelo guia do fabricante: o teste AIDA e o teste da cadeira dinâmica (*Dynchair*).

O campo de teste AIDA, foi desenvolvido especificamente para a configuração do algoritmo PDIP (*Progressive Dynamic Intensity Pattern*). Trata-se de um campo de fluência considerado "ótimo", pois é gerado sem levar em conta as limitações físicas e mecânicas do MLC. Esse padrão é fornecido pelo próprio sistema de planejamento e possui formato de

uma pirâmide composta por 5 placas retangulares de larguras decrescentes [11].

O teste *DynChair* é um plano de controle de qualidade artificial desenvolvido com o objetivo de avaliar a precisão dos parâmetros de configuração do MLC em tratamento de IMRT [12]. Este teste permite verificar a fidelidade entre a fluência idealizada e a fluência efetivamente entregue, a partir da análise da resposta dosimétrica gerada por padrões geométricos específicos [12].

A verificação dos planos foi realizada com base na análise gama, utilizando os critérios recomendados pelo TG 218: 3%/2mm com limiar de dose de 10%.

### 3. Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores de porcentagem de área gama (%Área $\gamma$ ) e de gama máximo ( $\gamma_{max}$ ) para o teste AIDA e DynChair, considerando variações do DLG entre -0,10 cm e 0,05 cm, intervalo recomendado pelo fabricante para valores medidos por câmara de ionização.

No teste AIDA, observa-se uma tendência de melhora dos parâmetros %Área $\gamma$  e de  $\gamma_{max}$ , à medida que se adotam os menores valores possíveis para o DLG. O melhor desempenho no teste gama foi obtido com o valor -0,10 cm. Por sua vez, no teste DynChair, verifica-se uma propensão de adquirir melhores resultados de %Área $\gamma$  e  $\gamma_{max}$  com valores de DLG entre -0,06 cm e -0,08 cm.

**Tabela 1.** Valores obtidos com teste AIDA e DynChair

| DLG (cm) | AIDA           |                | DynChair       |                |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          | %Área $\gamma$ | $\gamma_{Max}$ | %Área $\gamma$ | $\gamma_{Max}$ |

|       |       |      |      |      |
|-------|-------|------|------|------|
| 0,05  | 94,2  | 1,50 | 87,0 | 2,53 |
| 0,04  | 94,8  | 1,47 | 88,2 | 2,41 |
| 0,03  | 95,5  | 1,44 | 89,3 | 2,30 |
| 0,02  | 96,3  | 1,41 | 90,6 | 2,22 |
| 0,01  | 97,1  | 1,34 | 91,8 | 2,13 |
| 0,00  | 97,9  | 1,26 | 93,2 | 2,07 |
| -0,01 | 98,6  | 1,20 | 94,5 | 2,02 |
| -0,02 | 99,1  | 1,19 | 95,9 | 1,94 |
| -0,03 | 99,4  | 1,19 | 97,1 | 1,85 |
| -0,04 | 99,6  | 1,18 | 98,1 | 1,76 |
| -0,05 | 99,7  | 1,17 | 98,9 | 1,67 |
| -0,06 | 99,8  | 1,16 | 99,5 | 1,59 |
| -0,07 | 99,9  | 1,15 | 99,7 | 1,50 |
| -0,08 | 99,9  | 1,09 | 99,6 | 1,42 |
| -0,09 | 100,0 | 1,04 | 99,3 | 1,36 |
| -0,10 | 100,0 | 1,14 | 98,8 | 1,30 |

Fonte: Próprios autores (2025).

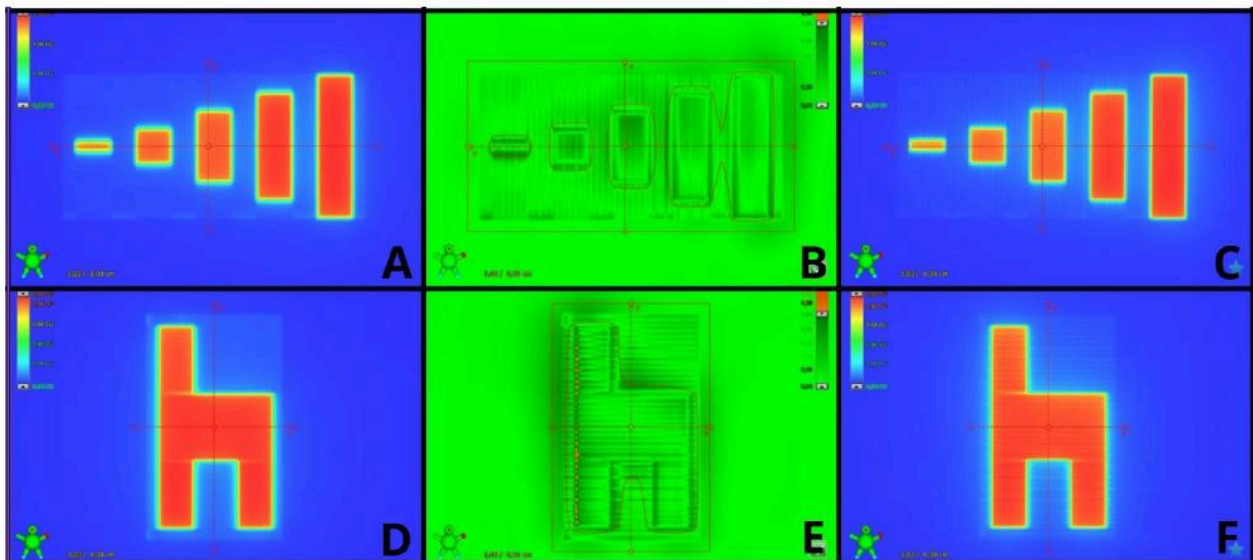
O valor de DLG calculado pelo Eclipse V18.0 com base nos dados experimentais obtidos com o guia ELM (Tabela 2), foi de -0,41287 cm.

**Tabela 2.** Medidas do guia ELM feitas com 0,6cc Farmer (SNC 600c)

|             | 6MV (nC/100MU) |
|-------------|----------------|
| 01 10x10    | 73,020         |
| 02 Transm_A | 1,037          |
| 03 Trans_B  | 1,029          |
| 04 Swp_4mm  | 4,307          |
| 05 Swp_6mm  | 5,509          |
| 06 Swp_20mm | 13,910         |

Fonte: Próprios autores (2025).

Aplicando esse valor nos testes AIDA e DynChair (Figura 1), obteve-se como resultado de %Área $\gamma$  e  $\gamma_{max}$  99,6%/1,18 e 98,1%/1,76, respectivamente, sendo compatíveis com os critérios de avaliação gama [13].



**Figura 1:** As partes A, B e C refere-se ao teste AIDA em que A é o cálculo de dose feito pelo Eclipse versão 18.0, B é a análise gama entre as imagens A e C, e C é a dose medida pelo Portal Dosimetry. Enquanto as partes D, E e F referem-se ao teste DynChair, onde D é o cálculo de dose feito pelo Eclipse versão 18.0, E é a análise gama entre as imagens D e F, e F é a dose medida pelo Portal Dosimetry.

### 4. Discussão

A análise dos resultados adquiridos nos testes de avaliação de desempenho dos sistemas de

radioterapia, evidencia que há concordância razoável entre os valores do DLG utilizados e os parâmetros de desempenho mensurados, especificamente a %Área $\gamma$  e o  $\gamma_{max}$ .

Os dados coletados demonstram que a adoção de valores de DLG progressivamente menores, dentro dos limites recomendados pelo fabricante, resulta em melhorias substanciais nos resultados do teste gama. Em particular, o mais satisfatório desempenho no teste AIDA foi alcançado com um valor de DLG de -0,10 cm, indicando que este ajuste favorece a conformidade da distribuição de dose com os padrões estabelecidos, e por consequência, proporciona uma maior precisão na entrega de radiação.

No teste Dynchair, notou-se que valores de DLG situados entre -0,06 cm e -0,08 cm, forneceram em desempenho superior, apontando em melhores indicadores tanto na %Área quanto no  $\gamma_{max}$ . Esta faixa específica de DLG sugere que há um intervalo ideal que maximiza a performance dos resultados nos controles da qualidade, possivelmente em decorrência da otimização do perfil de dose resultante da configuração das lâminas móveis durante a entrega de radiação.

Considerando o intervalo de valores para o DLG que devem ser obtidos no Eclipse 18.0 sugeridos pelo fabricante [7], que vão de -0,10 cm a 0,05 cm, nossos resultados são compatíveis com os obtidos por outro estudo [5].

No entanto, também houveram casos em que nossos resultados foram diferentes de outros autores [14, 15, 16, 17], podendo se justificar pelo emprego de diferentes técnicas para se determinar o DLG e pela mudança do algoritmo de cálculo na versão 18.0 do Eclipse [8].

A calibração adequada desse parâmetro é essencial e não deve ser subestimada, uma vez que a precisão na entrega da dose é crucial para maximizar a eficácia do tratamento oncológico enquanto minimiza a exposição desnecessária de tecidos saudáveis.

Portanto, a continuidade de estudos com foco na otimização dos valores de DLG é fundamental para o avanço da prática clínica e para a melhoria dos resultados em radioterapia.

## 5. Conclusões

A nova metodologia proposta pela Varian na versão 18.0 do Eclipse é confiável na obtenção de um valor de DLG que não carece de ajustes manuais ou arbitrários para que se obtenham bons resultados em análises gama dos testes AIDA e DynChair.

Isto sugere que o valor de DLG encontrado utilizando o guia ELM terá performance satisfatória no teste gama de casos clínicos, devendo ser alvo de pesquisa em trabalhos futuros, inclusive a discussão acerca da obtenção de valores negativos de DLG, que fisicamente significam um espaço negativo entre as bordas das lâminas.

A introdução de uma metodologia consistente, padronizada e que funciona independente da inserção de valores arbitrários de DLG é de suma importância para assegurar uma melhor precisão, segurança e qualidade nos tratamentos oferecidos aos pacientes.

## Agradecimentos

A contribuição de José Eduardo Nascimento, especialista da Especialista de Suporte Clínico da Varian Medical Systems, pela sugestão do tema deste estudo durante o comissionamento do Eclipse v18.0 no Hospital UOPECCAN de Umarama.

## Referências

1. KHAN, Faiz M et al. **Khan's the physics of radiation therapy**. Lippincott Williams & Wilkins, 2014.
2. HUQ, M. Saiful et al. A dosimetric comparison of various multileaf collimators. **Physics in Medicine & Biology**, v. 47, n. 12, p. N159, 2002.
3. ROSTAMI, Aram et al. Investigating of dosimetric leaf gap and leaf transmission factor variations across gantry and collimator angles in volumetric modulation arc therapy. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v. 25, n. 12, p. e14523, 2024.
4. DICOSTANZO, Dominic et al. A novel methodology for the optimization of transmission and dosimetric leaf gap parameters. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v. 23, n. 5, p. e13565, 2022.
5. SILVA, Laís B. et al. Modelagem dos Fatores de Transmissão e DLG para um TrueBeam STX. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 11, n. 2, p. 7-10, 2017.
6. VARIAN MEDICAL SYSTEMS. *Dosimetric Leaf Gap Measurement Exercise*. Disponível em: <https://www.myvarian.com/s/productdocumentationdetail?id=069E0000000rsAmlAl&lang=en>. Acesso em: 01 de maio de 2025.
7. VARIAN MEDICAL SYSTEMS. *Enhanced Leaf Modeling Measurement Procedure - Guide*. Disponível em: <https://www.myvarian.com/s/productdocumentationdetail?id=069Jx000003pkdNIAQ&lang=en>. Acesso em: 01 de maio de 2025.
8. VAN ESCH, Ann et al. Testing of an enhanced leaf model for improved dose calculation in a commercial treatment planning system. **Medical Physics**, v. 49, n. 12, p. 7754-7765, 2022.
9. LOW, Daniel A. et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. **Medical physics**, v. 25, n. 5, p. 656-661, 1998.
10. CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia. Norma CNEN 6.10**. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acao-rapido/normas/grupo-6/grupo6-nrm610.pdf>. Acesso em: 02 de maio de 2025.
11. VAN ESCH, Ann et al. Acceptance tests and quality control (QC) procedures for the clinical implementation of intensity modulated radiotherapy (IMRT) using inverse planning and the sliding window technique: experience from five radiotherapy departments. **Radiotherapy and oncology**, v. 65, n. 1, p. 53-70, 2002.
12. MANCUZO, Ariel D. **Evaluación del modelo EPID AS1200 y puesta en funcionamiento de la dosimetría portal para diferentes energías de fotones**. 2017. Tese de Mestrado. Universidad Nacional de Cuyo.
13. AAPM - American Association of Physicists in Medicine. **TG119 IMRT Comissioning Tests: Instructions for Planning, Measurement, and Analysis**. 2009.

14. YAO, Weiguang; FARR, Jonathan B. Determining the optimal dosimetric leaf gap setting for rounded leaf-end multileaf collimator systems by simple test fields. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v. 16, n. 4, p. 65-77, 2015.
15. SHENDE, Ravindra; PATEL, Ganesh. Validation of Dosimetric Leaf Gap (DLG) prior to its implementation in Treatment Planning System (TPS): TrueBeam™ millennium 120 leaf MLC. **Reports of Practical Oncology and Radiotherapy**, v. 22, n. 6, p. 485-494, 2017.
16. BHARDWAJ, Anup K. et al. Dosimetric and qualitative analysis of kinetic properties of millennium 80 multileaf collimator system for dynamic intensity modulated radiotherapy treatments. **Journal of cancer research and therapeutics**, v. 3, n. 1, p. 23-28, 2007.
17. CHAUVET, I. et al. The sliding slit test for dynamic IMRT: a useful tool for adjustment of MLC related parameters. **Physics in Medicine & Biology**, v. 50, n. 4, p. 563, 2005.

**Contato:**

Pedro Iwai  
Hospital UOPECCAN de Umuarama  
Av. Paraná, 7592, Zona 3, 87502-000, Umuarama-PR, Brasil  
pedro.iwai@uopecan.org.br

---

## Trabalho Completo

Congresso Brasileiro de Física Médica 2025

# Validação de feixes de fótons 6 MV FF e FFF utilizando o código TOPAS MC

## Validation of 6 MV FF and FFF photon beams using the TOPAS Monte Carlo code

Fellipe F. Silva<sup>1</sup>, Tiago R. Borba<sup>2</sup>, Willian Santos<sup>1</sup>, Rogerio M. V. da Silva<sup>3</sup>, Susana S. Lalic<sup>1</sup>, Walmir Belinato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Federal da Bahia, Vitória da Conquista, Brasil

<sup>3</sup>Instituto do Câncer do Ceará, Fortaleza, Brasil

### Resumo

Este trabalho apresenta a modelagem e validação de um acelerador linear Varian Clinac CX utilizando o código de simulação Monte Carlo TOPAS. Foi desenvolvido um modelo detalhado do feixe clínico, simulando tanto a configuração com filtro aplainador quanto a configuração flattening filter free (FFF). As curvas de Percentual de Dose em Profundidade (PDD) e os perfis laterais foram calculados e comparados com dados experimentais fornecidos pelo Instituto do Câncer do Ceará (ICC). Os resultados apresentaram boa concordância, demonstrando a confiabilidade do modelo para aplicações em estudos clínicos e acadêmicos. A inclusão da configuração FFF é particularmente relevante diante da sua adoção crescente em tratamentos que requerem altas taxas de dose. O modelo validado poderá ser utilizado futuramente para simulações em técnicas de radioterapia avançadas, como VMAT, além da investigação de efeitos fora do campo, incluindo estimativas de dose relacionada ao risco de tumores secundários. Este estudo contribui para a integração entre simulação computacional precisa e a prática clínica da radioterapia.

**Palavras-chave:** Monte Carlo; TOPAS; Percentual de Dose em Profundidade; Perfis laterais; Validação dosimétrica.

### Abstract

*This study presents the modeling and validation of a Varian Clinac CX linear accelerator using the Monte Carlo simulation toolkit TOPAS. A detailed computational model of the clinical photon beam was developed, including both the flattened and flattening filter free (FFF) configurations. Percent depth dose (PDD) curves and lateral dose profiles were calculated and compared to experimental data provided by the Cancer Institute of Ceará (ICC). The simulation results showed good agreement with measurements, confirming the accuracy and reliability of the developed model for clinical and academic applications. The inclusion of the FFF configuration is particularly relevant due to its growing use in treatments requiring high dose rates. This validated model establishes a solid foundation for future applications in advanced radiotherapy techniques, such as volumetric modulated arc therapy (VMAT), and in the study of out-of-field doses associated with secondary cancer risks. The work contributes to bridging accurate computational simulations and clinical radiotherapy practice.*

**Keywords:** Monte Carlo; TOPAS; Flattening filter; Percent depth dose; Lateral profiles; Dosimetric Validation.

### 1. Introdução

A simulação por métodos de Monte Carlo (MC) tem se estabelecido como o padrão-ouro para o cálculo preciso de dose em radioterapia, devido à sua capacidade de produzir, com elevado realismo físico, a interação de partículas com a matéria, mesmo em geometrias complexas e materiais heterogêneos [1,2]. Dentre os códigos MC disponíveis, o TOPAS (*Tool for Particle Simulation*) destaca-se por sua interface modular baseada no Geant4, permitindo simulações detalhadas de aceleradores lineares e distribuição de dose em fantasmas ou geometrias anatómicas reais [3,4].

A modelagem de cabeçotes clínicos de aceleradores lineares é um passo essencial para garantir que as simulações reproduzam com fidelidade os parâmetros físicos dos feixes terapêuticos. A validação desses modelos frente a dados experimentais permite a aplicação confiável de MC em contextos clínicos e de pesquisa [5]. O acelerador Varian Clinac CX, amplamente utilizado em centros de tratamento, foi selecionado neste estudo por ele ser um dos diversos modelos

disponíveis no mercado que permitem a modelagem de feixes clínicos em diferentes configurações, incluindo a convencional com filtro aplainador e a moderna sem filtro aplainador. A disponibilidade dessas duas modalidades no mesmo equipamento, aliada ao acesso facilitado aos dados experimentais, o torna apropriado para estudos comparativos sobre espectro, distribuição de dose e desempenho dosimétrico, tanto em regiões de alto gradiente quanto fora do campo irradiado.[18].

A remoção do filtro aplainador, altera significativamente as características dos feixes de fótons, resultando em um aumento da energia média e em um perfil de fluência não uniformizado, com maior intensidade central. Além disso, essa remoção reduz a produção de radiação espalhada proveniente do cabeçote do acelerador, contribuindo para uma menor dose fora do campo. Essas alterações exigem uma caracterização dosimétrica rigorosa para garantir a precisão dos tratamentos, especialmente nas configurações modernas que operam com altas taxas de dose, como o feixe FFF [17]. A correta

modelagem desses feixes é fundamental para sua aplicação segura em ambientes clínicos.

Embora este trabalho tenha como escopo principal a validação do modelo clínico no TOPAS, a metodologia aqui desenvolvida estabelece a base necessária para investigações futuras, incluindo simulações com técnicas avançadas de radioterapia, avaliação da dose fora do campo, avaliação de dose em órgãos-alvo (PTV) e de risco (OARs) em pacientes submetidos a procedimentos radioterápicos.

Neste contexto, este trabalho apresenta a modelagem e validação de um acelerador Varian Clinac CX utilizando o código Monte Carlo TOPAS 3.9, nas configurações FF e FFF para feixe de fótons de 6 MV. Foram simuladas curvas de Percentual de Dose em Profundidade (PDD) e perfis laterais, comparadas com dados experimentais cedidos pelo Instituto do Câncer do Ceará (ICC). A validação do cenário para ambas as configurações (FF e FFF) é um passo essencial para sua aplicação em estudos clínicos e acadêmicos. A inclusão da configuração FFF, cada vez mais empregada em técnicas de alta taxa de dose, amplia a aplicabilidade do modelo para simulações futuras com técnicas avançadas, como a VMAT, além de possibilitar avaliações da dose fora do campo e estimativas do risco de efeitos tardios, como a indução de neoplasias secundárias [19].

## 2. Materiais e Métodos

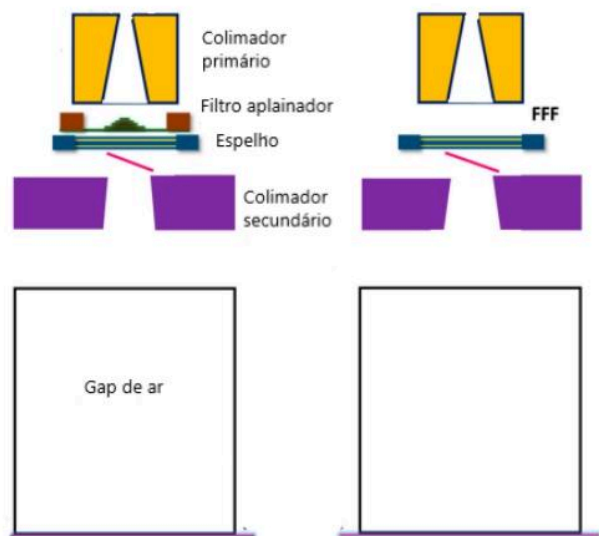
### 2.1 Modelagem do Acelerador Linear

O acelerador linear Varian Clinac CX foi modelado no código de simulação Monte Carlo TOPAS (versão 3.9), com um feixe de fótons caracterizado por espectro contínuo de energia, representando um feixe clínico de 6 MV. O espectro foi definido por 24 bins de energia entre 0,25 e 6 MeV, com pesos normalizados conforme a distribuição espectral especificada. A geometria do cabeçote clínico foi definida com base em dados técnicos fornecidos na literatura e na documentação pública da fabricante Varian, sendo implementadas as duas configurações principais: com filtro aplainador (FF) e sem filtro aplainador (FFF).

Devido à ausência de um modelo nativo do Varian Clinac CX no TOPAS, foi adotada a abordagem de adaptação da geometria do Clinac 2100C. Esta prática é respaldada por recomendações da AAPM, conforme descrito por Chetty et al. (2007), que reconheceram o uso de modelos adaptados em simulações de Monte Carlo e destacaram a validações experimental como etapa fundamental para assegurar a confiabilidade dos resultados [20].

O modelo incluiu os seguintes componentes do cabeçote: alvo de tungstênio, colimador primário, câmara de ionização, filtro aplainador (quando aplicável), espelho de refletor e colimadores secundários. A figura 1 apresenta a visualização do modelo geométrico do cabeçote clínico implementado no TOPAS, incluindo os principais componentes simulados. Para a configuração FFF, o filtro foi omitido e o cenário foi ajustado para manter a qualidade do feixe em termos de dose em

profundidade, conforme observado em protocolos clínicos.

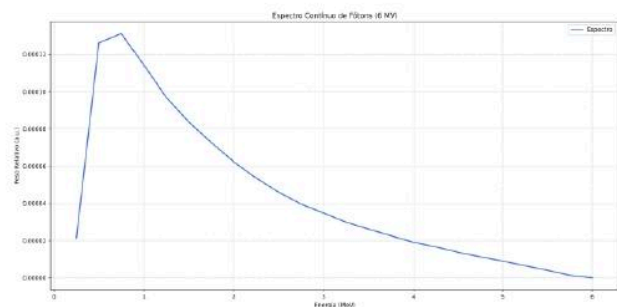


**Figura 1.** Representação em 2D do modelo geométrico do cabeçote do acelerador Varian Clinac CX.

Fonte: [6]

### 2.2 Parâmetros de Simulação

As simulações foram realizadas com  $10^9$  histórias de partículas, utilizando *multithreading* nativo do TOPAS. O meio de simulação consistiu em um fantoma de água com dimensões  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ , posicionado a uma distância fonte-superfície (SSD) de 100 cm. Os campos irradiados foram  $10 \times 10$  e  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ , e os cálculos de dose foram realizados com resolução de voxel de  $2,15 \times 2,15 \times 0,25 \text{ cm}^3$ . A física utilizada incluiu modelos detalhados de transporte de fótons do Geant4, ativado via macro *PhysicsList = g4em-standard\_opt4*.



**Figura 2.** Espectro contínuo de fótons utilizado como fonte primária na simulação do feixe clínico de 6 MV.

Fonte: Autor

### 2.3 Dados Experimentais

Os dados experimentais de validação foram fornecidos pelo Instituto do Câncer do Ceará (ICC) e consistiram em curvas de Percentual de Dose em Profundidade (PDD) e perfis laterais medidos com câmara de ionização tipo Farmer (PTW 30013) em fantoma de água, utilizando protocolo de dosimetria da AAPM (TG-51). As simulações foram parametrizadas com as condições idênticas das medidas clínicas. As incertezas experimentais estimadas foram inferiores a 2% em quase sua totalidade da curva, compatíveis com os critérios de aceitação clínica.

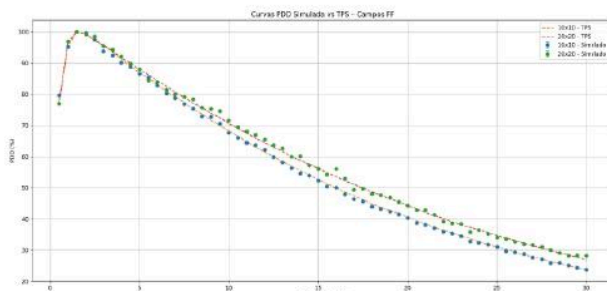
## 2.4 Processamento e Comparação

As curvas simuladas foram normalizadas ao ponto de dose máxima (dmax), e as incertezas relativas foram calculadas com base nas flutuações estatísticas obtidas em cada *voxel* do *scoring*. As incertezas absolutas foram propagadas para as curvas de PDD e perfil. A comparação com os dados experimentais foi realizada através de análise gráfica direta e por índice gama (3%/3 mm) com limiar de exclusão de 10%, seguindo recomendações da AAPM TG-119.

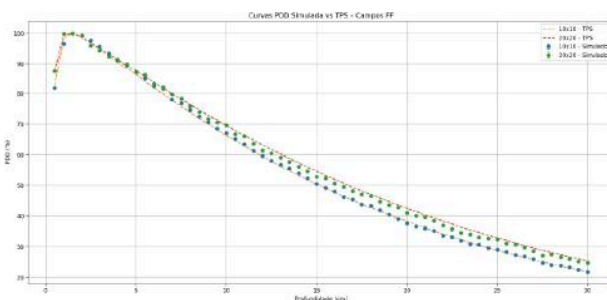
## 3. Resultados

### 3.1 Curvas de Percentual de Dose em Profundidade (PDD)

As curvas de Percentual de Dose em Profundidade (PDD) simuladas com TOPAS para os campos de 10x10 e 20x20 cm<sup>2</sup> foram comparadas aos dados experimentais obtidos com câmara de ionização em fantoma de água (Figura 3 e 4). Os resultados foram normalizados ao ponto de dose máxima, situado a 1,6 cm de profundidade, e apresentaram concordância, com incertezas computacionais inferiores a  $\pm 2\%$  ao longo da faixa de 0 a 30 cm.



**Figura 3.** Curvas de PDD de 10x10 e 20x20 FF.  
Fonte: Autor



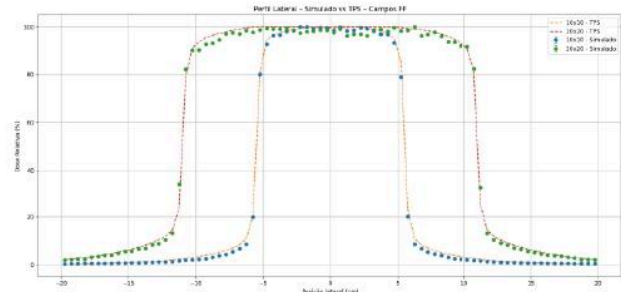
**Figura 4.** Curvas de PDD de 10x10 e 20x20 FFF.  
Fonte: Autor

Essa performance é compatível com validações anteriores usando MCNPX e GATE [Rodrigues et al., 2020; Murakami et al., 2019], e superior à incerteza estatística reportada por DPM e PENELOPE [Silva et al., 2023], que apresentaram desvios de até 4% dependendo da configuração espectral inicial. As curvas simuladas apresentam taxas de erro relativo entre a curva simulada e a TPS de  $\pm 3\%$ , similar aos valores de validação do PRIMO [Aydogan et al., 2022].

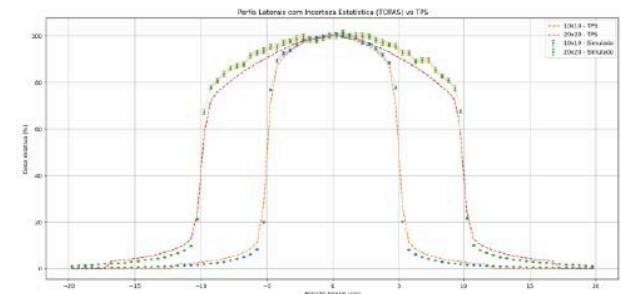
### 3.2 Perfis Laterais de Dose

Nas Figuras 5 e 6, são apresentados os perfis laterais do feixe a 10 cm de profundidades, acompanhados das barras de erro associadas à incerteza estatística da simulação. Os erros relativos permanecem inferiores a  $\pm 3\%$  em toda a região

central do feixe ( $\pm 80\%$  da largura útil), assegurando elevada confiabilidade estatística dos dados simulados. Esses níveis de incerteza estão de acordo com boas práticas de simulação Monte Carlo reportadas na literatura, incluindo estudos com GATA e PHITS [Lopez et al., 2022; Kim et al., 2023].



**Figura 5** Curva de Perfil Lateral 10x10 e 20x20 FF.  
Fonte: Autor



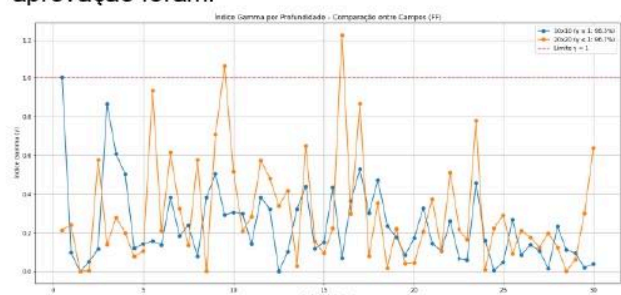
**Figura 6** Curva de Perfil Lateral 10x10 e 20x20 FFF.  
Fonte: Autor

### 3.3 Análise do Espectro de Entrada

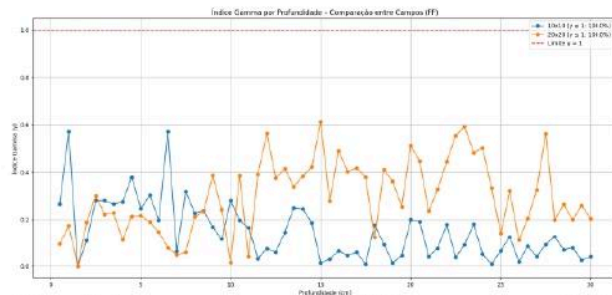
O pico espectral situou-se entre 0,75 e 1,25 MeV, consistente com espectros clínicos de feixes de 6 MV simulados via DOSXYZnrc e GATE [Murakami et al., 2019; Aydogan et al., 2022]. Em comparação com estudos de outras plataformas (Elekta, TrueBeam), o espectro modelado no TOPAS mostrou comportamento similar ao espectro "tipo Varian Clinac", com cauda estendida e energia média em torno de 1,7 MeV — crucial para preservar a penetração do feixe e profundidade da dose [Shinde et al., 2022].

### 3.4 Validação com Índice Gama

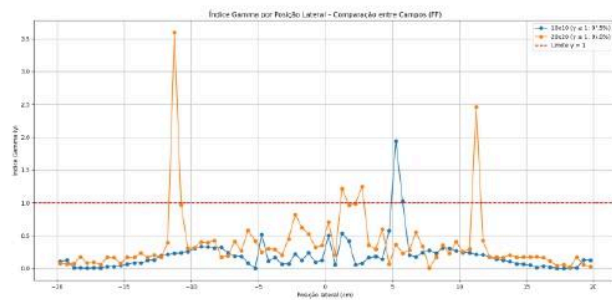
A avaliação global da qualidade do modelo foi feita com o índice gama (1D), usando critérios de 3%/3 mm, com limiar de exclusão de 10%. As taxas de aprovação foram:



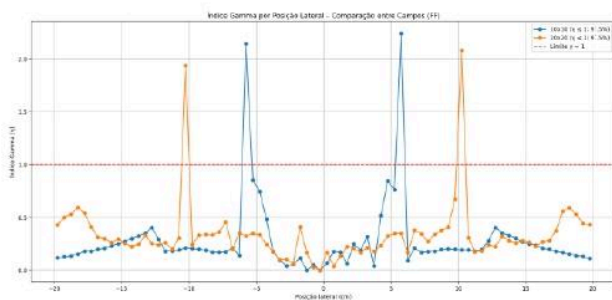
**Figura 7.** índice gamma das curvas de PDD para os campos FF.  
Fonte: Autor



**Figura 8.** índice gama das curvas de PDD para os campos FFF.  
Fonte: Autor



**Figura 9.** índice gama das curvas de Perfil Lateral para os campos FF.  
Fonte: Autor



**Figura 10.** índice gama das curvas de Perfil Lateral para os campos FFF.  
Fonte: Autor

As Figura acima apresentam os respectivos gráficos de índice gama 1D para os PDDs e perfis laterais. Observa-se que, em todos os casos, ao menos 95% dos pontos analisados apresentam índice gama inferior a 1, indicando excelente concordância entres os dados simulados e os TPS.

Esses resultados comparados aos valores relatados em estudos com PHITS [Rodrigues et al., 2022] e DPM [Silva et al., 2023] se mostraram excelentes, e também estão condizentes com validações clínicas do PRIMO e GATE [Murakami et al., 2019; Aydogan et al., 2022].

#### 4. Discussão

A validação dosimétrica realizada neste estudo demonstrou a robustez do modelo Monte Carlo desenvolvido no TOPAS para o acelerador Varian Clinac CX, em ambas as configurações de feixe FF e FFF. A comparação entre as curvas de Percentual de Dose em Profundidade (PDD) e Perfil Lateral simuladas e os dados experimentais revelou erros relativos inferiores a  $\pm 2\%$  em toda a faixa avaliada, o que está em conformidade com os critérios aceitos pela AAPM TG-105 e TG-119 para validação de

sistemas de cálculo de dose baseados em Monte Carlo.

A elevada taxa de aprovação nos testes de índice gama (95,33% sob critérios de 3%/3 mm) reforça a acurácia do modelo geométrico e físico implementado, mesmo utilizando uma fonte espectral contínua parametrizada em 24 bins energéticos. A estabilidade estatística observada nas regiões de alta dose e a adequada reprodução da penumbra dos perfis laterais são indicativos da correta modelagem tanto da interação dos fótons com os componentes do cabeçote quanto do transporte no meio simulador.

Particularmente relevante foi a validação da configuração FFF, uma vez que os feixes sem filtro aplainador apresentam características físicas diferenciadas, como maior fluência central e espectro energético mais duro. A boa concordância observada entre simulação e medição na configuração FFF demonstra a capacidade do modelo em reproduzir adequadamente essas alterações, o que é fundamental para futuras aplicações em técnicas de alta taxa de dose, como SBRT (*Stereotactic Body Radiotherapy*) e tratamentos hipofracionados.

Os resultados aqui obtidos são comparáveis ou superiores aos de estudos prévios utilizando outros códigos de Monte Carlo, como MCNPX, PRIMO, GATE e PENELOPE, onde desvios de até 4% foram reportados para feixes modelados com características similares (Murakami et al., 2019; Silva et al., 2023; Aydogan et al., 2022). A implementação no TOPAS mostrou-se particularmente vantajosa devido à sua flexibilidade na construção de geometrias complexas e à integração eficiente de listas físicas detalhadas como a *g4em-standard\_opt4*.

Um aspecto que merece investigação complementar é a validação do modelo para campos modulados com *Multileaf Collimator* (MLC) dinâmico, que são fundamentais para técnicas de IMRT/VMAT. Embora o presente estudo se concentre em campos quadrados simples, a estrutura modular do cabeçote implementado no TOPAS permite extensões relativamente diretas para simulações de tratamentos complexos.

Finalmente, a correta modelagem do espectro e da fluência dos feixes FF e FFF é também fundamental para avaliações de dose em órgãos em risco situados fora do campo, e para a quantificação do risco de efeitos tardios, como a indução de tumores secundários — áreas em que a simulação Monte Carlo demonstra claras vantagens sobre métodos determinísticos.

Portanto, os resultados deste estudo estabelecem uma base sólida para a utilização do modelo desenvolvido em aplicações clínicas avançadas e em projetos de pesquisa que exijam alta fidelidade dosimétrica.

#### 5. Conclusões

Esta última seção ilustra o formato a ser seguido para referências em todos os tipos de artigos da

RBFM. As referências devem ter como base o estilo *Vancouver*.

Este estudo apresentou a modelagem e validação dosimétrica de um acelerador linear Varian Clinac CX para feixes de fótons de 6 MV, utilizando o código de simulação Monte Carlo TOPAS, em configurações com e sem filtro aplainador (FF e FFF). As curvas de Percentual de Dose em Profundidade (PDD) e os perfis laterais simulados apresentaram excelente concordância com dados experimentais, com erros relativos inferiores a  $\pm 2\%$  e taxa de aprovação no índice gama superior a 95%, atendendo aos critérios clínicos recomendados.

A validação de ambos os modos de feixe reforça a aplicabilidade do modelo desenvolvido para estudos clínicos e acadêmicos, incluindo a simulação de técnicas de radioterapia avançadas, como IMRT e VMAT, além de investigações relacionadas à dose fora do campo e risco de neoplasias secundárias. A modelagem precisa da configuração FFF é especialmente relevante diante da crescente adoção de feixes de alta taxa de dose na prática clínica moderna.

Os resultados obtidos demonstram que o TOPAS é uma ferramenta robusta para a construção de modelos realistas de cabeçotes de aceleradores lineares e para a avaliação precisa da distribuição de dose em radioterapia. Futuros trabalhos poderão expandir o presente modelo para incluir campos modulados com MLC dinâmico e validações adicionais envolvendo geometria anatômica realista, consolidando ainda mais a integração entre a simulação Monte Carlo e a prática clínica.

### Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente aos professores Walmir e Susana pela orientação fundamental ao longo deste trabalho. Agradeço também a Willian e Rogério pelo suporte na fase final do processo. Reconheço o apoio institucional da CAPES, do Instituto Federal da Bahia (IFBA), do Instituto do Câncer do Ceará e da Universidade Federal de Sergipe (UFS), que contribuíram para a realização deste estudo.

### Referências

- Rodríguez M, Brualla L. Comparing Monte Carlo simulations with TOPAS and GATE for photon beam dosimetry. *Radiat Phys Chem.* 2022;201:110245.
- Manik JT, Okselia A, Gaspersz DG, Haryanto F. Validation of Varian Clinac iX Model on 6 MV Photon Beam Using Fast Monte Carlo Simulation. *J Ilm Tek Elektro Komput Inform.* 2023;9(4):951–958. [journal.uad.ac.id/v1i4.Semantico.1](https://doi.org/10.24127/journal.uad.ac.id.v1i4.Semantico.1)
- Chibani O, Ma C-M. On the discrepancies between Monte Carlo dose calculations and measurements for the 18-MV photon beam of a Varian Clinac. *Med Phys.* 2007;34(4):1206–1216.
- Costa AM, et al. Validação do modelo computacional Monte Carlo para simulação de feixe clínico 6 MV do Varian Clinac utilizando o código TOPAS. [Publicação em periódico nacional, detalhes adicionais necessários para formatação completa].
- Tamura M, et al. Dosimetric characteristics of flattening filter-free (FFF) photon beams: Monte Carlo and experimental comparison. *Quantum Beam Sci.* 2020;4(1):3.
- Sankaran S, et al. Comparative study on clinical implementation of flattening filter-free beams. *Radiat Phys Chem.* 2022;198:110019.
- Teshima T, et al. Estimation of peripheral organ doses and second cancer risk after breast radiotherapy using Monte Carlo simulation. *J Appl Clin Med Phys.* 2020;21(12):62–73.
- Chibani O, Ma C-M. On the use of Monte Carlo dose calculations outside the field borders. *Med Phys.* 2006;33(11):4390–4395.
- Rodríguez M, Brualla L. Clinical implementation and accuracy evaluation of PRIMO for complex techniques like VMAT. *Med Phys.* 2019;46(10):4694–4703.
- Shinde R, et al. [Título do artigo]. *Radiat Phys Chem.* 2022;201:110245.
- Murakami Y, et al. [Título do artigo]. *Metrologia.* 2019;56(5):1–10.
- Silva JT, et al. Validation using DPM and PEN-ELOPE. [Publicação em periódico nacional, detalhes adicionais necessários para formatação completa].
- Kim B, et al. Comparison of Monte Carlo codes in Elekta Synergy. [Publicação em periódico nacional, detalhes adicionais necessários para formatação completa].
- Aydogan B, et al. [Título do artigo]. *Rep Pract Oncol Radiother.* 2022;27(4):1–10.
- Lopez M, et al. TOPAS vs GATE for Elekta validation. [Publicação em periódico nacional, detalhes adicionais necessários para formatação completa].
- International Atomic Energy Agency. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. Technical Reports Series No. 398. Vienna: IAEA; 2000. [PubMed+7websites.umich.edu+7w2.fisica.unam.mx+7](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11111111/)
- Chetty IJ, Curran B, Cygler JE, et al. Report of the AAPM Task Group No. 105: Issues associated with clinical implementation of Monte Carlo–based photon and electron external beam treatment planning. *Med Phys.* 2007;34(12):4818–4853.
- Ahnesjö A, Aspradakis MM. Dose calculations for external photon beams in radiotherapy. *Med Phys.* 2011;38(11):5944–5951.
- Rodríguez M, Sempau J, Brualla L. A geometrical model of the Varian Clinac 2100 C/D and its application to Monte Carlo simulation using PENELOPE. *Phys Med Biol.* 2015;60(5):N219–N229.
- Rodríguez M, Brualla L. Monte Carlo simulation of flattening filter and flattening filter-free beams: a comparative study using TOPAS. *Med Phys.* 2020;47(8):e771–e784.

### Contato:

Fellipe Oliveira Ferraz Silva  
Universidade Federal de Sergipe  
Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49100-000  
[fellipeofs@academico.ufs.br](mailto:fellipeofs@academico.ufs.br)

# Controle de Qualidade da Técnica VMAT em Simulador 3D Utilizando a Metodologia do Relatório TG 119 da AAPM

Kiscilla dos Santos Borges<sup>1</sup>, Adrielle Martins Leonardo<sup>2</sup>, Gean Silva dos Santos<sup>2</sup>, Rogério Sanches Santos<sup>2</sup>, Valdeis Pires de Araújo<sup>2</sup>, Flávia Cristhina Ferreira de Araújo<sup>2</sup>, Emerson Nobuyuki Itikawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás

<sup>1</sup>Instituto de Física, Goiânia, Brasil

<sup>2</sup>Hospital Araújo Jorge, Goiânia, Brasil

## Resumo

A implementação do protocolo TG119 para técnica *Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)* no acelerador linear *Infinity Elekta*, foi auxiliar na verificação da conformidade dos planejamentos radioterápicos gerados pelo sistema Monaco®. O estudo incluiu medições de dose pontual e volumétrica, além da análise gamma, para assegurar a precisão do processo de modelagem e entrega de dose. Essa abordagem permitiu validar a capacidade do sistema em reproduzir com acurácia os planejamentos propostos. Os resultados mostraram que a maioria dos parâmetros definidos pelo protocolo foi atendida, com discrepâncias inferiores a 1% em relação aos valores de referência. Os desvios observados em D30 para o reto, na estrutura Próstata, e em D5/D10 na estrutura *C-Shape Hard* permaneceram dentro de limites clinicamente aceitáveis. As taxas de aprovação na análise gamma variaram entre 94,3% e 99,7%, com média de 96,89%, evidenciando a confiabilidade do protocolo e a adequação do sistema para uso clínico. A execução dos testes ocorreu sem intercorrências, favorecida por tecnologias como o colimador multilâminas, a alta taxa de dose e a rotação eficiente do gantry, que otimizam o fluxo de trabalho. Nos casos de maior complexidade, como em tratamentos na região prostática, destacou-se a importância da atuação de físicos médicos experientes para a correta parametrização dos planejamentos. Conclui-se que o protocolo TG119 aplicado ao sistema Infinity estabelece um controle eficaz da qualidade dos planejamentos radioterápicos, promovendo segurança, precisão e reprodutibilidade. Os resultados obtidos também servem como base para auditorias regulatórias e validação de novos protocolos clínicos, consolidando a robustez do sistema para diferentes técnicas de tratamento.

**Palavras-chave:** VMAT; controle de qualidade; TG119; radioterapia; simulador 3D.

## Abstract

The implementation of the TG119 protocol for *Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)* on the *Infinity Elekta* linear accelerator was instrumental in verifying the compliance of radiotherapy treatment plans generated by the Monaco® treatment planning system. The study encompassed point and volumetric dose measurements, as well as gamma analysis, to ensure the accuracy of dose modeling and delivery processes. This approach validated the system's capability to accurately reproduce the proposed treatment plans. Results demonstrated that most protocol-defined parameters were achieved, with discrepancies remaining below 1% relative to reference values. Observed deviations in D30 for the rectum within the Prostate structure, and in D5 and D10 within the *C-Shape Hard* structure, remained within clinically acceptable limits. Gamma analysis approval rates ranged from 94.3% to 99.7%, with an average of 96.89%, indicating the reliability of the protocol and the system's suitability for clinical application. The testing procedures were performed without incidents, facilitated by technologies such as the multileaf collimator, high dose rate capabilities, and efficient gantry rotation, which contributed to workflow optimization. In cases of greater complexity, particularly treatments in the prostate region, the role of experienced medical physicists proved crucial for the appropriate parameterization of treatment plans. In conclusion, the application of the TG119 protocol to the Infinity system establishes an effective framework for quality assurance of radiotherapy treatment plans, promoting safety, precision, and reproducibility. Furthermore, the results provide a reference for regulatory audits and support the validation of new clinical protocols, thereby reinforcing the robustness of the system across various treatment techniques.

**Keywords:** VMAT; quality assurance; TG119; radiotherapy; 3D simulator.

## 1. Introdução

O câncer é uma das principais causas de morte em todo o mundo, representando um conjunto complexo de doenças caracterizadas pelo crescimento descontrolado de células anormais que, em determinadas situações, possuem a capacidade de invadir tecidos

adjacentes e se espalhar para outras partes do corpo, em um processo denominado metástase.

Normalmente, as células do organismo crescem e se dividem de forma ordenada, substituindo as células danificadas ou envelhecidas. No entanto, no câncer, essa ordem é quebrada, levando à proliferação celular anormal e à formação de tumores, que podem ser

benignos ou malignos. Tumores malignos, em particular, têm a capacidade de invadir tecidos saudáveis e disseminar-se para outras partes do corpo, tornando-se uma ameaça significativa à vida (1).

As técnicas de *Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)* apresentam vantagens significativas sobre a Radioterapia Conformada Tridimensional (3D CRT), reduzindo a dose em estruturas críticas enquanto mantém uma distribuição homogênea e conformada ao volume-alvo. Diferentemente das abordagens convencionais em 2D e 3D, a IMRT permite a administração de feixes com intensidade não uniforme, melhorando a precisão do tratamento (2).

*Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)* aprimora ainda mais esse conceito, com a entrega de radiação ocorrendo simultaneamente à rotação do pórtico ao redor do paciente. Três principais variáveis são ajustadas dinamicamente: a configuração do colimador multilâminas (MLC), a velocidade de rotação do pórtico e a taxa de dose. Estudos demonstram que a qualidade da entrega do tratamento VMAT é comparável à IMRT, com vantagens como menor tempo de administração e menor utilização de unidades monitoras (MU) (2).

O conceito inicial da VMAT foi proposto por Cedric Yu em 1995, introduzindo a ideia de um tratamento rotacional com modulação simultânea do formato do campo e da dose. Posteriormente, Karl Otto refinou esse conceito ao demonstrar a possibilidade de entrega da dose em um arco único de 360° (3). Empresas como a Elekta desenvolveram algoritmos avançados, como o *X-ray Volume Imaging (XVI)*, utilizado no planejamento da técnica *RapidArc VMAT*. Focando na verificação da posição do paciente durante o tratamento, usando imagens em tempo real para garantir que o alvo (por exemplo, um tumor) esteja sendo tratado com precisão (3).

A fim de garantir a segurança e eficiência dessas técnicas, centros de radioterapia seguem protocolos rigorosos de garantia da qualidade (QA) e comissionamento do VMAT e IMRT (2-3). O protocolo TG 119 da AAPM foi desenvolvido para avaliar a precisão dos sistemas de planejamento e entrega de dose na IMRT, com aplicação também na VMAT. Estudos indicam que a aplicação do TG 119 em VMAT resulta em diferentes médias de dose pontual abaixo de 2% e índice gamma acima de 96% (4-5).

Com base nesses princípios, o presente estudo tem como objetivo avaliar a precisão do comissionamento do VMAT e comparar os

resultados com as diretrizes da *American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Task Group 119 (TG119)*, estabelecendo limites de confiança para instituições locais.

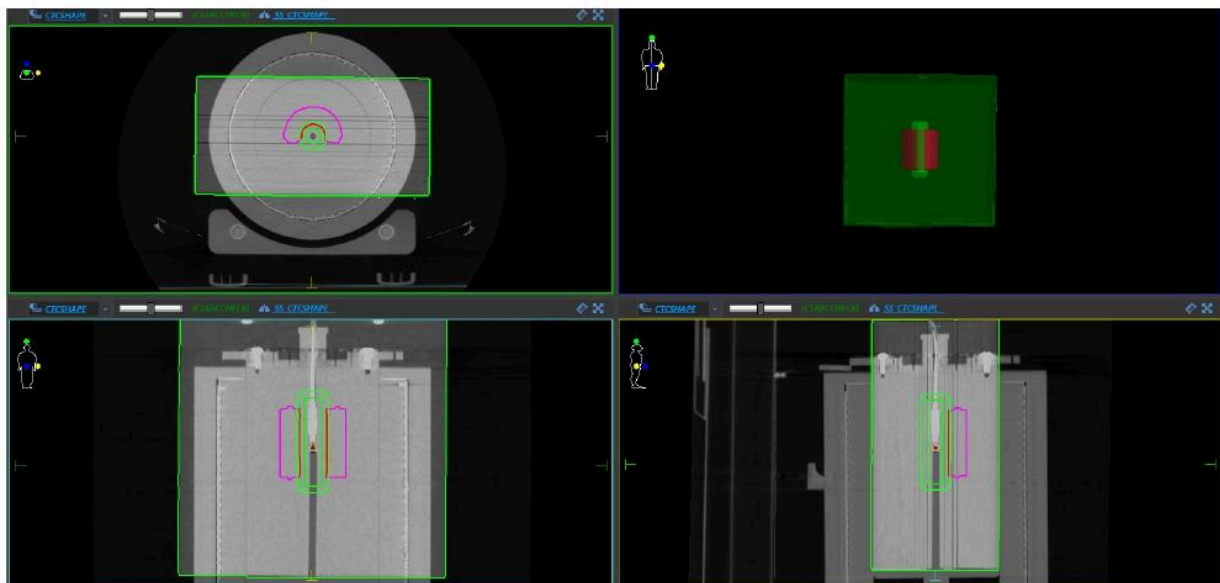
## 2. Materiais e Métodos

Os testes de controle de qualidade foram conduzidos utilizando a técnica VMAT em um simulador tridimensional (3D), seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Relatório TG119 da AAPM. As avaliações abrangeram planos de tratamento e verificação do sistema de planejamento; precisão e verificação dos feixes de radiação; testes de precisão geométrica; testes de dose de radiação; verificação da uniformidade de dose; e verificação da conformidade e precisão do tratamento.

As recomendações do TG119 foram seguidas em todas as etapas do estudo, incluindo seleção, varredura do simulador, planejamento e entrega do tratamento. Placas de água sólida com dimensões de 30 × 30 × 20 cm<sup>3</sup> foram configuradas para medir uma dose pontual a 10 cm de profundidade da superfície. As câmaras de ionização *PinPoint 3D PTW31016* - *PTWFREIBURG* foram posicionadas no centro do simulador, que foi escaneado utilizando um tomógrafo *Aquilion Lightning (Canon)*.

As imagens do *phantom* foram exportadas diretamente para o sistema de planejamento de tratamento (TPS) Monaco (v6.1.3), vide Figura 1, onde as estruturas foram contornadas para definir o volume-alvo planejado (PTV) e os órgãos em risco (OAR), seguindo a padronização do TG119. O planejamento dos feixes foi desenvolvido no TPS Monaco, considerando os casos de teste recomendados, incluindo campos simples, múltiplos alvos e estruturas complexas em formato específico.

A entrega dos planos VMAT foi realizada utilizando um acelerador linear *Elekta Infinity (Elekta Ltd, Crawley, Reino Unido)*, equipado com um colimador multilâminas (MLC) de 160 lâminas e taxa de dose ajustável de até 1400 MU/min. A validação dos planos foi conduzida por meio da comparação entre as doses simuladas e administradas, utilizando análises baseadas em desvio padrão fracional, análise *gamma* e desvio percentual. Os resultados foram comparados com as médias reportadas pelas instituições participantes do relatório TG119, assegurando a reprodutibilidade e confiabilidade dos dados obtidos.



**Figura 1:** Fusão das imagens de tomografia do *phantom* ArcCHECK com as imagens do *phantom* Placas de Águas Sólidas do TG119.

### 2.1 Sistema de Dosimetria

O *phantom* ArcCHECK (Sun Nuclear, EUA) foi utilizado para verificação dos planos. Esse O *phantom* ArcCHECK (Sun Nuclear, EUA) foi utilizado para verificação dos planos. Esse dispositivo cilíndrico contém 1386 diodos espaçados em 1 cm, organizados em uma grade helicoidal, garantindo alta precisão na medição da distribuição de dose. Suas dimensões incluem um diâmetro interno de 21 cm, diâmetro externo de 27 cm e comprimento total de 43 cm.

A calibração dos diodos foi previamente realizada pelo fabricante e comissionada pelo serviço através do software *SNC Patient* (versão 6.2). A dose absoluta foi calibrada conforme as instruções do manual do fabricante, utilizando uma câmara de ionização posicionada no centro do *phantom*.

### 2.2 Plano de Tratamento e Adaptação do TG119 para a Técnica VMAT

O planejamento seguiu as diretrizes do TG119, estruturado em duas etapas principais:

1. Otimização da fluência ideal dos feixes de radiação, utilizando o algoritmo *Finite Size Pencil Beam (FSPB)*, garantindo a distribuição homogênea da dose no volume alvo (7).
2. Conversão da fluência ideal em segmentos de feixe otimizados pelo *Monaco®*, ajustando suas formas e pesos para garantir a conformidade ao volume alvo e viabilidade da execução no acelerador linear (8).

O cálculo final da dose foi realizado com o algoritmo *Monte Carlo* baseado em *voxels*, conhecido por sua alta precisão na simulação da interação da radiação com os tecidos. Indicadores de qualidade como índice de conformidade (CI) e índice de homogeneidade (HI) foram avaliados

para garantir a aderência aos critérios estabelecidos pelo TG119 (11).

Foi conduzido testes de validação, incluindo medições pontuais com câmaras de ionização *PinPoint 3D PTW31016* (PTW Freiburg).

As medições de dose foram analisadas com os critérios de análise *gamma*, considerando 3% de diferença de dose e 3 mm de distância até a concordância, conforme a equação (1). A padronização do TG119 permite que novas instituições adotem esse protocolo como referência na implementação da técnica VMAT.

$$\text{Limite de Confiança} = |\text{média}| + 1,96\sigma \quad (1)$$

onde  $\sigma$  é o desvio padrão da média.

### 3. Resultados

As estatísticas para os planos realizados nos testes Múltiplos Alvos, Próstata, Cabeça e Pescoço, *C-shape easy* e *C-shape-hard* estão detalhadas nas Tabelas 2-6, sendo que o perfil de dose do plano *C-shape Hard* pode ser visualizado na Figura 2.

Os resultados da análise do teste dosimétrico estão detalhados na Tabela 1, revelando uma diferença de 2 cGy para AP/PA e -2,9 cGy para BANDAS em relação à dose planejada e dose obtida. Este valor é satisfatório, considerando que o TG119 estabelece uma margem aceitável de variação de  $\pm 3\%$ . Esses resultados atestam a precisão e eficácia do sistema de planejamento, entrega de dose e calibração da câmara de ionização, refletindo um desempenho excepcional. Além disso, o resultado do QA paciente específico demonstrou compatibilidade da fluência de dose planejada com a medida pelo *SNC Patient ArcCHECK* no LINAC, atingindo 98,9% para AP/PA e 99,7% para BANDAS.

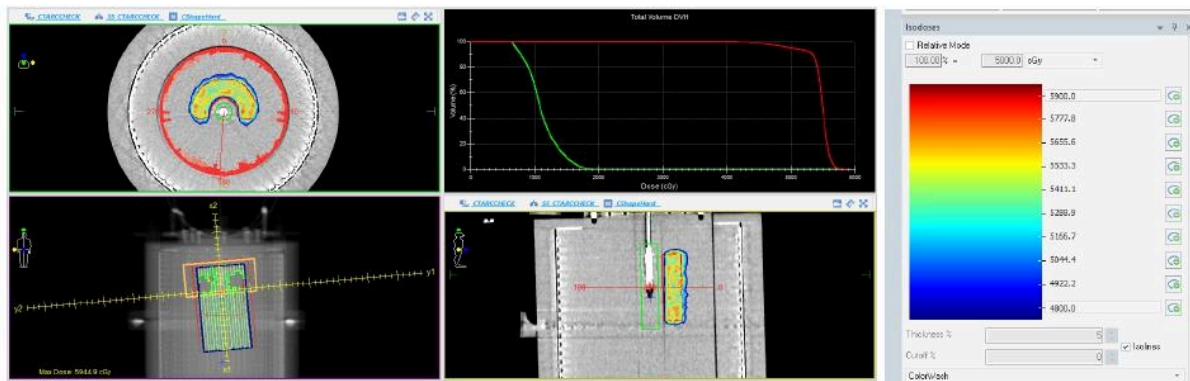


Figura 2: Perfil de dose através do plano C-shape Hard.

**Tabela 1.** Análise do teste dosimétrico para AP/PA e BANDAS.

| Teste            | Medido cGy | Calculado cGy | Diferença cGy |
|------------------|------------|---------------|---------------|
| D99 ALVO CENTRAL | 198        | 196           | 2             |
| D10 ALVO CENTRAL | 137,1      | 140           | -2,9          |

Fonte: Própria Autora (2024).

Nos resultados apresentados na Tabela 2, o planejamento VMAT alcançou os objetivos estabelecidos e atendeu aos critérios da análise gamma com uma taxa de aprovação de 97,1%.

**Tabela 2.** Planejamento Múltiplos Alvos. ALVO CENTRAL: maior dose por fração; ALVO SUPERIOR: 50% da dose do central; ALVO INFERIOR: 25% da dose do central; D99: Dose recebida por 99% do volume; D10: Dose recebida por 10% do volume.

| Parâmetro do Planejamento | Prescrição (cGy) | Atingido (cGy) | Média TG119 |
|---------------------------|------------------|----------------|-------------|
| D99 ALVO CENTRAL          | ≥5000            | 5008,9         | 4955        |
| D10 ALVO CENTRAL          | ≤5300            | 5193,3         | 5455        |
| D99 ALVO SUPERIOR         | ≥2500            | 2562,9         | 2516        |
| D10 ALVO SUPERIOR         | ≤3500            | 3181           | 3412        |
| D99 ALVO INFERIOR         | ≥1250            | 1253,6         | 1417        |
| D10 ALVO INFERIOR         | ≤2500            | 2417,8         | 2418        |
| GAMMA PASS %              | 97,1             |                |             |

Fonte: Própria Autora (2024).

Na Tabela 3, no caso da próstata, a dose no alvo foi semelhante em todos os estudos, com a dose D95% alcançando 76 Gy para a técnica VMAT. A dose na bexiga foi maior do que em outros estudos, mas permaneceu dentro do limite prescrito (D30% ≤ 70 Gy; D10% ≤ 75 Gy). A dose D30% no reto foi de 51,77 Gy para VMAT, sendo significativamente menor do que a meta estabelecida pelo TG119 (D30% ≤ 70 Gy).

**Tabela 3.** Planejamento Próstata. D95 ALVO: Dose recebida por 95% do volume; D5 ALVO: Dose recebida por 5% do volume; D30 ALVO NO RETO: Dose recebida por 30% do volume; D10 ALVO NO RETO: Dose recebida por 10% do volume; D30 ALVO NA BEXIGA: Dose recebida por 30% do volume; D10 ALVO NA BEXIGA: Dose recebida por 10% do volume.

| Parâmetro do Planejamento | Prescrição (cGy) | Atingido (cGy) | Média TG119 |
|---------------------------|------------------|----------------|-------------|
| D99 ALVO                  | ≥7560            | 7600           | 7560        |
| D5 ALVO                   | ≤8300            | 7999,1         | 8143        |
| D30 ALVO NO RETO          | ≤7000            | 5177,6         | 6536        |
| D10 ALVO NO RETO          | ≤7500            | 7222           | 7303        |
| D30 ALVO NA BEXIGA        | ≤7000            | 3895,9         | 4394        |
| D10 ALVO NA BEXIGA        | ≤7500            | 6544,9         | 6269        |
| GAMMA PASS %              | 97,8             |                |             |

Fonte: Própria Autora (2024).

Os resultados estão apresentados na Tabela 4, onde no caso do teste de cabeça e pescoço, os planejamentos foram semelhantes em todos os aspectos, exceto para as glândulas parótidas. A dose no alvo foi de 50,63 Gy para a técnica VMAT, em comparação com a dose prescrita de 50 Gy. A preservação das parótidas foi melhor alcançada no planejamento com VMAT, com uma dose de 19,64 Gy.

**Tabela 4.** Planejamento Cabeça e Pescoço. D90 ALVO: Dose recebida por 90% do volume; D99 ALVO: Dose recebida por 99% do volume; D20 ALVO: Dose recebida por 20% do volume;  $D_{max}$  MEDULA: Dose máxima recebida na medula; D50 PARÓTIDA DIREITA: Dose recebida por 50% do volume; D50 PARÓTIDA ESQUERDA: Dose recebida por 50% do volume.

| Parâmetro do Planejamento | Prescrição (cGy) | Atingido (cGy) | Média TG119 |
|---------------------------|------------------|----------------|-------------|
| D90 ALVO                  | ≥5000            | 5063,7         | 5028        |
| D99 ALVO                  | ≥4650            | 4741,7         | 4704        |
| D20 ALVO                  | ≤5500            | 5247           | 5299        |
| Dmax MEDULA               | ≤4000            | 3712,1         | 3741        |
| D50 PARÓTIDA DIREITA      | ≤2000            | 1763           | 1798        |
| D50 PARÓTIDA ESQUERDA     | ≤2000            | 1964,5         | 1798        |
| GAMMA PASS %              | 95,5             |                |             |

Fonte: Própria Autora (2024).

No caso do *C-shape easy*, os resultados estão na Tabela 5, juntamente com a média dos resultados do TG119. A dose no alvo foi de 51,70 Gy. A dose no núcleo foi mais alta em nosso estudo em comparação com outros, mas permaneceu dentro do limite prescrito ( $D5\% \leq 25$  Gy).

**Tabela 5.** Planejamento C-shape easy. D95 ALVO: Dose recebida por 95% do volume; D10 ALVO: Dose recebida por 10% do volume; D5 MEDULA: Dose recebida por 5% do volume; D10 MEDULA: Dose recebida por 10% do volume.

| Parâmetro do Planejamento | Prescrição (cGy) | Atingido (cGy) | Média TG119 |
|---------------------------|------------------|----------------|-------------|
| D95 ALVO                  | $\geq 5000$      | 5008,9         | 4955        |
| D10 ALVO                  | $\leq 5500$      | 5193,3         | 5455        |
| D5 MEDULA                 | $\leq 2500$      | 2562,9         | 2516        |
| D10 MEDULA                | $\leq 2500$      | 3181           | 3412        |
| GAMMA PASS %              | 94,9             |                |             |

Fonte: Própria Autora (2024).

Para o caso do *C-shape hard* os resultados estão apresentados na Tabela 6, juntamente com a média dos resultados do TG119. No caso do *C-shape hard*, a dose no alvo foi de 50,95 Gy. A dose no núcleo foi mais alta em nosso estudo, mas permaneceu dentro do limite prescrito ( $D5\% \leq 10$  Gy).

**Tabela 6.** Planejamento C-shape hard. D95 ALVO: Dose recebida por 95% do volume; D10 ALVO: Dose recebida por 10% do volume; D5 MEDULA: Dose recebida por 5% do volume; D10 MEDULA: Dose recebida por 10% do volume.

| Parâmetro do Planejamento | Prescrição (cGy) | Atingido (cGy) | Média TG119 |
|---------------------------|------------------|----------------|-------------|
| D95 ALVO                  | $\geq 5000$      | 5008,9         | 4955        |
| D10 ALVO                  | $\leq 5500$      | 5193,3         | 5455        |
| D5 MEDULA                 | $\leq 1000$      | 1522,3         | -           |
| D10 MEDULA                | $\leq 1000$      | 1487           | 1630        |
| GAMMA PASS %              | 94,3             |                |             |

Fonte: Própria Autora (2024).

A Tabela 7 compara a dose medida, planejada e prescrita para cada planejamento, dividida pelas regiões de alta e baixa dose.

**Tabela 7.** Comparação entre a dose medida, a dose planejada e a dose prescrita, para cada planejamento, dividida pela região de alta e baixa dose.

| PLANEJAMENTO             | ALTA DOSE | BAIXA DOSE | ALTA DOSE TG119 | BAIXA DOSE TG119 |
|--------------------------|-----------|------------|-----------------|------------------|
| MÚLTIPLOS ALVOS NO ALVO  | -0,018    | -0,019     | 0,001           | -0,008           |
| PRÓSTATA NO ALVO         | -0,012    | -0,015     | -0,001          | -0,000           |
| CABEÇA E PESCOÇO NO ALVO | -0,017    | -0,039     | -0,010          | 0,004            |
| C-SHAPE EASY NO ALVO     | -0,018    | -0,023     | -0,001          | -0,010           |
| C-SHAPE HARD NO ALVO     | -0,017    | -0,028     | -0,001          | -0,009           |

Fonte: Própria Autora (2024).

Na Tabela 8, são apresentadas as médias das medidas de desvio fracional da dose pontual, o respectivo desvio padrão e o limite de confiança, incluindo tanto os resultados obtidos no presente trabalho quanto os resultados do relatório AAPM TG119.

**Tabela 8.** Estatística das medidas de desvio fracional da dose pontual e o limite de confiança.

|                            | ALTA DOSE    | BAIXA DOSE   | ALTA DOSE TG119 | BAIXA DOSE TG119 |
|----------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|
| MÉDIA                      | -0,016       | -0,025       | -0,002          | -0,003           |
| DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ ) | $\pm 0,0025$ | $\pm 0,0093$ | $\pm 0,022$     | $\pm 0,022$      |
| LIMITE DE CONFIANÇA        | 0,021        | 0,043        | 0,045           | 0,047            |

Fonte: Própria Autora (2024).

O limite de confiança apresentado na Tabela 9 é calculado conforme a Equação 1 e serve para descrever o grau de concordância entre o conjunto de medições e os valores planejados.

**Tabela 9.** Pontos aprovados pelo critério gamma.

| PLANEJAMENTO             | GAMMA (%) | GAMMA TG119 (%) |
|--------------------------|-----------|-----------------|
| API/PA                   | 98,9      | -               |
| BANDAS                   | 99,7      | 99,4            |
| MÚLTIPLOS ALVOS NO ALVO  | 97,1      | 99,1            |
| PRÓSTATA NO ALVO         | 97,8      | 98,0            |
| CABEÇA E PESCOÇO NO ALVO | 95,5      | 96,2            |
| C-SHAPE EASY NO ALVO     | 94,9      | 97,6            |
| C-SHAPE HARD NO ALVO     | 94,3      | 94,4            |

Fonte: Própria Autora (2024).

Na Tabela 10 é mostrada a média, o desvio padrão e o limite de confiança, conforme recomendado pelo protocolo AAPM TG119. Na análise gamma, 95% dos testes devem resultar em aprovação que excedam  $(100-CL)\%$ , sendo que no neste estudo foi de 96,89%.

**Tabela 10.** Avaliação dos pontos aprovados pelo critério gamma.

|                            | RESULTADOS   | TG119       |
|----------------------------|--------------|-------------|
| MÉDIA                      | 96,89%       | 97,9%       |
| DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ ) | $\pm 2,06\%$ | $\pm 2,5\%$ |
| LIMITE DE CONFIANÇA        | 7,15%        | 7,0%        |

Fonte: Própria Autora (2024).

#### 4. Discussão

Com base nos resultados obtidos, observa-se que a maioria dos parâmetros dos planejamentos atingiu os objetivos estabelecidos. A validação foi realizada de acordo com os critérios do protocolo AAPM TG119, que estabelece diretrizes rigorosas

para o comissionamento de sistemas de planejamento radioterápico. No entanto, alguns testes de comissionamento apresentaram valores que não corresponderam integralmente aos de referência, exigindo uma análise detalhada desses desvios.

Os pontos de não conformidade identificados foram os valores de D30 no reto da estrutura Próstata e os valores de D5 e D10 para a estrutura *C-Shape Hard*. Esses resultados indicam que, embora a maioria dos testes tenha sido bem-sucedida, algumas regiões anatômicas apresentaram pequenas variações em relação às doses planejadas. No entanto, a diferença observada entre os valores obtidos e os valores de referência foi inferior a 1%, o que sugere que essas variações são pouco significativas do ponto de vista clínico e não comprometem a validade dos resultados obtidos.

As medições de dose pontual realizadas com câmara de ionização indicaram variações extremamente reduzidas, situando-se entre 0,0025% e 0,0093% para regiões de alta e baixa dose. A análise estatística desses valores demonstrou que a média na região de alta dose foi de -0,016%, enquanto na região de baixa dose foi de -0,025%. Esses valores indicam que as diferenças entre as doses medidas e as doses planejadas são desprezíveis e estão bem dentro dos limites aceitáveis para validação dos planejamentos.

Além da análise de dose pontual, foi realizada a avaliação pela técnica de análise *gamma*, que é amplamente utilizada para verificação da qualidade de planejamento e execução dos tratamentos radioterápicos. O percentual de pontos aprovados variou entre 94,3% e 99,7%, indicando um alto nível de concordância entre as doses calculadas e as doses entregues. Esses resultados são consistentes com os critérios estabelecidos pelo protocolo AAPM TG119, reforçando a confiabilidade dos testes realizados. A média do critério *gamma* foi de 96,89%, com desvio padrão de 2,06%, enquanto o TG119 apresentou uma média de 97,9% com desvio padrão de 2,5%. Apesar de uma leve diferença na média dos valores obtidos, o limite de confiança deste estudo foi ligeiramente superior ao do TG119, sendo 7,15% contra 7,0%, respectivamente.

O conjunto de casos definidos pelo protocolo TG119 é fundamental para a avaliação e comparação de diferentes módulos de otimização, permitindo a análise de diversos níveis de complexidade dos planejamentos e demonstrando a capacidade dos sistemas em lidar com estruturas anatômicas complexas. A aplicação desses testes é essencial para estabelecer uma linha de base confiável e para definir dados de referência utilizados no comissionamento de técnicas como a IMRT. Adicionalmente, esses testes desempenham um papel crucial na avaliação de novas abordagens, como o VMAT, permitindo uma análise

aprofundada de suas capacidades técnicas antes da implementação clínica.

A implementação dos programas de VMAT, conforme descrito no TG119, exige estudos multi-institucionais e a colaboração entre diferentes fabricantes, de forma a garantir a padronização e confiabilidade dos resultados. Neste estudo, a execução dos testes de comissionamento no sistema *Infinity* ocorreu sem dificuldades, sendo facilitada pela tecnologia avançada de lâminas do colimador multilâminas, pela alta taxa de dose e pela capacidade de rotação eficiente do *gantry*, que permitiram uma execução rápida e precisa dos planejamentos.

As principais limitações encontradas neste estudo estavam relacionadas à experiência no planejamento dos casos. Para planos mais simples, como os de incidência anteroposterior/posteroanterior (AP/PA), bandas e multi-alvos, foi possível atender plenamente aos critérios do TG119.

No entanto, para casos mais complexos, incluindo regiões como próstata, cabeça e pescoço, bem como as estruturas *C-Shape Easy* e *Hard*, houve necessidade de suporte adicional de físicos médicos com maior experiência. Esses profissionais utilizaram ferramentas avançadas do sistema Monaco e exploraram capacidades técnicas específicas para otimizar os planejamentos, garantindo que os resultados finais fossem compatíveis com os critérios estabelecidos pelo protocolo TG119.

## 5. Conclusões

A implementação do protocolo TG119 foi realizada com sucesso para o acelerador linear *Infinity* no serviço de radioterapia do Hospital Araújo Jorge. No entanto, alguns parâmetros não foram plenamente atingidos, possivelmente devido a desafios no planejamento final.

As medições de dose pontual e dose planar demonstraram alta reprodutibilidade dos planos gerados pelo sistema, com médias de 0,016% para a região de alta dose e 0,025% para a região de baixa dose. Esses valores estão dentro da tolerância estabelecida pelo protocolo, que é de 3%/3mm.

O índice de aprovação dos planejamentos analisados permaneceu dentro dos limites aceitáveis definidos pelo protocolo, que exige um mínimo de 95% para a aprovação da dose planar. Neste estudo, a média de pontos aprovados pelo critério *gamma* foi de 96,89%, reforçando a confiabilidade do processo de modelagem e entrega da dose.

Os resultados obtidos nas medições de dose pontual confirmam a adequação do sistema utilizado para a modelagem dos planejamentos. A reprodutibilidade dos planos no acelerador linear validou a entrega da dose planejada no sistema *Infinity*, operando com feixes de 6FFF. Esses achados fornecem uma base sólida para futuras

auditorias da CNEN, atendendo aos requisitos estabelecidos pelo Guia para Elaboração de Relatório de Auditoria Externa e Independente em Instalações de Radioterapia.

kiscillaborges@discente.ufg.br

### Agradecimentos

Ao setor de Radioterapia do Hospital de Câncer Araújo Jorge pela colaboração técnica e acadêmica. Estende-se também à Universidade Federal de Goiás, por meio do Instituto de Física, pelo suporte acadêmico durante a realização deste trabalho.

### Referências

1. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Cancer*. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>. Acesso em: 28 de mar.2025.
2. JHA, S. K. et al. Dosimetric Comparison of VMAT and IMRT for Head and Neck Cancers: A Systematic Review. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, v. 19, n. 4, p. 1009-1017, 2018. DOI: 10.22034/APJCP.2018.19.4.1009.
3. A N, S A P. Dosimetric Evaluation of Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) and Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) Using AAPM TG 119 Protocol. *J Biomed Phys Eng*. 2019 Aug 1;9(4):395-408. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.839. PMID: 31531292; PMCID: PMC6709355.
4. TEULINGS, A. et al. Quality Assurance of VMAT Treatment Planning: Results from a Multicenter Study. *Radiotherapy and Oncology*, v. 123, n. 2, p. 179-185, 2017. DOI: 10.1016/j.radonc.2017.02.021
5. AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. *Task Group 119 Report: IMRT Commissioning - Multiple Institutions Report*. 2009. Disponível em: <https://www.aapm.org/pubs/reports/documents/TG119.pdf>. Acesso em: 9 out. 2024.
6. Deng J, Liu S, Huang Y, Li X, Wu X. Evaluating AAPM-TG-218 recommendations: Gamma index tolerance and action limits in IMRT and VMAT quality assurance using SunCHECK. *J Appl Clin Med Phys*. 2024 Jun;25(6):e14277. doi: 10.1002/acm2.14277. Epub 2024 Jan 19. PMID: 38243604; PMCID: PMC11163510.
7. ELIKESSEN, O. et al. Advanced Dose Calculations For Radiotherapy Planning: An Overview Of The Pencil Beam Algorithm. *Medical Physics*, v. 41, n. 7, p. 1–12, 2014.
8. **ELEKTA**. *Monaco Treatment Planning System: Manual Técnico*, versão 6.1.3. Estocolmo, Suécia: Elekta AB, 2013.
9. SNYDER, J. E. et al. O comissionamento e validação do sistema de planejamento de tratamento de Mônaco em um acelerador linear Elekta VersaHD. *J Appl Clin Med Phys*, v. 20, p. 184-193, 2019. DOI: 10.1002/acm2.12507.
10. **SUN NUCLEAR CORPORATION**. *Arccheck With 3dvh Comprehensive Imrt And Vmat Qa Solution*. Disponível em: <https://solumedics.com/wp-content/uploads/2019/10/Arccheck3dvh.pdf>.
11. Yoriyaz, H. (2015). Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. *Revista Brasileira De Física Médica*, 3(1), 141–149. <https://doi.org/10.29384/rbfm.2009.v3.n1.p141-149>

### Contato:

Kiscilla dos Santos Borges  
Universidade Federal de Goiás  
Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia  
74690-900

---

# Implementação e comparação de modelos KBP-RapidPlan em radioterapia do câncer de mama

## Implementation and Comparison of KBP-RapidPlan Models in Breast Cancer Radiotherapy

Danilo Copetti T. Menezes<sup>1,2</sup>, Daniel A. B. Bonifacio<sup>1</sup>, Luiz A. R. da Rosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup>Radioterapia Botafogo – Oncoclínicas, Departamento de Física Médica, Rio de Janeiro, Brasil

### Resumo

O câncer de mama é o tipo de câncer mais comum entre as mulheres no mundo. A radioterapia desempenha um papel crucial no tratamento. A técnica de radioterapia em arco volumétrico (VMAT), permite uma conformação mais precisa da dose no alvo e maior proteção aos órgãos adjacentes. A eficácia dessa técnica é aprimorada por algoritmos de planejamento baseados em conhecimento, como o RapidPlan, que utiliza modelos de estimativa de histograma dose-volume para reduzir o tempo e a variabilidade do planejamento, garantindo tratamentos mais seguros e eficazes. O objetivo deste estudo é desenvolver e comparar modelos RapidPlan para mama esquerda, avaliando a eficácia de modelos com bancos de dados de diferentes tamanhos. Modelos foram criados com 30 a 400 planos de mama, incluindo um modelo específico para o acelerador linear Halcyon. Trinta pacientes, não incluídos nos modelos, foram analisados, totalizando 240 planejamentos otimizados. O modelo com o maior banco de dados (400 planos) reduziu significativamente as doses baixas no pulmão esquerdo sem comprometer a qualidade do plano. Não houve diferenças significativas entre o modelo específico para o Halcyon e o modelo geral para 3 aceleradores lineares (Trilogy, Vitalbeam e Halcyon) indicando que um banco de dados mais abrangente é mais benéfico do que a especialização para um único tipo de equipamento. O estudo recomenda a criação de modelos com pelo menos 150 planos para garantir um ótimo desempenho. O modelo de 400 planos foi aprovado para uso clínico, fornecendo uma base sólida para novos modelos RapidPlan em diversos sítios anatômicos.

**Palavras-chave:** Radioterapia; Câncer de mama; Aceleradores Lineares; VMAT; Knowledge-Based Planning; RapidPlan.

### 1. Introdução

O câncer de mama é o tipo de câncer mais comum entre mulheres em todo o mundo (1). O tratamento varia conforme o estadiamento e as características do tumor, com a radioterapia sendo uma opção complementar indicada desde os estágios iniciais da doença. Entre os tumores tratados com radioterapia, o câncer de mama é um dos mais frequentes, e o tratamento mais utilizado é com feixes de raios X gerados por aceleradores lineares (2).

A técnica de Radioterapia em Arco Volumétrico com Modulação de Intensidade (VMAT) utiliza um planejamento inverso com arcos volumétricos de intensidade modulada para melhorar a conformação e homogeneidade da dose absorvida no alvo, protegendo órgãos adjacentes saudáveis (2-6). Na prática clínica, a técnica VMAT demonstrou desempenho superior no tratamento do câncer de mama em comparação com métodos convencionais (7).

O A utilização de algoritmos de planejamento baseado em conhecimento (KBP), como o RapidPlan (Varian Medical Systems, EUA), tem se mostrado eficaz para reduzir o tempo de planejamento e aumentar a consistência e a qualidade dos planos de tratamento, ao mesmo tempo em que minimiza a variabilidade entre planejadores (8-11). O RapidPlan é uma ferramenta de inteligência artificial que utiliza dados de planos de tratamento anteriores, na forma de modelos de estimativa de Histograma Dose-

Volume (DVH), para prever a distribuição de dose em novos pacientes (12,13).

As evidências de estudos publicados demonstraram que a utilização do RapidPlan resultou em uma melhoria geral na consistência dos planos de tratamento entre pacientes, na qualidade intrínseca dos planos e na eficiência do processo em termos de tempo e fluxo de trabalho. Além disso, o uso do RapidPlan mostrou-se eficaz na harmonização de práticas entre diferentes centros (como em uma rede), diferentes sítios anatômicos, ou entre planejadores com diferentes níveis de habilidade (14-23).

Os métodos KBP também foram explorados como uma ferramenta de garantia da qualidade do plano, orientando os planos a aderirem melhor aos critérios dos ensaios clínicos, com o objetivo de prevenir resultados clínicos insatisfatórios (24-27).

Este trabalho descreve a técnica de planejamento VMAT utilizada nos serviços de radioterapia do Grupo Oncoclínicas para a obtenção de planos de alta qualidade, bem como a implementação de modelos de mama para o uso da ferramenta RapidPlan. A técnica foi validada e aprimorada utilizando ferramentas de bloqueio de entrada de campos (*avoidance*) e modelos RapidPlan, conforme demonstrado em um estudo recente realizado no mesmo serviço de Radioterapia do Grupo Oncoclínicas (28). Dando continuidade ao estudo concluído em 2023 por este grupo, a aplicação da melhor técnica e a implementação do modelo

RapidPlan com melhor desempenho devem aprimorar a segurança e a qualidade dos planejamentos para tratamento de mama esquerda na prática clínica.

Este estudo busca avaliar a eficácia de modelos RapidPlan para o tratamento de câncer de mama esquerda, comparando o desempenho de diferentes tamanhos de bancos de dados e analisando a implementação clínica desses modelos. A comparação entre planos otimizados com e sem a ferramenta RapidPlan permite demonstrar que sua aplicação facilita a otimização do planejamento VMAT, assegurando segurança e qualidade nos tratamentos de radioterapia para câncer de mama. Além disso, este trabalho investiga o impacto da quantidade de pacientes no banco de dados de treinamento sobre a eficácia dos modelos.

O objetivo principal é validar e investigar a qualidade dos modelos RapidPlan para otimizar o planejamento e melhorar a segurança e a qualidade dos planos de tratamento de mama esquerda com VMAT. Os objetivos específicos incluem: a) validar e avaliar o desempenho de modelos RapidPlan criados com diferentes quantidades de pacientes no banco de dados; b) comparar um modelo geral, contendo pacientes tratados em diferentes aceleradores lineares (Trilogy, VitalBeam e Halcyon), com um modelo específico para o acelerador Halcyon.

Os resultados deste estudo demonstram que os planos gerados automaticamente pelo RapidPlan são clinicamente aceitáveis e evidenciam as vantagens do uso dessa ferramenta. Além disso, identificam se há vantagens em criar modelos específicos para o equipamento Halcyon, contribuindo para a definição de melhores práticas na implementação de modelos RapidPlan de mama.

## 2. Materiais e Métodos

Utilizando a ferramenta RapidPlan™, foram desenvolvidos vários modelos KBP para otimização de planos VMAT de mama esquerda. Esses modelos foram criados a partir de 429 planos retrospectivos de mama esquerda aprovados e tratados nos aceleradores lineares modelo Trilogy, VitalBeam e Halcyon.

O objetivo deste estudo é comparar modelos RapidPlan criados com diferentes quantidades de planos no banco de dados (30, 50, 100, 150, 200, 300 e 400 planos). Foram gerados oito modelos ao excluir, em ordem aleatória, um número definido de planos a partir do modelo com 400 planos (RP400), e retrainando-os sem nenhuma outra alteração. Para avaliar a especificidade de um modelo para o acelerador linear Halcyon, foram selecionados aleatoriamente 150 planos de mama esquerda planejados para o Halcyon do banco de dados inicial (RP400), resultando na criação de um novo modelo, o HCY. Cada modelo foi utilizado para replanejar 30 pacientes, não incluídos nos modelos, resultando em 240 planejamentos otimizados. Os 30 planos retrospectivos originais criados manualmente por

planejadores experientes e tratados na instituição são referidos como planos APV (plano original aprovado)

Os planos de mama esquerda adicionados aos modelos, abrangem as prescrições de doses convencionais (dose de 200 cGy/dia), hipofracionamento moderado (250 a 300 cGy/dia) e ultrahipofracionamento (520 cGy/dia).

Todos os pacientes passaram por uma simulação de Tomografia Computadorizada (Siemens Somatom CT) em respiração livre, posicionados em decúbito dorsal sobre um wingboard padrão, com ambos os braços elevados. As imagens foram adquiridas com parâmetros de 120 kVp, 200 mAs e espessura de corte de 3 mm.

Os planos de tratamento VMAT foram gerados utilizando o sistema Eclipse v16.1 (Varian Medical Systems, EUA) com feixes de fótons de 6 MV, aplicados por aceleradores lineares Trilogy, VitalBeam ou Halcyon.

Todos os planos otimizados com os modelos RapidPlan e comparados neste estudo foram planejados com a mesma geometria de campos e configurações de ângulos de gantry, colimador e mesa (Tabela 1). Essas configurações de arcos foram inspiradas em estudos que abordaram diferentes soluções de VMAT com melhores desempenho de otimização (29-32). Neste trabalho foi evitada entrada e saída direta do feixe na estrutura "z\_avoid" conforme estudo já realizado na instituição anteriormente (28) visando diminuir a dose nas estruturas contralaterais (29). A estrutura "z\_avoid" é criada pela soma das regiões de estômago, pulmão ipsilateral e coração segmentadas na tomografia computadorizada. Esse conjunto de órgãos em risco é recortado de uma expansão isométrica de 3 cm do agrupamento do PTV.

**Tabela 1.** Geometria de campos para tratamento VMAT de mama esquerda.

| Arco | Sentido      | Gantry   | Colimador | Mesa |
|------|--------------|----------|-----------|------|
| 1    | Anti-horário | 179°→80° | 355°      | 0°   |
| 2    | Anti-horário | 15°→285° | 355°      | 0°   |
| 3    | Horário      | 285°→15° | 5°        | 0°   |
| 4    | Horário      | 80°→179° | 5°        | 0°   |
| 5    | Anti-horário | 179°→80° | 350°      | 0°   |
| 6    | Anti-horário | 15°→285° | 350°      | 0°   |

### 2.1. Objetivos e prioridades de otimização do modelo

Os órgãos em risco considerados no treinamento foram os pulmões direito e esquerdo, mama contralateral, coração, artéria coronária esquerda, esôfago, medula e anel abaixador (z\_abx). Os anéis abaixadores auxiliam o planejador a melhorar a conformidade da dose no alvo e atingir o melhor gradiente possível, controlando as doses mais altas dentro do alvo e poupando os tecidos saudáveis adjacentes. Para criar o anel abaixador de 30mm (z\_abx) é adicionada margem de 30mm a partir do PTV, e removida a parte que se estende para dentro (*crop structure*) com margem de 5mm de distância dele. Em outras palavras,  $z\_abx = (PTV + 30mm) - 5mm$  do PTV.

Os modelos foram estabelecidos para gerar objetivos de tipo linha e dose média com prioridades de otimização gerados automaticamente pelo sistema para todos os órgãos em risco envolvidos. Os objetivos e prioridades lineares, superiores e médios foram selecionados para cada estrutura do modelo, conforme detalhado na tabela 2.

**Tabela 2.** Objetivos e prioridades de otimização do modelo RapidPlan pós-refinamento.

| Estrutura               | Tipo de objetivo | Volume (%) | Dose(% da prescrição ou cGy) | Prioridade |
|-------------------------|------------------|------------|------------------------------|------------|
| PTV                     | Superior         | 0          | 106%                         | 120        |
|                         | Superior         | 0          | 109%                         | 200        |
|                         | Inferior         | 100%       | 101%                         | 130        |
|                         | Inferior         | 96%        | 103%                         | 180        |
| Art. Coronária Esquerda | Superior         | 0          | Gerado                       | Gerado     |
|                         | Linha            | Gerado     | Gerado                       | 50         |
| Coração                 | Linha            | Gerado     | Gerado                       | Gerado     |
|                         | Linha            | Gerado     | Gerado                       | 100        |
| Esôfago                 | Superior         | 0          | Gerado                       | Gerado     |
|                         | Superior         | 0          | 1000 cGy                     | 100        |
| Mama Contralateral      | Superior         | 3%         | 700 cGy                      | Gerado     |
|                         | Linha            | Gerado     | Gerado                       | Gerado     |
| Medula                  | Superior         | 0          | Gerado                       | Gerado     |
| Pulmão D                | Linha            | Gerado     | Gerado                       | Gerado     |
|                         | Linha            | Gerado     | Gerado                       | Gerado     |
| Pulmão E                | Linha            | Gerado     | Gerado                       | Gerado     |
|                         | Linha            | Gerado     | Gerado                       | 100        |
| Ventrículo E            | Linha            | Gerado     | Gerado                       | Gerado     |
|                         | Superior         | 0          | 95%                          | 120        |
| z_abx                   | Linha            | Gerado     | Gerado                       | 100        |

O algoritmo de cálculo de dose tridimensional AAA 15.6.5 (Varian, Palo Alto, EUA) foi empregado, com grade de cálculo de 2,5mm e correção de heterogeneidade. A ferramenta automática NTO (objetivo de tecido normal) foi ativada no modelo, com uma prioridade definida em 50.

Todos os planos foram otimizados para feixes de fótons de 6 MV para VMAT e normalizados em  $D95\% = V95\%$  do PTV com prescrição de dose total de 26 Gy em ultrahipofracionamento (5 frações de 520 cGy).

## 2.2. Comparação entre planejamentos: avaliação dosimétrica e análise estatística

As variáveis dosimétricas escolhidas para comparação dos PTVs e órgãos em risco são mostrados na tabela 3:

**Tabela 3.** Variáveis analisadas para os PTVs e OARs

| Estrutura       | Variáveis analisadas               | Objetivo clínico (33), (34)        |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| PTV Mama 26Gy   | D0.03cc; D99%; D5%; D30%           | $D95\% \geq V95\%$                 |
| Pulmão Esquerdo | V780cGy; V1600 cGy                 | $V780cGy < 15\%$ (ideal)           |
|                 | V1200cGy                           | $V800cGy < 17\%$                   |
|                 | V150cGy; V350cGy;                  | $V1200 < 20\%$<br>$V350cGy < 55\%$ |
| Coração         | V150cGy; V350cGy;                  | $V150 < 30\%$                      |
|                 | V780cGy; V1200cGy; D0.03cc; Dmédia | $V700cGy < 5\%$                    |

|                    |  |                         |
|--------------------|--|-------------------------|
| Pulmão Direito     | V350cGy ; Dmédia; D0.03cc                            | $V350cGy < 10\%$        |
| Mama Contralateral | V150cGy; V350cGy; D0.03cc; Dmédia                    | Dmédia < 350cGy (ideal) |
|                    |  | Dmédia < 400cGy         |
| Artéria D.A. Esq.  | V150cGy; V350cGy; V780cGy; V1200cGy; D0.03cc; Dmédia | -                       |

Além das variáveis dosimétricas, a complexidade dos planos foi acessada através do número de unidades monitoras.

Toda a análise estatística deste trabalho foi realizada utilizando a linguagem de programação Python, especificamente com as bibliotecas SciPy e Scikit-learn e suas dependências (35). A análise comparou as diferenças dosimétricas entre planos originais e replanejados com RapidPlan.

Inicialmente, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade. Para dados com distribuição normal, utilizou-se o teste t de amostras pareadas, enquanto para dados sem distribuição normal, aplicou-se o teste de postos sinalizados de Wilcoxon. Um valor de  $p < 0,05$  foi considerado o limite para significância estatística.

O tamanho do efeito, que reflete a magnitude do impacto observado, é crucial para avaliar a relevância clínica dos resultados. Nesta análise, utilizou-se o d de Cohen para calcular a distância entre as médias das distribuições sobrepostas.

## 3. Resultados

### Distribuição de dose no Pulmão Ipsilateral (LLUNG)

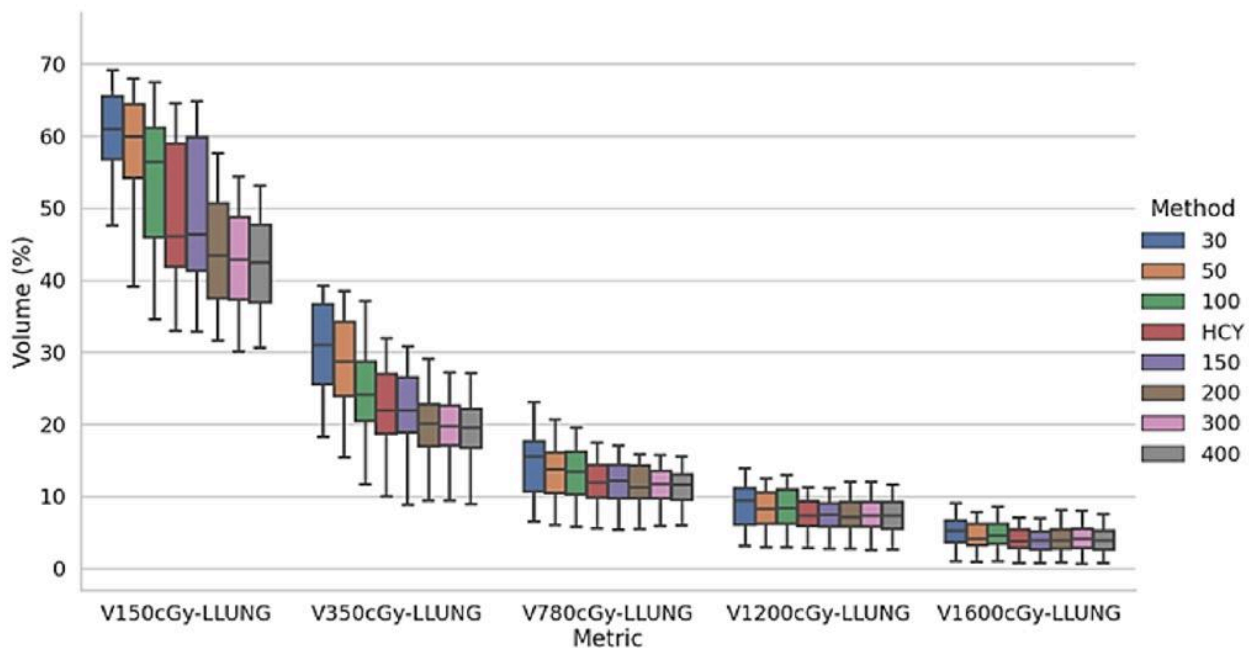
Na comparação entre os planos gerados por diferentes modelos, foi observada uma diferença significativa nas doses administradas ao pulmão ipsilateral.

A Tabela 4 e a Figura 1 apresentam os resultados da distribuição de dose no pulmão esquerdo na comparação de todos os planos analisados.

As colunas da tabela 4 estão organizadas em ordem decrescente dos valores médios dos parâmetros avaliados, refletindo o desempenho dos modelos, do pior para o melhor. Na mesma tabela, cada parâmetro avaliado (linha) teve suas médias comparadas par a par com os valores correspondentes da última coluna, referente ao modelo RP400, utilizando o teste de amostras pareadas. As cores destacam o nível de diferença observada: azul indica ausência de diferença significativa ( $p > 0,05$ ) ou efeito irrelevante (*effect size*  $< 0,2$ ), sugerindo desempenho semelhante ao RP400; verde indica diferença significativa com tamanho de efeito pequeno ( $0,2 \leq \text{effect size} < 0,5$ ); amarelo, efeito moderado ( $0,5 \leq \text{effect size} < 0,8$ ); e vermelho, efeito grande (*effect size*  $\geq 0,8$ ).

**Tabela 4.** Resultados de distribuição de dose no pulmão esquerdo na comparação de todos os planos.

| Resultados para Pulmão Esquerdo (LLUNG): |                   |                   |                    |                    |                    |                   |                    |                    |                    |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Teste                                    | Média e DP (30) % | Média e DP (50) % | Média e DP (100) % | Média e DP (150) % | Média e DP (HCY) % | Média e DP(APV) % | Média e DP (200) % | Média e DP (300) % | Média e DP (400) % |
| V150cGy-LLUNG t-test                     | 59,16 ± 4,25      | 57,98 ± 4,34      | 52,97 ± 4,75       | 49,08 ± 5,31       | 49,34 ± 5,11       | 48,82 ± 5,48      | 44,92 ± 4,82       | 43,29 ± 4,3        | 42,7 ± 4,25        |
| V350cGy-LLUNG t-test                     | 30,93 ± 3,47      | 28,7 ± 3,53       | 24,39 ± 3,07       | 21,81 ± 2,74       | 21,93 ± 2,98       | 20,9 ± 2,28       | 20,04 ± 2,38       | 19,15 ± 2,34       | 18,94 ± 2,36       |
| V780cGy-LLUNG t-test                     | 14,77 ± 2,45      | 13,46 ± 2,18      | 12,92 ± 2,91       | 11,66 ± 2,37       | 11,55 ± 2,55       | 11,53 ± 2,3       | 11,25 ± 2,27       | 11,14 ± 2,18       | 11,01 ± 2,21       |
| V1200cGy-LLUNG t-test                    | 8,88 ± 3,15       | 8,07 ± 2,92       | 8,26 ± 2,92        | 7,18 ± 2,45        | 7,16 ± 2,61        | 7,42 ± 2,59       | 7,15 ± 2,5         | 7,16 ± 2,5         | 7,01 ± 2,48        |
| V1600cGy-LLUNG t-test                    | 4,99 ± 2,25       | 4,47 ± 2,05       | 4,74 ± 2,12        | 3,9 ± 1,75         | 3,95 ± 1,84        | 4,2 ± 1,88        | 4,02 ± 1,85        | 4,06 ± 1,83        | 3,88 ± 1,77        |



**Figura 1.** Gráfico comparativo da estrutura pulmão esquerdo para planos otimizados com modelos com quantidades diferentes de planos no banco de dados de treinamento. Gráfico comparativo da estrutura pulmão esquerdo para planos otimizados com modelos RP30, RP50, RP100, RP150, RP200, RP300 e RP400, com quantidades de 30, 50, 100, 150, 200, 300, e 400 planos no banco de dados de treinamento, respectivamente.

Quando realizada a comparação entre os modelos HCY e RP150 (ambos modelos treinados com 150 planos), não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros avaliados para o pulmão ipsilateral esquerdo.

#### Distribuição de dose no Coração (HEART)

Observou-se um padrão semelhante nos valores das estruturas da área cardíaca, comparável ao observado no pulmão esquerdo, porém com efeitos de menor magnitude. Os resultados indicam que o aumento no número de pacientes no banco de dados do modelo melhora sua capacidade de estimar e otimizar doses mais baixas para os OARs da área cardíaca (coração e artéria descendente anterior). As diferenças mais significativas foram observadas nas métricas V150cGy, V350cGy e na dose média. A Tabela 5 e a Figura 2 apresentam os resultados da

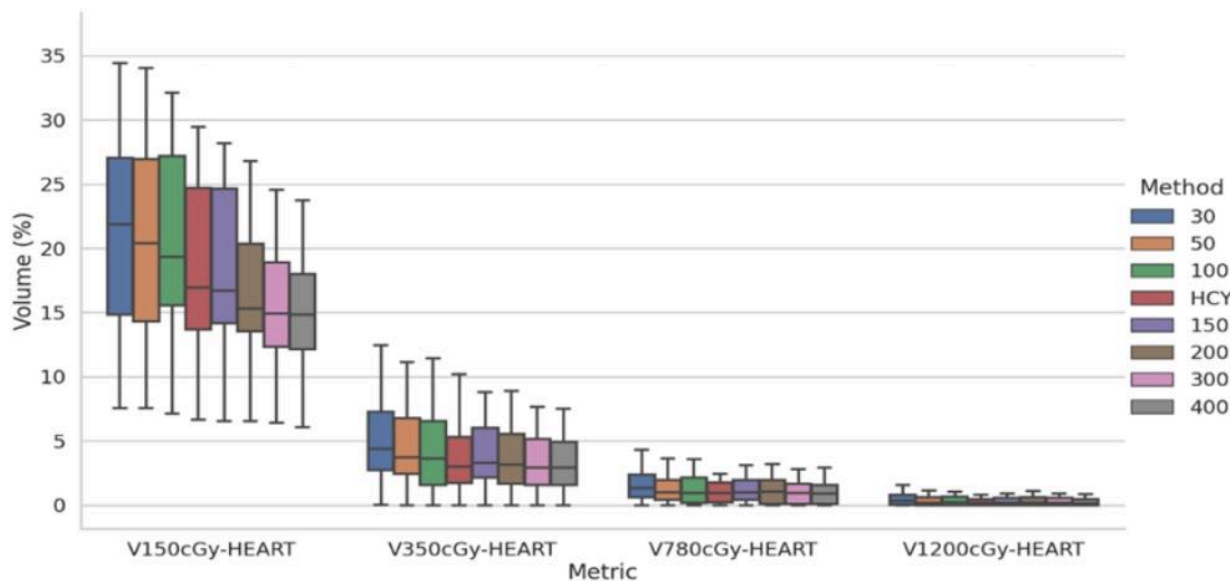
distribuição de dose no coração, comparando todos os planos analisados. Na tabela 5, cada parâmetro relacionado ao coração foi comparado com os valores da última coluna, correspondente ao modelo RP400, utilizando o teste de amostras pareadas. As cores indicam o grau de diferença observado: azul representa ausência de diferença estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ) ou efeito irrelevante ( $effect\ size < 0,2$ ), sugerindo desempenho semelhante ao RP400; verde indica diferenças significativas com tamanho de efeito pequeno ( $0,2 \leq effect\ size < 0,5$ ); amarelo, efeito moderado ( $0,5 \leq effect\ size < 0,8$ ); e vermelho, efeito grande ( $effect\ size \geq 0,8$ ).

A comparação entre os modelos HCY e RP150 revelou que, embora houvesse diferenças significativas nos parâmetros V780cGy e V1200cGy para o coração, o efeito foi considerado muito baixo, indicando uma melhora muito pequena no

desempenho do modelo específico para o acelerador Halcyon. Para as métricas V150cGy, V350cGy, D0.03cc e Dmédia, não houve diferença significativa entre os modelos.

**Tabela 5:** Resultados de distribuição de dose no coração na comparação de todos os planos.

| Teste                   | Resultados para Coração (HEART): |                   |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                         | Média e DP (30) %                | Média e DP (50) % | Média e DP (100) % | Média e DP (APV) % | Média e DP (150) % | Média e DP (HCY) % | Média e DP (200) % | Média e DP (300) % | Média e DP (400) % |
| V150cGy-HEART t-test    | 21,84 ± 4,63                     | 21,22 ± 4,6       | 20,71 ± 4,23       | 18,35 ± 8,4        | 18,6 ± 4,26        | 18,31 ± 4,26       | 16,79 ± 4,33       | 15,7 ± 3,68        | 15,3 ± 3,67        |
| V350cGy-HEART t-test    | 5,14 ± 2,4                       | 4,6 ± 2,24        | 4,47 ± 2,34        | 3,67 ± 2,78        | 3,92 ± 1,67        | 3,66 ± 1,67        | 3,6 ± 1,66         | 3,25 ± 1,26        | 3,2 ± 1,31         |
| V780cGy-HEART wilcoxon  | 1,47 ± 1,21                      | 1,22 ± 1,06       | 1,26 ± 1,16        | 1,22 ± 1,14        | 1,15 ± 0,92        | 1,02 ± 0,83        | 1,13 ± 1,01        | 1,03 ± 0,91        | 0,97 ± 0,89        |
| V1200cGy-HEART wilcoxon | 0,45 ± 0,45                      | 0,33 ± 0,35       | 0,35 ± 0,38        | 0,37 ± 0,46        | 0,31 ± 0,32        | 0,27 ± 0,27        | 0,33 ± 0,37        | 0,29 ± 0,32        | 0,25 ± 0,3         |
| D0.03cc - HEART t-test  | 1513 ± 509                       | 1427 ± 523        | 1423 ± 520         | 1380 ± 564         | 1402 ± 523         | 1389 ± 521         | 1386 ± 551         | 1364 ± 534         | 1332 ± 532         |
| Dmean - HEART t-test    | 127,3 ± 31,7                     | 122,36 ± 30,2     | 122,2 ± 29,4       | 117,2 ± 29,9       | 116,6 ± 25,2       | 114,6 ± 24,6       | 112,9 ± 24,4       | 109,6 ± 22,4       | 108,0 ± 22,7       |



**Figura 2.** Gráfico comparativo da estrutura coração para planos otimizados com modelos RP30, RP50, RP100, RP150, RP200, RP300 e RP400, com quantidades de 30, 50, 100, 150, 200, 300, e 400 planos no banco de dados de treinamento, respectivamente.

Em relação à distribuição de dose no coração, a comparação entre os modelos HCY e RP150 revelou que, embora houvesse diferenças significativas nos parâmetros V780cGy e V1200cGy, o efeito foi considerado baixo, indicando uma melhora muito pequena no desempenho do modelo específico para o acelerador Halcyon. Para as métricas V150cGy, V350cGy, D0.03cc e Dmédia, não houve diferença significativa entre os modelos.

#### Distribuição de dose no Pulmão Contralateral (Pulmão Direito)

Em todos os planos otimizados, o limite de dose V350cGy < 10% foi estritamente respeitado, com a maioria dos casos registrando V350cGy = 0%. No que diz respeito à dose média no pulmão direito, não

foram observadas diferenças estatisticamente significativas.

#### Distribuição de dose na Mama Contralateral

Os resultados dos parâmetros avaliados indicam que as doses para a mama contralateral foram bastante semelhantes entre si (diferença significativa  $p < 0,05$ , com um tamanho de efeito pequeno  $< 0,2$ ) ou não apresentaram diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ).

#### Distribuição de dose no Volume Alvo PTV e MU dos planos

Não foram observadas diferenças significativas nas quantidades de Unidades Monitoras entre os planos, nem nas métricas de cobertura de dose e dose máxima no alvo. Esses resultados indicam que todos os planos normalizados apresentam doses máximas

similares e quantidades de MUs muito próximas, sugerindo que teriam complexidade e tempo de entrega de dose similares.

#### 4. Discussão

##### 4.1. Comparação de especificidade dos modelos

Os resultados indicam que não há vantagem significativa em desenvolver um modelo específico para o acelerador Halcyon, visto que os modelos HCY e RP150, ambos treinados com o mesmo número de planos, apresentaram desempenhos similares, ou seja, todos os planos analisados apresentaram resultados semelhantes. Apesar das diferenças físicas entre os equipamentos, que poderiam influenciar a distribuição de doses nos planos de tratamento e, conseqüentemente, o desempenho dos modelos RapidPlan, especialmente as variações nos colimadores e MLC, não houve diferença significativa de desempenho entre o Modelo Específico HCY e o Modelo Geral RP150.

Esses achados sugerem que é mais vantajoso concentrar esforços na criação de modelos com um maior número de planos bem otimizados, em vez de limitar a inclusão de planos apenas otimizados para o acelerador Halcyon.

Adicionalmente, esses resultados oferecem uma motivação clínica relevante para o uso do RapidPlan em instituições que já possuem modelos de tratamento de mama desenvolvidos para outros aceleradores, como Trilogy e VitalBeam, mas que estão iniciando tratamentos com uma nova máquina Halcyon. Esse aspecto também é crucial para redes de unidades de radioterapia que compartilham o mesmo sistema de planejamento, permitindo a utilização de modelos comuns, independentemente do acelerador linear empregado.

##### 4.2. Comparação de vários modelos: diferenciados pelo número de pacientes inseridos no banco de dados para treinamento da inteligência artificial

Com base em todos os resultados apresentados, observa-se que à medida que aumenta o número de planos no banco de dados de treinamento, o modelo RapidPlan consegue estimar com maior precisão as curvas de dose-volume (DVH), resultando em planos mais otimizados e, conseqüentemente, doses mais baixas para cada órgão em risco.

Na comparação, o modelo MAMA RP400 demonstrou o melhor desempenho. No entanto, as diferenças nos limites de dose entre o modelo RP400 e os modelos RP300 e RP200 não foram significativas em termos de tamanho de efeito. Em outras palavras, o esforço para adicionar mais 100 planos (de RP200 para RP300) ou mais 200 planos (de RP200 para RP400) pode não ser muito vantajoso, uma vez que a melhoria no desempenho do modelo não será tão expressiva.

Observou-se que um modelo contendo 150 planos altamente otimizados para o tratamento de mama esquerda (denominado RP150) produziu ótimos resultados, apresentando resultados similares aos planos criados por planejadores experientes, aprovados e tratados na instituição (APV).

Modelos com adição de 30 a 100 planos ao banco de dados podem não alcançar o melhor desempenho, mas ainda assim geram planos aceitáveis, visto que os modelos RP30, RP50 e RP100 foram capazes de gerar planos que respeitam os limites de dose estabelecidos na literatura (33,34). Nesses casos, é aconselhável que um planejador experiente utilize os modelos KBP e faça ajustes adicionais durante a otimização para garantir o melhor plano de tratamento adaptado às características anatômicas específicas de cada paciente.

Em resumo, com base nos resultados apresentados, o modelo MAMA RP400 foi aprovado e implementado para uso na prática clínica. Este estudo não apenas confirma sua eficácia, mas também garante que todas as unidades do Brasil do grupo Oncoclínicas possam utilizar este modelo para planejamento VMAT de mama, independentemente do acelerador linear utilizado.

#### 5. Conclusões

Os resultados demonstram que os modelos RapidPlan, como o RP400 que contém 400 pacientes aprovados no banco de dados, são eficazes na geração de planos de tratamento que respeitam os limites de dose para órgãos em risco, mesmo sem interferência humana. A aplicação desses modelos não apenas reduz a variabilidade nos planos de tratamento, mas também aumenta a eficiência do planejamento, mantendo ou aprimorando a qualidade e a segurança dos tratamentos. A implementação do modelo RP400 nas unidades do Grupo Oncoclínicas no Brasil exemplifica como a tecnologia pode ser adotada para melhorar a qualidade, segurança e eficiência dos tratamentos de radioterapia. Além de aprimorar a qualidade, o RapidPlan desempenha um papel crucial na automação e eficiência do planejamento de tratamento.

Um aspecto relevante observado foi a influência do número de casos no banco de dados de treinamento dos modelos RapidPlan. A quantidade ideal de planos pode variar conforme o volume de pacientes atendidos na instituição de origem, o que pode ser um desafio na criação de um modelo com muitos casos previamente aprovados. Nesse contexto, é sugerido o desenvolvimento de um modelo contendo 150 planos altamente otimizados para tratamento de mama esquerda, com base nos excelentes resultados alcançados pelo modelo RP150. Além disso, observou-se que acima de 200 planos, há uma diferença no desempenho dos modelos, porém essa diferença não se mostra significativa em termos de doses para órgãos em risco. Isso indica que adicionar mais de 200 planos pode não proporcionar uma melhoria substancial na qualidade dos planos de tratamento.

Além disso, os resultados indicam que modelos específicos para diferentes aceleradores lineares, como o Halcyon, não apresentaram vantagens significativas sobre modelos gerais que abrangem múltiplos aceleradores, como o Trilogy e o VitalBeam. Esse resultado é relevante para instituições que

planejam implementar o RapidPlan em novos equipamentos, sugerindo que a criação de modelos abrangentes pode ser mais eficiente do que desenvolver modelos específicos para cada máquina

## Referências

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209–49. doi: 10.3322/caac.21660.
- Gibbons JP. *Khan's the physics of radiation therapy.* 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2019.
- Osman SOS, Hol S, Poortmans PM, Essers M. Volumetric modulated arc therapy and breath-hold in image-guided locoregional left-sided breast irradiation. *Radiation Oncol.* 2014;112(1):17–22. doi: 10.1016/j.radonc.2014.04.004.
- Zhang Q, Yu XL, Hu WG, Chen JY, Wang JZ, Ye JS, et al. Dosimetric comparison for volumetric modulated arc therapy and intensity-modulated radiotherapy on the left-sided chest wall and internal mammary nodes irradiation in treating post-mastectomy breast cancer. *Radiation Oncol.* 2015;49(1):91–98. doi: 10.2478/raon-2014-0033.
- Liu ZM, Ge XL, Chen JY, Wang PP, Zhang C, Yang X, et al. Adjuvant radiotherapy after breast conserving treatment for breast cancer: a dosimetric comparison between volumetric modulated arc therapy and intensity modulated radiotherapy. *Asian Pac J Cancer Prev.* 2015;16(8):3257–65. doi: 10.7314/APJCP.2015.16.8.3257.
- Popescu CC, Olivetto IA, Beckham WA, Ansbacher W, Zavgorodni S, Shaffer R, et al. Volumetric modulated arc therapy improves dosimetry and reduces treatment time compared to conventional intensity-modulated radiotherapy for locoregional radiotherapy of left-sided breast cancer and internal mammary nodes. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2010;76(1):287–95. doi: 10.1016/j.ijrobp.2009.05.038.
- Fogliata A, Cozzi L, Reggiori G, Stravato A, Lobefalo F, Franzese C, et al. RapidPlan knowledge based planning: iterative learning process and model ability to steer planning strategies. *Radiation Oncol.* 2019;14(1):187. doi: 10.1186/s13014-019-1403-0.
- Castriconi R, Esposito PG, Tudra A, Mangili P, Broggi S, Fodor A, et al. Replacing manual planning of whole breast irradiation with knowledge-based automatic optimization by virtual tangential-fields arc therapy. *Front Oncol.* 2021;11:712423. doi: 10.3389/fonc.2021.712423.
- Frederick A, Roumeliotis M, Grendarova P, Quirk S. Performance of a knowledge-based planning model for optimizing intensity-modulated radiotherapy plans for partial breast irradiation. *J Appl Clin Med Phys.* 2022;23(3):e13506. doi: 10.1002/acm2.13506.
- Wang J, Hu W, Yang Z, Chen X, Wu Z, Yu X, et al. Is it possible for knowledge-based planning to improve intensity modulated radiation therapy plan quality for planners with different planning experiences in left-sided breast cancer patients? *Radiation Oncology.* 2017;12(1). doi: 10.1186/s13014-017-0822-z.
- Apaza Blanco O, Almada M, Garcia Andino A, Zunino S, Venencia D. Knowledge-based volumetric modulated arc therapy treatment planning for breast cancer. *J Med Phys.* 2021;46(4):334–340. doi: 10.4103/jmp.JMP\_51\_21.
- Fu Y, Zhang H, Morris ED, Glide-Hurst CK, Pai S, Traverso A, et al. Artificial intelligence in radiation therapy. *IEEE Trans Radiat Plasma Med Sci.* 2022;6(2):158–81. doi: 10.1109/TRPMS.2021.3107454.
- Fogliata A, Reggiori G, Stravato A, Lobefalo F, Franzese C, Franceschini D, et al. RapidPlan head and neck model: The objectives and possible clinical benefit. *Radiation Oncol.* 2017;12(1):1–12. doi: 10.1186/s13014-017-0808-x.
- Fogliata A, Nicolini G, Bourcier C, Clivio A, De Rose F, Fenoglio P, et al. Performance of a knowledge-based model for optimization of volumetric modulated arc therapy plans for single and bilateral breast irradiation. *PLoS One.* 2015;10(12):e0145137. doi: 10.1371/journal.pone.0145137.
- Fogliata A, Wang PM, Belosi F, Clivio A, Nicolini G, Vanetti E, et al. Assessment of a model based optimization engine for volumetric modulated arc therapy for patients with advanced hepatocellular cancer. *Radiation Oncol.* 2014;9:236. doi: 10.1186/s13014-014-0236-0.
- Hussein M, South CP, Barry MA, Adams EJ, Jordan TJ, Stewart AJ, et al. Clinical validation and benchmarking of knowledge-based IMRT and VMAT treatment planning in pelvic anatomy. *Radiation Oncol.* 2016;120(3):469–76. doi: 10.1016/j.radonc.2016.06.022.
- Schubert C, Waletzko O, Weiss C, Voelzke D, Toperim S, Roeser A, et al. Intercenter validation of a knowledge-based model for automated planning of volumetric modulated arc therapy for prostate cancer: the experience of the German RapidPlan Consortium. *PLoS One.* 2017;12(5):e0178034. doi: 10.1371/journal.pone.0178034.
- Fogliata A, Nicolini G, Clivio A, Vanetti E, Laksar S, Tozzi A, et al. A broad scope knowledge-based model for optimization of VMAT in esophageal cancer: validation and assessment of plan quality among different treatment centers. *Radiation Oncol.* 2015;10(1):53. doi: 10.1186/s13014-015-0530-5.
- Tol JP, Delaney AR, Dahele M, Slotman BJ, Verbakel WFAR. Evaluation of a knowledge-based planning solution for head and neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2015;91(3):735–42. doi: 10.1016/j.ijrobp.2014.11.014.
- Snyder KC, Kim J, Reding A, Fraser C, Gordon J, Ajlouni M, et al. Development and evaluation of a clinical model for lung cancer patients using stereotactic body radiotherapy (SBRT) within a knowledge-based algorithm for treatment planning. *J Appl Clin Med Phys.* 2016;17(6):85–92. doi: 10.1120/jacmp.v17i6.6429.
- Foy JJ, Marsh R, Ten Haken RK, Younge KC, Schipper M, Sun Y, et al. An analysis of knowledge-based planning for stereotactic body radiation therapy of the spine. *Pract Radiation Oncol.* 2017;7(5). doi: 10.1016/j.prro.2017.02.007.
- Claridge Mackonis E, Sykes J, Hardcastle N, Espinoza A, Brown A, Perez G, et al. A comparison of in-house and shared RapidPlan models for prostate radiation therapy planning. *Phys Eng Sci Med.* 2022;45(4):1029–36. doi: 10.1007/S13246-022-01151-1.
- Wu H, Jiang F, Yue H, Zhang H, Wang K, Zhang Y. Applying a RapidPlan model trained on a technique and orientation to another: A feasibility and dosimetric evaluation. *Radiation Oncol.* 2016;11(1):1–7. doi: 10.1186/s13014-016-0684-9.
- Tol JP, Dahele M, Delaney AR, Slotman BJ, Verbakel WFAR. Can knowledge-based DVH predictions be used for automated, individualized quality assurance of radiotherapy treatment plans? *Radiation Oncol.* 2015;10(1):1–7. doi: 10.1186/s13014-015-0542-1.
- Li N, Carmona R, Sirak I, Kasaova L, Followill D, Michalski J, et al. Highly efficient training, refinement, and validation of a knowledge-based planning quality-control system for radiation therapy clinical trials. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2017;97(1):140–6. doi: 10.1016/j.ijrobp.2016.10.005.
- Moore KL, Schmidt R, Moiseenko V, Olsen LA, Tan J, Xiao Y, et al. Quantifying unnecessary normal tissue complication risks due to suboptimal planning: A secondary study of RTOG 0126. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2015;92(2):271–7. doi: 10.1016/j.ijrobp.2015.01.046.
- Moore KL, Brame RS, Low DA, Mutic S. Experience-based quality control of clinical intensity-modulated radiotherapy planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2011;81(2):623–32. doi: 10.1016/j.ijrobp.2010.11.030.
- Castelo JHM. *Automação do planejamento da técnica VMAT em radioterapia do câncer de mama [dissertação].* Rio de Janeiro: Instituto de Radioproteção e Dosimetria; 2023.

29. Fogliata A, Parabolicoli S, Paganini L, Reggiori G, Lobefalo F, Cozzi L, et al. Knowledge-based DVH estimation and optimization for breast VMAT plans with and without avoidance sectors. *Radiat Oncol.* 2022;17(1):80. doi: 10.1186/s13014-022-02172-6.
30. Supakalin N, Pesee M, Thamronganantasakul K, Promsensa K, Supaadirek C, Krusun S. Comparison of different radiotherapy planning techniques for breast cancer after breast conserving surgery. *Asian Pac J Cancer Prev.* 2018;19(10):2929–33. doi: 10.22034/APJCP.2018.19.10.2929.
31. Virén T, Heikkilä J, Myllyoja K, Koskela K, Lahtinen T, Seppälä J. Tangential volumetric modulated arc therapy technique for left-sided breast cancer radiotherapy. *Radiation Oncol.* 2015;10(1):1–8. doi: 10.1186/s13014-015-0392-x.
32. Kuo L, Ballangrud AM, Ho AY, Mechalakos JG, Li G, Hong L. A VMAT planning technique for locally advanced breast cancer patients with expander or implant reconstructions requiring comprehensive postmastectomy radiation therapy. *Med Dosim.* 2019;44(2):150–4. doi: 10.1016/j.meddos.2018.04.006.
33. Murray Brunt A, Haviland JS, Wheatley DA, Sydenham MA, Alhasso A, Bloomfield DJ, et al. Hypofractionated breast radiotherapy for 1 week versus 3 weeks (FAST-Forward): 5-year efficacy and late normal tissue effects results from a multicentre, non-inferiority, randomised, phase 3 trial. *Lancet.* 2020 May 23;395(10237):1613–26. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30932-6.
34. Malik A. Fast and forward thinking: Hypofractionated breast irradiation. *Cancer Res Stat Treat.* 2022;5(4):759–760. doi: 10.4103/crst.crst\_320\_22.
35. Pedregosa F, Varoquaux G, Gramfort A, Michel V, Thirion B, Blondel M, et al. Scikit-learn: Machine learning in Python. *J Mach Learn Res.* 2011;12:2825–30. Available from: <http://scikit-learn.sourceforge.net>.

#### **Contato:**

Danilo Copetti Temistocles Menezes

Email: [danilo\\_ctm@hotmail.com](mailto:danilo_ctm@hotmail.com);

[danilo.menezes@oncoclinicas.com](mailto:danilo.menezes@oncoclinicas.com)

Radioterapia Botafogo – Grupo Oncoclínicas,  
Departamento de Física Médica, Rio de Janeiro, RJ,  
Brasil; R. Mal. Niemeyer, 16 - Botafogo, Rio de  
Janeiro - RJ, 22251-060

Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão  
Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, RJ,  
Brasil; Av. Salvador Allende, 3773 - Barra da Tijuca,  
Rio de Janeiro - RJ, 22780-160

## Nanopartículas cintilantes de $\text{LiCaAlF}_6\text{:Eu}$ para aplicações em terapia fotodinâmica ativada por raios X (X-PDT)

Arcos N.<sup>1</sup>, Guidelli E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Usp, <sup>2</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** : A terapia fotodinâmica ativada por raios X (X-PDT) é uma abordagem promissora no tratamento de cânceres, unindo a seletividade celular da PDT à alta penetração dos raios X da radioterapia. Nesse contexto, nanopartículas cintilantes (NPs) têm papel essencial ao emitir luz na faixa de absorção de fotossensibilizadores (PS) quando excitadas por radiação ionizante. As nanopartículas de  $\text{LiCaAlF}_6\text{:Eu}$  destacam-se por sua intensa cintilação na região UV, sendo compatíveis com a ativação de compostos como a nitrofurantoína (NFT), um PS que libera óxido nítrico (NO) após fotoativação. A conjugação de NPs com NFT se apresenta como uma estratégia eficaz para X-PDT, promovendo a liberação controlada de NO com efeitos citotóxicos seletivos sobre células tumorais.

**Materiais e métodos:** As nanopartículas foram sintetizadas via método hidrotérmico, utilizando precursores como  $\text{LiCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{EuCl}_3$  e  $\text{FNH}_4$  em proporções estequiométricas. Avaliou-se o impacto de diferentes concentrações de PVP (0%, 50%, 100% e 200%), tempos de reação (1h a 6h) e temperaturas (190°C a 240°C) nas propriedades cintilantes e tamanho das NPs. A caracterização envolveu difração de raios X (XRD), microscopia eletrônica de transmissão (TEM), espectroscopia de radioluminescência (RL) e ressonância de spin eletrônico (ESR). Os conjugados  $\text{LiCaAlF}_6\text{:Eu@NFT}$  foram obtidos via método layer-by-layer com diferentes números de camadas ou deposições de NFT.

**Resultados e discussões:** A condição ótima (100% PVP, 4h, 190 °C) gerou NPs de ~120 nm com alta cintilação. Houve sobreposição entre os espectros de RL das NPs e de absorção da NFT. A formação dos conjugados foi confirmada por aumento na absorbância e redução da intensidade de RL. Medidas de ESR mostraram que 4 camadas de NFT resultam em maior liberação de NO após irradiação, indicando potencial em X-PDT.

**Conclusões:** A síntese controlada das NPs de  $\text{LiCaAlF}_6\text{:Eu}$  permitiu otimizar suas propriedades para aplicações em X-PDT. A conjugação com NFT resultou em sistemas funcionais para liberação de NO sob irradiação, sendo os conjugados com 4 camadas os mais eficazes. Esses resultados indicam o potencial dessas nanopartículas como plataformas terapêuticas em tratamentos oncológicos ativados por radiação ionizante.

### Referências:

[1] L. P. Ferreira, G. G. Parra, D. C. K. Codognato, A. M. Amado, and R. S. Da Silva, 'Light induced cytotoxicity of nitrofurantoin toward murine melanoma', *Photochemical & Photobiological Sciences*, vol. 16, no. 7, pp. 1071–1078, Jul. 2017, doi: 10.1039/C6PP00306K.

## IMPLEMENTAÇÃO DE PROTOCOLO DOSIMÉTRICO PARA TBI UTILIZANDO O SISTEMA IVD 2 DA SUN NUCLEAR

Da Silva H.<sup>1</sup>, De Araújo F.<sup>1</sup>, Da Silva J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hyalen Gomes Da Silva, <sup>2</sup> If/Ufg

**Resumo:** Este projeto visa implementar e avaliar um protocolo dosimétrico para Irradiação Corporal Total (TBI), com o uso de dosímetros de diodo e TLDs, buscando maior precisão e segurança na entrega de doses durante tratamentos radioterápicos, especialmente em preparações para transplantes de medula óssea. O objetivo é garantir uma distribuição homogênea da dose, minimizando falhas que possam causar efeitos adversos. O protocolo, em andamento no setor de radioterapia do Hospital de Câncer Araújo Jorge, utiliza o sistema de dosimetria IVD 2 da Sun Nuclear e TLDs. A comparação entre as doses planejadas e medidas, com base em protocolo padronizado, busca maior confiabilidade na administração da dose, conforme diretrizes TRS 398 e TG 62.

**Materiais e métodos:** A metodologia está baseada na implementação de um protocolo dosimétrico para TBI com dosímetros de diodo do Sistema IVD 2 da Sun Nuclear e TLDs, conforme TRS 398 e TG 62. Os diodos foram calibrados utilizando câmara de ionização de referência e placas de água sólida, com correções aplicadas para temperatura, pressão e fatores de correção. As medições foram realizadas em diferentes profundidades (1 cm e 2 cm), campos (10×10 cm<sup>2</sup> e 40×40 cm<sup>2</sup>) e distâncias (SSD 100 cm e 330 cm), simulando condições clínicas reais. Fatores como TMR, CEC, Foffaxis e correções pulmonares foram incorporados ao cálculo da dose. A análise estatística incluiu desvio percentual, Shapiro-Wilk e correlação de Pearson.

**Resultados e discussões:** As doses medidas com diodos e TLDs apresentaram variações inferiores a ±5% em relação ao TPS. A calibração demonstrou boa precisão dos detectores, com desvios ≤1,65%, o que validou a precisão do detector como um bom material para utilização em dosimetria in vivo, e os testes em fantasmas demonstraram reprodutibilidade confiável. O protocolo desenvolvido mostrou-se eficaz, contribuindo para maior segurança nos tratamentos de TBI.

**Conclusões:** A implementação do protocolo dosimétrico para TBI demonstrou ser eficaz, garantindo maior precisão na entrega da dose e segurança ao paciente. A utilização de diodos e TLDs foi validada, e o controle de qualidade proposto contribuiu para a padronização e melhoria dos procedimentos clínicos na radioterapia.

### Referências:

- [1] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE (AAPM). TG-62: Comprehensive Quality Assurance for Radiation Oncology. 2019. Disponível em: <https://aapm.org>. Acesso em: 12 mai. 2025.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). TRS 398: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. 2017. Disponível em: <https://www.iaea.org>. Acesso em: 12 mai. 2025.
- [3] IZEWSKA, J. et al. In Vivo Dosimetry as a Tool for Patient Safety. Radiation Oncology, 2012.
- [4] LALLI, H. et al. Comparação entre dosímetros termoluminescentes e diodos semicondutores aplicada para dosimetria in vivo de tratamentos TBI. Revista Brasileira de Física Médica, v. 17, p. 707, 2023. DOI: 10.29384/rbfm.2023.v17.19849001707. Disponível em: <https://rbfm.org.br/rbfm/article/view/707>. Acesso em: 12 mai. 2025.

## RAPHYDUS-AI: Modelos Preditivos de Toxicidade em Radioterapia de Próstata Hipofracionada — Um Estudo no Sistema Público de Saúde Brasileiro

Lopes E.<sup>1</sup>, Neto E.<sup>2</sup>, Fernandes A.<sup>3</sup>, Ferreira I.<sup>4</sup>, Marconi D.<sup>5</sup>, Da Silva D.<sup>6</sup>, Jacinto A.<sup>5</sup>, Pavoni J.<sup>7</sup>  
<sup>1</sup> Pesquisa, <sup>2</sup> Hospital De Amor De Barretos - Sp, <sup>3</sup> Ana Clara Sampaio Fernandes, <sup>4</sup> Isadora Ferreira, <sup>5</sup> Hospital De Amor, <sup>6</sup> Fundação Pio Xii - Hospital De Amor, <sup>7</sup> Juliana Fernandes Pavoni

**Resumo:** A radioterapia hipofracionada tem se mostrado viável no tratamento do câncer de próstata, com baixa toxicidade aguda gastrointestinal (GI) e geniturinária (GU), através dos critérios de toxicidade do RTOG, também utilizados no estudo RAPHYDUS. Modelos preditivos baseados em informações multiômicas, incluindo informações quantitativas extraídas de imagens médicas (radiômica) e de distribuições de dose (dosiômica) demonstram uma performance altamente promissora na identificação precoce de pacientes com maior risco de toxicidade. Este projeto integra dados clínicos, e multiômicos em algoritmos de inteligência artificial para aprimorar a predição de efeitos adversos e auxiliar na personalização do tratamento.

**Materiais e métodos:** Foram extraídas 214 características multiômicas de 4 ROIs (PTV, CTV, bexiga e reto) de 61 pacientes do estudo RAPHYDUS, tratados no Hospital de Amor, totalizando 1498 características por paciente. Modelos foram construídos para a predição de toxicidades tardia com os algoritmos Random Forest (RF) e XGBoost (XGB), que são amplamente utilizados pela eficácia e não ocorrência de overfitting. A capacidade preditiva dos modelos foi avaliada através das métricas da biblioteca SKlearn, sendo a acurácia, área sob a curva ROC (AUC) e, para validar os modelos internamente com com o mesmo conjunto de dados, acurácia da validação cruzada (CROSS). Modelos foram implementados no Python 3.7.

**Resultados e discussões:** Para a predição de GU tardia, os modelos que melhor desempenharam foram: XGB com acurácia de 92% (AUC de 100%; CROSS de 65,4±9,2) e RF com acurácia de 92% (AUC de 94%; CROSS de 79,2±8,7%). Para a predição de GI tardia, o modelo que melhor desempenhou foi: XGB com acurácia de 69% (AUC de 64%; CROSS de 72,5%±9,6).

**Conclusões:** Modelos preditivos multiômicos demonstraram grande potencial na predição de toxicidades tardias em pacientes tratados com radioterapia prostática hipofracionada. Os modelos XGB e RF destacaram-se na predição de toxicidade GU e GI com alta acurácia evidenciando a eficácia das técnicas de inteligência artificial na identificação precoce de pacientes com alto risco de toxicidade.

**Agradecimento:** Departamento de Física, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, Brazil; Departamento de radioterapia, DF Star Hospital, Brasília, Brazil; Departamento de radioterapia, Hospital de Amor, São Paulo, Brazil; Centro de pesquisa de oncologia molecular, Hosp

### Referências:

- [1] ZHOU, Lu; WEN, Yuefeng; ZHANG, Guoqian; WANG, Linjing; WU, Shuyu; ZHANG, Shuxu. Machine learning-based multiomics prediction model for radiation pneumonitis. *Journal of Oncology*, v. 2023, p. 5328927, 18 fev. 2023. DOI: 10.1155/2023/5328927 .
- [2] ROSSI, Linda; BIJMAN, Rik; SCHILLEMANS, Wilco; ALUWINI, Shafak; CAVEDON, Carlo; WITTE, Marnix; et al. Texture analysis of 3D dose distributions for predictive modelling of toxicity rates in radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology*, v. 129, n. 3, p. 54
- [3] FAUSTINO, Fábio de Lima Costa; ALTEI, Wanessa Fernanda; CANTON, Heloisa Pelisser; MORATO, Leonardo; JORGE DE PAULA, Livia Loami Ruys; SALVADOR, Gabriela Bernal;

FONSECA, Diego de Souza Lima; GONÇALVES, Thais Kapp; KUPELIAN, Patrick A.; ZAPAROLLI, Jos

[4] COX, J. D.; STETZ, J.; PAJAK, T. F. Toxicity criteria of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC). International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, v. 31, n.

## Proposta de Novos Limites de Dose para Subestruturas Cardíacas Avaliadas em Radioterapia de Câncer de Mama

Borges M.<sup>1</sup>, Gruenwaldt J.<sup>2</sup>, Barsanelli D.<sup>2</sup>, Ishikawa K.<sup>3</sup>, Stuart S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Unicamp, <sup>2</sup> Universidade Estadual De Campinas, <sup>3</sup> Centro De Oncologia Campinas, <sup>4</sup> Instituto Brasileiro De Controle Do Câncer

**Resumo:** A radioterapia é essencial no tratamento do câncer de mama, mas pode expor estruturas cardíacas à radiação, aumentando o risco de efeitos colaterais. O protocolo RTOG 1005 destaca a importância de minimizar essa exposição. A segmentação manual das estruturas cardíacas é trabalhosa e sujeita a variações, enquanto ferramentas de auto-segmentação oferecem maior precisão e agilidade. Este estudo avalia a dose em subestruturas cardíacas auto-segmentadas e propõe novos limites de dose, com base em modelos quantitativos, visando maior segurança e eficácia no planejamento radioterápico.

**Materiais e métodos:** Foram analisados dados de 39 pacientes com câncer de mama esquerda, tratados com os sistemas de planejamento XiO e Monaco. As estruturas cardíacas foram auto-segmentadas utilizando as ferramentas TotalSegmentator e Limbus AI. Os planos foram reescalados para prescrever 15×267 cGy à mama esquerda. Os histogramas de dose-volume (DVH) foram extraídos e analisados no software R, com o pacote “DVHmetrics”.

**Resultados e discussões:** As distribuições de dose relativas e absolutas foram avaliadas para LAD, aorta, mama esquerda, pulmão esquerdo, coração, área cardíaca, átrios e ventrículos. Observou-se maior dose média em LAD, coração e ventrículo esquerdo. Modelos de regressão log-linear foram aplicados para estimar parâmetros de restrição de dose, revelando forte correlação entre o volume absoluto da área cardíaca irradiada e o volume absoluto das subestruturas. Esses achados reforçam a viabilidade de estabelecer limites de dose específicos para subestruturas cardíacas com base em dados objetivos.

| Condição para o RTOG 1005 | Dose média $\bar{s}$ |                    |             | 5%<br>recebe mais do que |             |               |             | $\leq 30\%$<br>recebe mais do que |                 | $\leq 35\%$<br>recebe mais do que |  |
|---------------------------|----------------------|--------------------|-------------|--------------------------|-------------|---------------|-------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--|
|                           | 400 cGy              | 500 cGy            | $R^2_{adj}$ | 2000 cGy                 | $R^2_{adj}$ | 2500 cGy      | $R^2_{adj}$ | 1000 cGy                          | 1000 cGy        | $R^2_{adj}$                       |  |
| LAD                       | 2806,1 ± 687,5 cGy   | 3169,8 ± 776,6 cGy | 0,51 *      | 63,0 ± 17,0 %            | 0,46        | 59,5 ± 16,4 % | 0,45        | ≤ 95,5 ± 30,1 %                   | ≤ 98,2 ± 30,9 % | 0,37                              |  |
| Coração                   | 817,8 ± 85,9 cGy     | 927,6 ± 97,4 cGy   | 0,79 *      | 13,2 ± 1,4 %             | 0,79 *      | 11,1 ± 1,7 %  | 0,69 *      | ≤ 29,6 ± 2,4 %                    | ≤ 30,8 ± 2,5 %  | 0,84 *                            |  |
| Ventrículo esquerdo       | 509,3 ± 48,4 cGy     | 579,0 ± 55,0 cGy   | 0,81 *      | 5,0 ± 1,0 %              | 0,60 *      | 3,4 ± 0,9 %   | 0,45        | ≤ 17,1 ± 2,0 %                    | ≤ 17,9 ± 2,1 %  | 0,76 *                            |  |
| Ventrículo direito        | 331,4 ± 61,3 cGy     | 372,5 ± 68,9 cGy   | 0,63 *      | 1,5 ± 0,5 %              | 0,29        | 0,9 ± 0,4 %   | 0,18        | ≤ 7,4 ± 1,9 %                     | ≤ 7,8 ± 2,0 %   | 0,49                              |  |

**Conclusões:** Ferramentas automáticas viabilizam a inclusão de subestruturas cardíacas na avaliação de dose em radioterapia. Propomos novos limites baseados em valores absolutos, visando maior precisão e segurança. Estudos futuros devem ampliar a amostra e correlacionar os dados com desfechos clínicos.

### Referências:

- [1] Castaneda SA, Strasser J. Updates in the Treatment of Breast Cancer with Radiotherapy. *Surg Oncol Clin* 2017;26:371–82. <https://doi.org/10.1016/j.soc.2017.01.013>.
- [2] Meattini I, Becherini C, Boersma L, Kaidar-Person O, Marta GN, Montero A, et al. European Society for Radiotherapy and Oncology Advisory Committee in Radiation Oncology Practice consensus recommendations on patient selection and dose and fractionation for external beam radiotherapy in early breast cancer. *Lancet Oncol* 2022;23:e21–31. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(21\)00539-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(21)00539-8).
- [3] Wahid KA, Lin D, Sahin O, Cislo M, Nelms BE, He R, et al. Large scale crowdsourced radiotherapy segmentations across a variety of cancer anatomic sites. *Sci Data* 2023;10:161. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02062-w>.

- [4] Isaksson LJ, Summers P, Mastroleo F, Marvaso G, Corrao G, Vincini MG, et al. Automatic Segmentation with Deep Learning in Radiotherapy. *Cancers* 2023;15:4389. <https://doi.org/10.3390/cancers15174389>.
- [5] Vicini FA, Winter K, Freedman GM, Arthur DW, Hayman JA, Rosenstein BS, et al. NRG RTOG 1005: A Phase III Trial of Hypo Fractionated Whole Breast Irradiation with Concurrent Boost vs. Conventional Whole Breast Irradiation Plus Sequential Boost Following Lumpectomy for High Risk Early-Stage Breast Cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2022;114:S1. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2022.07.2320>.

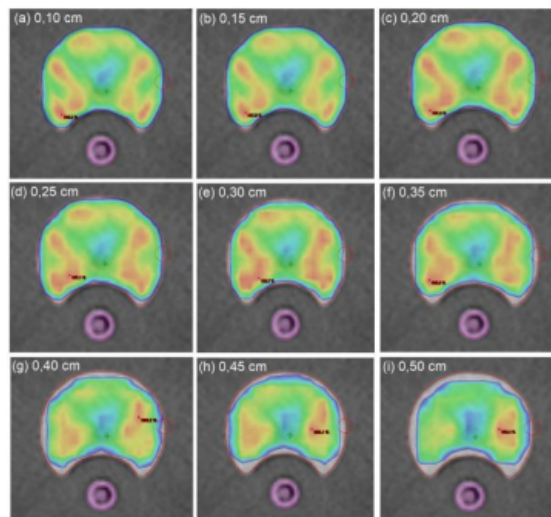
## INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO DA GRADE DE CÁLCULO NA DISTRIBUIÇÃO DE DOSE EM SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE RADIOTERAPIA

De Oliveira L.<sup>1</sup>, Fortes S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ird

**Resumo:** A grade de cálculo é um parâmetro variável que influencia a precisão e a distribuição de dose calculada, tanto para estruturas-alvo (PTVs) quanto para órgãos em risco (OARs), em sistemas de planejamento de tratamento (TPS) de radioterapia. A escolha inadequada da grade pode comprometer a precisão da dose em regiões críticas, impactando diretamente a forma do DVH e a tomada de decisão clínica. Por essa razão, é essencial atentar-se à configuração da grade para assegurar a segurança e a eficácia do tratamento. Este estudo investigou como a resolução da grade de cálculo afeta a distribuição de dose em diferentes cenários de planejamento radioterápico, utilizando objetos simuladores virtuais e um simulador físico, com diferentes dimensões e densidades, por meio de técnicas como a Radioterapia Conformacional Tridimensional (3D-CRT) e a Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT).

**Materiais e métodos:** Dado que a resolução de grade de 0,25 cm é padronizada no serviço de radioterapia em que este trabalho foi realizado, a mesma foi adotada como referência relativa para as análises dos resultados. Foram avaliadas resoluções de 0,10 cm a 0,50 cm, com incrementos de 0,05 cm, em planos elaborados no TPS Eclipse. Os testes foram realizados para ambos os tipos de simuladores, físico e virtual. Os parâmetros analisados incluíram as doses mínima, média e máxima em PTVs e OARs, as unidades monitoras (UM) e a distribuição de dose no sistema. As análises foram conduzidas de forma quantitativa e descritiva, com comparação das variações percentuais em relação à grade de 0,25 cm. Não foram aplicados testes estatísticos inferenciais, uma vez que o foco foi identificar tendências e impactos clínicos relevantes a partir das diferenças observadas.



**Resultados e discussões:** Os resultados demonstraram que a distribuição de dose, em diferentes volumes, densidades e posicionamentos de estruturas, é influenciada pela resolução da grade de cálculo. Além disso, a grade de cálculo possui um impacto significativo no cálculo da dose para OARs adjacentes ao PTV, indicando que resoluções altas fornecem resultados de doses mais baixos quando comparados a resoluções baixas. Para o OAR, em um cenário de teleterapia de próstata, a dose média foi superestimada por até 26,75% quando calculada com uma grade de 0,50 cm de resolução. Já para o PTV, a subestimação do valor de dose mínima chegou a 12,03%. Com relação a uma estrutura inserida em uma região de alto gradiente de

dose, foi observada uma subestimação de até 7,72%, com uma grade de 0,50 cm, para as doses mínimas registradas. A técnica IMRT mostrou maior variação nas UM, com superestimação em até 6,25% da dose para uma grade de 0,45 cm, e na cobertura do PTV em comparação à técnica 3D-CRT. Na IMRT, a cobertura do PTV foi diretamente impactada, com grades de maior resolução proporcionando uma cobertura maior à estrutura e grades de pior resolução proporcionando baixa cobertura do PTV na periferia da estrutura.

**Conclusões:** Embora este estudo tenha se limitado à análise de variações de resolução sem incluir irradiações reais, os resultados mostram que a escolha da grade é um parâmetro fundamental que afeta diretamente a qualidade do planejamento. Esse impacto foi particularmente evidente em estruturas críticas, como os OARs, e em técnicas avançadas como a IMRT. Não foi possível determinar uma grade ideal, pois não existe uma resolução específica que se adeque a todos os casos clínicos. Recomenda-se conhecer as especificidades do TPS utilizado para escolher uma grade adequada para cada cenário. A definição da grade também depende da medição e comparação dos valores de dose absorvida nas estruturas-alvo, além de características particulares de cada caso clínico.

**Referências:**

[1] SRIVASTAVA, S. P.; CHENG, C.-W.; DAS, I. J. The dosimetric and radiobiological impact of calculation grid size on head and neck imrt. *Practical Radiation Oncology*, v. 7, n. 3, p. 209–217, 2017.

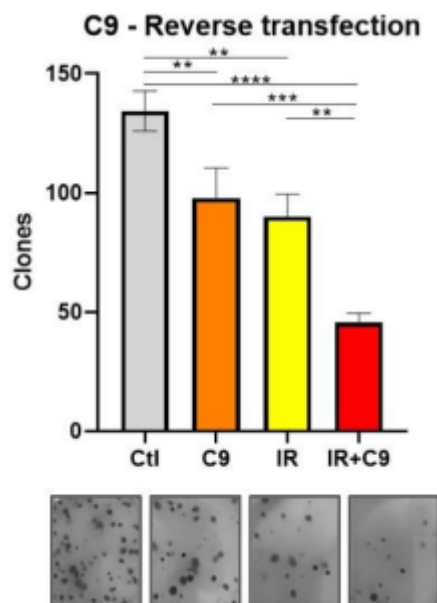
## Nanotecnologia na radioterapia: nanoclusters de prata (DNA-AgNCs) como agentes radiosensibilizantes em câncer de pulmão.

Marques W.<sup>1</sup>, Chammas R.<sup>2</sup>, Saito R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade De São Paulo, <sup>2</sup> Universidade De São Pa, <sup>3</sup> Icesp

**Resumo:** A radioterapia por feixes de fótons, amplamente usada no tratamento do câncer de pulmão, atua por meio da geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) que danificam o DNA celular. Contudo, seus efeitos colaterais limitam sua eficácia. A nanotecnologia surge como alternativa promissora. Embora as nanopartículas de prata (AgNPs) convencionais aumentam a produção de ROS, sua aplicação é limitada. Uma evolução dessa abordagem são os nanoclusters de prata complexados com DNA fita simples (DNA-AgNCs). Sua estrutura, contendo uma sequência rica em citosina, foi projetada para garantir maior e mais eficiente internalização celular. Este trabalho avalia o potencial dos DNA-AgNCs em aumentar a radiosensibilidade de células A549, visando potencializar a terapia e reduzir a dose de radiação letal.

**Materiais e métodos:** Células de adenocarcinoma de pulmão (A549) foram cultivadas em meio HAM-F12 + 10% SFB. Os nanoclusters C9 e C12 foram sintetizados a partir de AgNO<sub>3</sub>, NaBH<sub>4</sub> e ssDNA ricos em citosina. As células foram expostas aos DNA-AgNCs e subsequentemente irradiadas em diferentes doses (2.5, 5 e 15 Gy) com um irradiador de raios X (RS2000, Radsource). A viabilidade celular foi avaliada 72h após pelo ensaio colorimétrico MTT, e a sobrevivência a longo prazo, por ensaio de formação de colônias. A quantificação de ROS com a sonda CM-H2DCFDA e a análise da internalização por microscopia hiperespectral (CytoViva®) estão em andamento.



**Resultados e discussões:** O tratamento combinado com C9 e C12 demonstrou um efeito radiosensibilizador dose-dependente. A dose de 5 Gy foi a que apresentou a redução mais discrepante e significativa ( $p < 0,05$ ) na viabilidade celular e na capacidade de formação de colônias, quando comparada aos grupos controle e aos tratamentos isolados. Estes dados indicam que os DNA-AgNCs C9 sensibilizam as células A549 à radiação.

**Conclusões:** Os DNA-AgNCs C9 e C12 demonstraram ser potenciais agentes radiosensibilizantes para células A549, com enfoque para a combinação com a dose de 5 Gy.

A potencialização dos efeitos da radioterapia sugere a possibilidade de otimizar tratamentos. Como projeção, o estudo avançará para a avaliação da interação destes nanoclusters com fagócitos e a validação de sua eficácia em modelos de cultura 3D.

**Agradecimento:** Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de fomento, por meio do projeto 2024/1598. Estendemos o agradecimento ao Instituto do Câncer do Estado de São Paulo e à FAPESP

**Referências:**

- [1] Navya, P N, and Hemant Kumar Daima. “Rational engineering of physicochemical properties of nanomaterials for biomedical applications with nanotoxicological perspectives.” Nano convergence vol. 3,1 (2016): 1. doi:10.1186/s40580-016-0064-z
- [2] Rolband, Lewis et al. “DNATemplated Fluorescent Silver Nanoclusters Inhibit Bacterial Growth While Being Non-Toxic to Mammalian Cells.” Molecules (Basel, Switzerland) vol. 26,13 4045. 1 Jul. 2021, doi:10.3390/molecules26134045
- [3] Danai, Leyla et al. “Optical, structural and antibacterial properties of silver nanoparticles and DNA-templated silver nanoclusters.” Nanomedicine (London, England) vol. 18,9 (2023): 769-782. doi:10.2217/nmm-2023-0082
- [4] Holmila, Reetta J et al. “Silver Nanoparticles Induce Mitochondrial Protein Oxidation in Lung Cells Impacting Cell Cycle and Proliferation.” Antioxidants (Basel, Switzerland) vol. 8,11 552. 14 Nov. 2019, doi:10.3390/antiox8110552

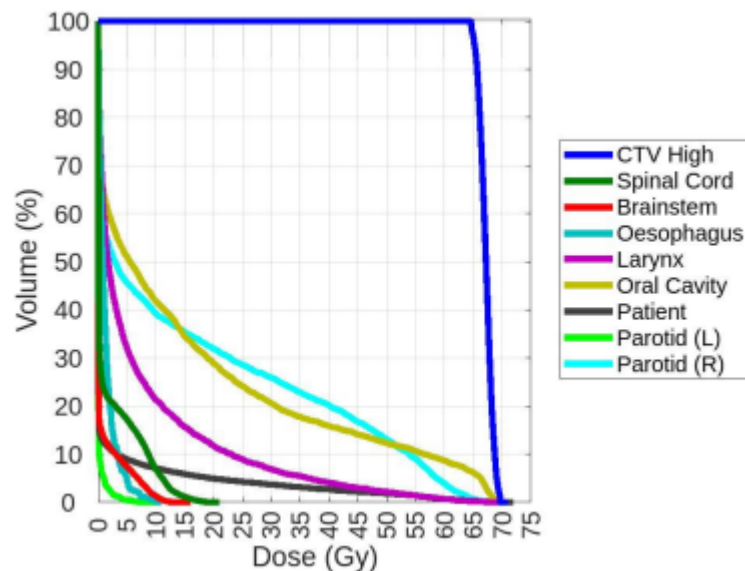
## Modelo de Otimização para Distribuição de Dose em Terapia com Prótons: Resultados Preliminares

De Freitas J.<sup>1</sup>, Cassimiro N.<sup>2</sup>, De Oliveira A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual De Maringá - Uem, <sup>2</sup> Unicamp, <sup>3</sup> Imecc - Unicamp

**Resumo:** Modelos de otimização podem ser aplicados na física médica, especialmente na radioterapia, onde a precisão na entrega de dose é crítica. O objetivo é encontrar soluções ótimas para processos complexos. Na radioterapia de intensidade modulada (IMRT), esses modelos são amplamente empregados para otimizar parâmetros como a angulação do gantry, abertura de lâminas do colimador e, principalmente, a fluência de dose [1, 2]. No entanto, embora a IMRT seja bem estabelecida na literatura, a radioterapia com prótons apresenta desafios distintos devido às características físicas do feixe. Neste trabalho, investigamos um modelo de otimização aplicado à fluência de dose em terapia com prótons, visando melhorar a conformidade da dose no alvo e a proteção de tecidos saudáveis.

**Materiais e métodos:** Desenvolveu-se um modelo de otimização min-max para fluência de dose para o feixe de prótons, visando minimizar a heterogeneidade no volume alvo, enquanto limita a dose em órgãos em risco. O problema foi formulado considerando restrições de cobertura tumoral e limites de tolerância dos órgãos de risco. Implementou-se o algoritmo em Python, e validou-se o modelo com dados clínicos reais de cabeça e pescoço do banco The Radiotherapy Optimisation Test Set (TROSTS) [3], incluindo imagens tomográficas, estruturas anatômicas e matriz de fluência de dose. A solução otimizada foi obtida através do método de pontos interiores utilizando o Software Gurobi [4], garantindo a viabilidade clínica do plano de tratamento proposto.



**Resultados e discussões:** O tempo de solução do modelo foi de 24 s. De acordo com o histograma dose-volume, os órgãos em risco apresentaram excelente preservação; com doses máximas de 22 Gy na Medula Espinhal e 16 Gy no Tronco Cerebral, considerando a prescrição para o volume alvo de 64,6 Gy. O plano demonstrou eficácia na cobertura tumoral aliada à proteção dos tecidos saudáveis, atendendo aos critérios clínicos estabelecidos.

**Conclusões:** Este estudo preliminar demonstra que o modelo de otimização proposto apresenta resultados promissores na radioterapia com prótons, com adequada preservação dos órgãos em risco; e cobertura tumoral adequada. Embora os critérios clínicos tenham sido atendidos,

análises adicionais estão em andamento para refinar as metas de dose, visando maior precisão na otimização. Os resultados iniciais reforçam o potencial da abordagem, que será aprimorada em futuros trabalhos.

**Referências:**

- [1] Freitas, J. C., Cantane, D. R., Rocha, H., & Dias, J. (2024). A multiobjective beam angle optimization framework for intensity-modulated radiation therapy. *European Journal of Operational Research*, 318(1), 286-296.
- [2] Cabrera-Guerrero, G., Ehrgott, M., Mason, A. J., & Raith, A. (2022). Bi-objective optimisation over a set of convex sub-problems. *Annals of Operations Research*, 1-26.
- [3] Breedveld, S. (s.d.). TROTS - The Radiotherapy Optimisation Test Set. <https://sebastiaanbreedveld.nl/trots/>. Acessado em 11 de abril de 2025.
- [4] LEHTINEN, P. Gurobi Optimizer Reference Manual. [S.l.], 2020.

## **Análise da Resposta Celular à Radioterapia com Nanopartículas**

Lucas A.<sup>1</sup>, De Oliveira J.<sup>1</sup>, Laurindo P.<sup>1</sup>, Irala G.<sup>2</sup>, Alves G.<sup>3</sup>, Da Silva L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Fundação Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre, <sup>3</sup> Grupo De Física Medica Experimental E Computacional- Ufcsa

**Resumo:** O uso de radiação ionizante no âmbito médico se faz altamente presente em protocolos de tratamentos oncológicos, contudo, é necessário a busca de novas técnicas que garantam a otimização da dose dada ao paciente. O uso de nanopartículas metálicas de ouro (AuNPs) e de prata (AgNPs) é uma proposta que visa aumentar a eficiência biológica relativa (EBR), resultando em um fator de aumento de dose (FAD) nas células tumorais. Este estudo investigou o uso de AuNPs e de AgNPs como radiosensibilizantes em linhagens de glioblastoma (U-87 e T-98) irradiadas com raios X (6 MV, 0–8 Gy), com o objetivo final de verificar se a aplicação de NPs em protocolos de radioterapia aumentaria os danos nas células tumorais e, assim, potencializando o tratamento e limitando o limiar de dose nas células sadias.

**Materiais e métodos:** A metodologia utilizada inclui testes de viabilidade celular e citotoxicidade das NPs por ensaio clonogênico, MTT, azul de triplan e também a quantificação de quebras duplas de DNA através de microscopia de fluorescência utilizando o anticorpo  $\gamma$ -H2AX e de radicais livres de oxigênio (ROs) através de citometria de fluxo. Todos os ensaios foram realizados para quantificar diferentes culturas celulares, cada uma em triplicata e se diferenciando por presença/ausência das NPs, dose absorvida (em Gy, de 1 em 1 até 8) e pela concentração em  $\mu\text{g/mL}$  de NPs (5  $\mu\text{g/mL}$ , 10  $\mu\text{g/mL}$ , 25  $\mu\text{g/mL}$  e 50  $\mu\text{g/mL}$ ).

**Resultados e discussões:** As AuNPs tiveram baixa toxicidade até a concentração de 50  $\mu\text{g/mL}$ , enquanto as AgNPs já apresentam alta citotoxicidade, com viabilidade abaixo de 50% a partir de 10  $\mu\text{g/mL}$ . Pelo ensaio clonogênico, foi demonstrado radiosensibilidade aumentada em culturas celulares com concentrações acima de 25  $\mu\text{g/mL}$  de AuNPs, com FAD de  $\sim 2$ , indicando ser uma alternativa promissora como potencializador de dano tumoral utilizando raios X provenientes de um acelerador linear de 6 MV.

**Conclusões:** Esse estudo permitiu concluir que o ensaio clonogênico é, entre as técnicas utilizadas, a mais sensível aos danos causados pelas NPs e também que as AuNPs são promissoras para radiosensibilização, com futuros estudos focando na otimização do protocolo de irradiação e aplicação In vivo.

### **Referências:**

- [1] GUERRA, D. B. et al. Intercomparison of radiosensitization induced by gold and iron oxide nanoparticles in human glioblastoma cells irradiated by 6 MV photons. Scientific Reports, v. 12, n. 1, 10 jun. 2022.
- [2] ALVA-SANCHEZ, M. S. et al. Enhancing dosime

## Avaliação Comparativa de Ferramentas de Automatização para Análise de Testes no Programa de Garantia da Qualidade em Radioterapia

Santiago J.<sup>1</sup>, Furnari L.<sup>2</sup>, Rodrigues M.<sup>2</sup>, Ribeiro V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> João Guilherme Rivera Santiago, <sup>2</sup> Let Let Assessoria Em Física Das Radiações Ltda

**Resumo:** O objetivo do programa de garantia da qualidade (PGQ) é garantir que o desempenho da máquina e dos processos não se desvie dos parâmetros definidos no comissionamento. Com o aumento da complexidade na radioterapia, torna-se essencial um PGQ mais eficiente. Muitos testes periódicos baseados em imagens podem ser automatizados, reduzindo tempo e variabilidade. Ferramentas comerciais oferecem vantagens, mas podem possuir alto custo. Alternativas com bibliotecas open-source, como o Pylinac, permitem análises automatizadas com menos recursos. No entanto, é necessário validar os parâmetros antes da implementação. Este estudo compara qualitativamente a plataforma comercial SunCHECK® Machine com uma interface baseada no Pylinac, considerando os métodos de análise e viabilidade de uso na rotina.

**Materiais e métodos:** Este estudo utilizou imagens adquiridas no acelerador linear TrueBeam® (Varian Medical Systems) do INRAD-HCFMUSP. O equipamento possui colimador Millennium® HD 120 MLC. Foram analisados os testes Picket Fence, Star Shot, Winston-Lutz, análise de campo radioativo e qualidade da imagem CBCT. As Imagens MV foram adquiridas com feixe de 6 MV com filtro aplanador, e imagens kV-CBCT com protocolo específico. A análise das imagens foi realizada por duas abordagens: a plataforma comercial SunCHECK® Machine (Sun Nuclear) e uma interface personalizada desenvolvida em Python com o Pylinac e o framework Streamlit. As tolerâncias seguiram os relatórios da AAPM, principalmente o Task Group 198.

Comparação de funcionalidades e ferramentas nas interfaces SunCHECK Machine, e nos módulos do Pylinac

| Teste            | Funcionalidade                       | SunCHECK Machine              | Pylinac                     |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Aspectos Gerais  | Interface Gráfica Interativa         | Presente                      | Passível de desenvolvimento |
|                  | Automação e Registro                 | Presente                      | Passível de desenvolvimento |
|                  | Agendamento de Testes                | Presente                      | Passível de desenvolvimento |
|                  | Tendência Resultados                 | Presente                      | Passível de desenvolvimento |
|                  | Personalização                       | Limitada a métricas presentes | Maior customização          |
|                  | Aprendizado e Facilidade             | Intuitiva                     | Programação necessária      |
| Picket Fence     | Formato imagem                       | DICOM, TIFF, PNG, BMP, JPEG   | DICOM                       |
|                  | Identificação MLC                    | Automática                    | Automática                  |
|                  | Interface visual lâminas             | Presente                      | Ausente                     |
|                  | Histograma erro das lâminas          | Ausente                       | Presente                    |
|                  | Exportação Dados MLC                 | Presente                      | Presente                    |
| Star Shot        | Formato imagem                       | DICOM, TIFF, PNG, BMP, JPEG   | DICOM, TIFF, PNG, BMP, JPEG |
|                  | Imagem Composta                      | Presente                      | Presente                    |
|                  | Ferramenta Ajuste <i>Spoke Shots</i> | Valor do <i>threshold</i>     | Raio perfil circular        |
|                  | Visualização círculo ótimo           | Presente                      | Presente                    |
| Winston-Lutz     | Formato imagem                       | DICOM                         | DICOM                       |
|                  | Visualização Isocentros              | Ausente                       | Presente                    |
|                  | Simulação Deslocamento virtual       | Parcial                       | Presente                    |
| Análise de Campo | Análises Adicionais                  | <i>Sag, beam steering</i>     | Componentes separadas       |
|                  | Formato imagem                       | DICOM, TIFF, PNG, BMP, JPEG   | DICOM                       |
|                  | Definição Centro                     | Interface Visual              | Automática / Manual         |
|                  | Diferentes protocolos de análise     | Presente                      | Presente                    |
|                  | Visualização métricas no perfil      | Ausente                       | Presente                    |
| CBCT             | Comparação perfis anteriores         | Presente                      | Passível de desenvolvimento |
|                  | Formato imagem                       | DICOM                         | DICOM                       |
|                  | Posicionamento ROIs                  | Automático                    | Automático                  |
|                  | Interface Visual ajuste de ROIs      | Presente                      | Ausente                     |

**Resultados e discussões:** As interfaces avaliadas demonstraram aplicabilidade, coerência metodológica e capacidade de quantificar as grandezas relevantes em cada um dos testes, contribuindo para um controle da qualidade eficiente e eficaz. A SCM oferece interface gráfica intuitiva, exportação automática, agendamento e análise de tendências, otimizando a rotina do PGQ, já o Pylinac exige um maior tempo para desenvolvimento.

**Conclusões:** Ambas as interfaces quantificaram as métricas coerentemente com os documentos de referência, atendendo ao PGQ. A interface desenvolvida com o Pylinac, mostrou ser viável criar soluções similares às comerciais com bibliotecas abertas. Independente da interface, a atuação do físico médico é crucial, compreendendo os algoritmos e validando os resultados, para garantir o uso adequado na rotina.

**Agradecimento:** Ao INRAD, onde foi realizado este estudo.

### **Referências:**

- [1] KLEIN, E. E.; HANLEY, J.; YIN, F. F.; et al. Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. *Medical Physics*, v. 36, n. 9, p. 4197–4212, 17 set. 2009.
- [2] SAW, C.; FERENCI, M.; WAGNER, J. H. Technical aspects of quality assurance in radiation oncology. *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, v. 4, n. 3, jul. 2008.
- [3] FURNARI, L. (2015). Controle de qualidade em radioterapia. *Revista Brasileira De Física Médica*, v. 3(1), p. 77–90, 2009.
- [4] CONNELL, P. P.; HELLMAN, S. Advances in Radiotherapy and Implications for the Next Century: A Historical Perspective, *Cancer Research*, v. 69, n. 2, p. 383–392, 15 jan. 2009.
- [5] LUTZ, W.; WINSTON, K. R.; MALEKI, N. A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, v. 14, n. 2, p. 373–381, fev. 1988
- [6] WOO, M. K.; O'BRIEN, P.; GILLIES, B.; et al. Mechanical and radiation isocenter coincidence: An experience in linear accelerator alignment. *Medical Physics*, v. 19, n. 2, p. 357–359, mar. 1992.
- [7] LING, C. C.; ZHANG, P.; ARCHAMBAULT, Y.; et al. Commissioning and Quality Assurance of RapidArc Radiotherapy Delivery System. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, v. 72, n. 2, p. 575–581, out. 2008.
- [8] BREDIKIN, A. Z.; WALSH, M. J. Dose rate versus gantry speed performance evaluation for slow gantry speeds using DICOM RT plans. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, v. 23, n. 10, 19 out. 2022.
- [9] BISSONNETTE, J.; BALTER, P. A.; DONG, L., et al. Quality assurance for image-guided radiation therapy utilizing CT-based technologies: A report of the AAPM TG-179, *Medical Physics*, v. 39, n. 4, p. 1946–1963, 20 abr. 2012.
- [10] STAMBAUGH, C.; YANCEY, J.; SHUKLA, U.; et al. Daily Quality Assurance Efficiency Evaluation Using SunCHECK Machine and Machine Performance Check. *Cureus*, 2 mar. 2023.
- [11] DHOUNDIYAL, M.; RASAL, S.; GUPTE, A.; et al. Validation and Efficiency Evaluation of Automated Quality Assurance Software SunCHECK™ Machine for Mechanical and Dosimetric Quality Assurance. *Journal of Medical Physics*, v. 49, n. 2, p. 311–315, abr. 2
- [12] BONANNO, E.; BORZÌ, G. R.; CAVALLI, N.; et al. Use of an automated software module for monthly routine Machine QA tests. *Journal of Instrumentation*, v. 18, n. 07, p. T07010, 1 jul. 2023.
- [13] KERNS, J. R. Pylinac: Image analysis for routine quality assurance in radiotherapy. *Journal of Open Source Software*, v. 8, n. 92, p. 6001, 3 dez. 2023.

- [14] KRAUSS, R. F.; BALIK, S.; CIRINO, E. T.; et al. AAPM Medical Physics Practice Guideline 8.b: Linear accelerator performance tests. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, v. 24, n. 11, 1 nov. 2023a. DOI: 10.1002/acm2.14160.
- [15] HANLEY, J.; DRESSER, S.; SIMON, W.; et al. AAPM Task Group 198 Report: An implementation guide for TG 142 quality assurance of medical accelerators. *Medical Physics*, v. 48, n. 10, 11 out. 2021.
- [16] HALVORSEN, P. H.; CIRINO, E.; DAS, I. J.; et al. Medical Physics Practice Guideline 9.a. for SRS/SBRT. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, v. 18, n. 5, p. 10–21, 8 set. 2017.
- [17] Phantom Laboratory Incorporated. Catphan ® 604 Manual. Salem, NY, USA, 2015.
- [18] LIM, R.; PECNONCELLO, G. P; HOBBS, D.; et al. Technical note: Characterization of novel iterative reconstructed cone beam CT images for dose tracking and adaptive radiotherapy on L-shape linacs. *Medical Physics*, v.49, n. 12, p 7715-7732, dez. 2022
- [19] SunCHECK® Machine Reference Guide. Sun Nuclear, Melbourne, FL, USA, 2024.
- [20] Streamlit library. Available at: <https://docs.streamlit.io/>. Accessed on: April 6, 2025
- [21] MAMALUI-HUNTER, M.; LI, H.; LOW, D. A. MLC quality assurance using EPID: A fitting technique with subpixel precision. *Medical Physics*, v. 35, n. 6Part1, p. 2347–2355, 19 jun. 2008.
- [22] GONZÁLEZ, A.; CASTRO, I.; MARTÍNEZ, J. A. A procedure to determine the radiation isocenter size in a linear accelerator. *Medical Physics*, v. 31, n. 6, p. 1489–1493, 24 jun. 2004.
- [23] DEPUYDT, T.; PENNE, R.; VERELLEN, D.; et al. Computer-aided analysis of star shot films for high-accuracy radiation therapy treatment units. *Physics in Medicine and Biology*, v. 57, n. 10, p. 2997–3011, 21 maio 2012.
- [24] LOW, D. A.; LI, Z.; DRZYMALA, R. E. Minimization of target positioning error in accelerator-based radiosurgery. *Medical Physics*, v. 22, n. 4, p. 443–448, 4 abr. 1995.
- [25] WINKLER, P.; BERGMANN, H.; STUECKLSCHWEIGER, G.; et al. Introducing a system for automated control of rotation axes, collimator and laser adjustment for a medical linear accelerator. *Physics in Medicine and Biology*, v. 48, n. 9, p. 1123–1132, 7 maio
- [26] HANCOCK, S.; HYER, D.; NIXON, E. SU-E-T-54: A New Method for Optimizing Radiation Isocenter for Linac-Based SRS. *Medical Physics*, v. 42, n. 6Part12, p. 3343–3343, 29 jun. 2015.
- [27] BUSHBERG, J. T.; SEIBERT, J. A.; LEIDHOLDT, E. M.; et al. *The Essential Physics of Medical Imaging*. Philadelphia, PA, US: Lippincott Williams and Wilkins (3Ed), 2012.

## Otimização no Planejamento de Tratamento do Câncer por Radiação por Prótons Utilizando o Software MatRad

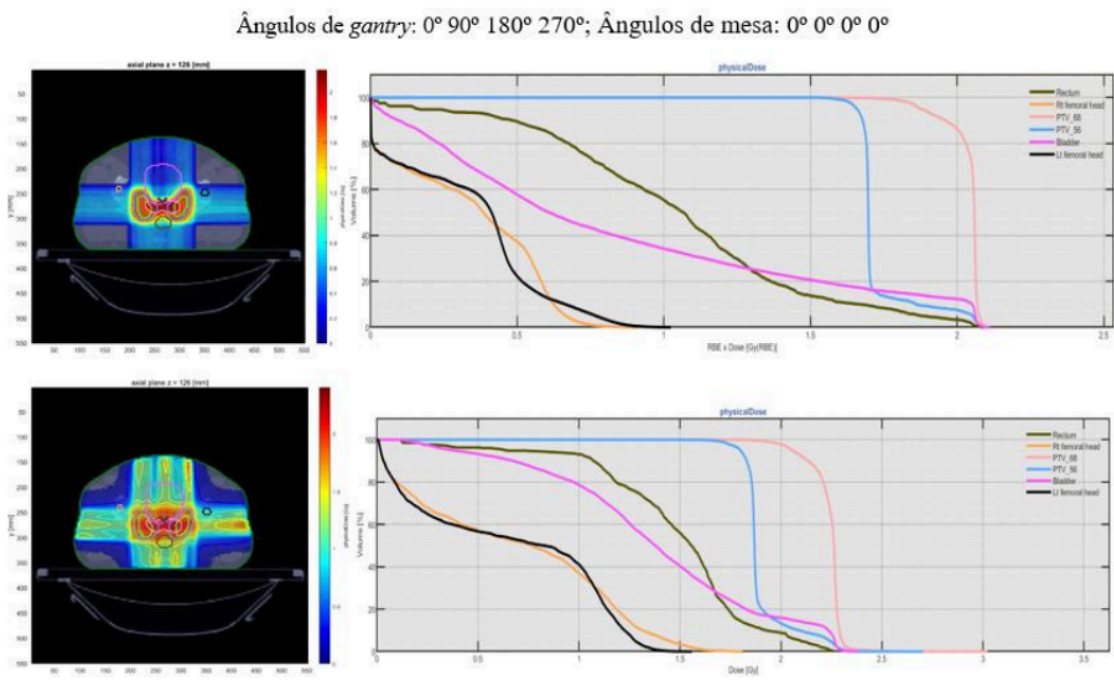
Silva F.<sup>1</sup>, Castro Júnior R.<sup>1</sup>, Cantane D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Felipe Melo Silva, <sup>2</sup> Instituto De Biociências De Botucatu/Ibb/Unesp

**Resumo:** O câncer é um dos maiores desafios da saúde pública. Em 2015, a OMS registrou 8,8 milhões de mortes e a IARC estima mais de 13 milhões até 2030 [1]. Para enfrentar esse cenário, diversas terapias têm evoluído, como a radioterapia. Esse tratamento mostra-se eficaz ao usar radiações ionizantes para destruir células tumorais e com técnicas como IGRT, IMRT, VMAT e Protonterapia. Esta última usa prótons, liberando dose constante até o pico de Bragg, o que aumenta a precisão e preserva tecidos saudáveis [2]. Nesse contexto, softwares de planejamento, como o MatRad, utilizam modelos que otimizam a dose e os ângulos dos feixes de radiação, preservando os órgãos de risco, otimizando os tratamentos radioterapêuticos, como verificado neste estudo com um caso real de câncer de próstata [3].

**Materiais e métodos:** O planejamento do tratamento para câncer de próstata foi feito com dados do banco CORT na interface do MatRad, no qual foram executados os planos de tratamento com prótons e fótons. Foram consideradas funções objetivo de superdosagem quadrática e desvio quadrático, que aplicam uma dose limite máxima aos órgãos em risco e uma dose de referência ao PTV alvo, respectivamente. Entre os parâmetros de comparação dos planejamentos, foram analisados a distribuição de dose nos diferentes tecidos através do Histograma de Dose e Volume (DVH), que apresenta os limites de dose absorvida em uma determinada porcentagem de volume tecidual do volume alvo e órgãos de risco, de acordo com a ICRU [4].

**Resultados e discussões:** Após ser executado o tratamento para fótons, obteve-se valores de 2,005 Gy para o PTV68 e 1,637 Gy para o PTV56 em 95% do volume tumoral, sendo uma dose prescrita de 68 Gy e 56 Gy com 30 frações de tratamento. Para o tratamento de prótons, obteve-se doses de 1,875 Gy e 1,656 Gy para o PTV68 e PTV56, respectivamente; para os órgãos em risco, obteve-se doses mais baixas para prótons (0 a 0,16 Gy).



**Conclusões:** A Protonterapia representa um avanço na radioterapia ao permitir maior precisão na deposição da dose, minimizando danos a tecidos saudáveis. Aliada a modelos e métodos de otimização, como os utilizados no MatRad, essa técnica personaliza o tratamento para o paciente, auxilia na redução dos efeitos colaterais e proteção dos órgãos de risco, e promovendo terapias mais seguras.

**Agradecimento:** Ao Projeto Universal CNPq 05716/2021-4 e a bolsa de iniciação científica PIBIC edital 8/2024 processo número 14466.

**Referências:**

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Cancer. Regional Office for Africa. Disponível em: <https://www.afro.who.int/health-topics/cancer>.
- [2] Rombi, B., Vennarini, S., Vinante, L., Ravanelli, D., & Amichetti, M. (2014). Proton radiotherapy for pediatric tumors: review of first clinical results. Italian journal of pediatrics, 40, 74. <https://doi.org/10.1186/s13052-014-0074-6>.
- [3] MATRAD - an open source multi-modality radiation treatment planning system. Heidelberg: DKFZ, [202-]. Disponível em: <https://e0404.github.io/matRad/>.
- [4] ICRU. Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT). ICRU report 83. J. ICRU, Oxford University Press, Oxford, UK, v. 10, n.2010. Viii, 8, 19.

## Avaliação de controle de qualidade de planejamento de Radioterapia com Arco dinâmico para CLINAC CX

Paulin L.<sup>1</sup>, De Paulo M.<sup>1</sup>, Lemes N.<sup>2</sup>, Brasil H.<sup>3</sup>, Dias T.<sup>3</sup>, Scheid A.<sup>3</sup>, Macedo I.<sup>3</sup>, Estácio D.<sup>3</sup>, Fröhlich B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Natália Cristina Soares Lemes, <sup>3</sup> Hcpa

**Resumo:** O controle de qualidade (CQ) dos planejamentos é essencial para garantir a segurança do tratamento e prevenir erros na administração da dose em radioterapia [1]. No caso de terapias com arco dinâmico, sem modulação, existe uma série de ferramentas comerciais que podem ser utilizadas para esta finalidade, devido à menor complexidade do planejamento [2,3]. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o controle de qualidade de planejamentos de mama, esôfago e metástases com arco dinâmico em um AL CX, utilizando fantoma de água sólida e câmara de ionização do tipo Farmer.

**Materiais e métodos:** Foram selecionados 92 tratamentos com feixe de fótons entre setembro de 2024 e março de 2025, tratados com energias de 6 MV e 10 MV, utilizando a técnica de arco dinâmico com dimensão de campos maior que 5 cm x 5 cm e planejados com TPS Eclipse, versão 15.6, algoritmo Acuros XB. A verificação da dose planejada se deu por meio de medidas realizadas com câmara de ionização tipo Farmer inserida em um fantoma de placas de água sólida e posicionada, preferencialmente, no isocentro dos campos, para a medida pontual de dose, simulando as condições do tratamento clínico [5]. O critério de desvio aceitável entre a dose medida e a planejada foi de 5% [6,7].

**Resultados e discussões:** Dos 92 casos avaliados, 81 (88%) apresentaram diferença percentual inferior a 5% entre a dose planejada e a medida, enquanto 11 (12%) ultrapassaram esse limite, demandando o reposicionamento do ponto de medição. A média da diferença de todos os pacientes foi de  $1,32\% \pm 0,04\%$ .



**Conclusões:** A análise mostrou que, nos 11 casos com desvio acima de 5%, a câmara de ionização posicionada no isocentro estava fora ou na borda do campo, sendo necessário reposicioná-la em região de dose homogênea. Reforça-se a importância da verificação prévia do ponto de medida. A metodologia de CQ demonstrou segurança, estabilidade e conformidade com as diretrizes vigentes [1,2,6].

**Agradecimento:** Agradecemos ao departamento de Física Médica da Radioterapia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre.

**Referências:**

- [1] Kutcher GJ, et al. Comprehensive QA for Radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40.
- [2] Miften M, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218.
- [3] International Atomic Energy Agency. Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia. Protocolo de control de calidad. Technical Document No. 1151.
- [5] Alva-Sanchez MS, et al. Implementation of Patient-Specific Quality Control In Radiotherapy Treatments with ArcCheck.
- [6] Almond PR, et al. AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high energy photon and electron beams.
- [7] Alva-Sánchez MS, et al. 3D Dosimetric Tools in Radiotherapy for Photon Beams, Frontiers in Radiation Oncology.

## **Avaliação da dose absorvida na glândula tireoide em radioterapia para câncer de mama com irradiação da região nodal**

Lemes N.<sup>1</sup>, Fröhlich B.<sup>1</sup>, De Paulo M.<sup>1</sup>, Paulin L.<sup>2</sup>, Estácio D.<sup>2</sup>, Brasil H.<sup>3</sup>, Scheid A.<sup>3</sup>, Dias T.<sup>3</sup>, Macedo I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Natália Cristina Soares Lemes, <sup>2</sup> Ufcspa, <sup>3</sup> Hcpa

**Resumo:** A radioterapia é uma opção terapêutica para o câncer de mama, mas os efeitos colaterais são um desafio clínico. A tireoide é uma glândula responsável por hormônios metabólicos e, por estar próxima à área tratada, pode receber exposição significativa à radiação, sobretudo em radioterapia com linfonodos supraclaviculares incluídos na região alvo. Estudos indicam que o volume que recebe 20Gy (V20Gy) > 46,3% está associado a um risco de hipotireoidismo de 59,1% [1] e que a dose média (Dmean) ≥ 21Gy foi um limiar para o distúrbio [2]. Considerando o impacto clínico dessa toxicidade tardia, este trabalho tem como objetivo analisar a distribuição da dose na tireoide com base em dados de tratamentos prévios e contribuir para a inclusão deste órgão no protocolo clínico de radioterapia de mama.

**Materiais e métodos:** Selecionaram-se pacientes com câncer de mama que realizaram radioterapia com inclusão da fossa supraclavicular no período de janeiro a dezembro de 2024. Os planejamentos foram realizados por diferentes profissionais, utilizando o algoritmo Acuros XB, do software Eclipse (versão 15.6, Varian®). A técnica aplicada foi 3D conformacional, com prescrição de dose de 40,05 Gy em 15 frações. A glândula tireoide foi delineada retrospectivamente, e foram coletados os dados de Dmean e V20Gy, por meio de seu histograma dose-volume (DVH). As doses foram analisadas com base na literatura e em protocolos clínicos com foco em parâmetros associados à incidência de hipotireoidismo.

**Resultados e discussões:** A análise contou com 20 pacientes, em cinco pacientes (25%) os valores de V20Gy ultrapassaram o limite associado a uma incidência de 59,1% de hipotireoidismo [1], uma paciente (5%) apresentou V20 = 63,51%, percentual relevante e, possivelmente, evitável. Somente duas pacientes receberam Dmean > 21Gy, valor limiar para o desenvolvimento do distúrbio [2].

**Conclusões:** Observou-se que 25% das pacientes ultrapassou o limiar de dose relacionado com alta incidência de hipotireoidismo em estudos anteriores. Esses achados indicam exposições relevantes da tireoide e reforçam a necessidade de sua inclusão como padrão de órgão de risco em protocolo clínico para os planejamentos. Assim, é possível poupar a glândula e minimizar o risco de hipotireoidismo pós-tratamento.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) pelo apoio institucional e pela disponibilidade das informações e recursos indispensáveis para a realização deste trabalho.

### **Referências:**

- [1] Koh HK, Park Y, Koo T, Cheong KH, Lee MY, Park HJ, et al. Association between thyroid radiation dose and hypothyroidism in breast cancer patients undergoing volumetric modulated arc therapy for regional nodal irradiation. *In Vivo*. 2023;37(5):2340–6. <https://doi.org/10.21873/invivo.13338>
- [2] Kanyilmaz G, Aktan M, Koc M, Demir H, Demir LS. Radiation-induced hypothyroidism in patients with breast cancer: a retrospective analysis of 243 cases. *Medical Dosimetry*. 2017;42(3):190–6. <https://doi.org/10.1016/j.meddos.2017.03.003>.
- [3] Varian Medical Systems. Eclipse Treatment Planning System, versão 15.6 com algoritmo Acuros XB [software]. Palo Alto (CA): Varian Medical Systems; 2018.

## Avaliação de distribuição de doses em radioterapia de linfoma conjuntival ocular

Domenici V.<sup>1</sup>, Nicolucci P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade De Filosofia Ciências E Letras - Usp Rp, <sup>2</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** : Feixes de elétrons são utilizados na radioterapia de tumores superficiais, como linfomas conjuntivais oculares, devido à capacidade de limitar a profundidade da dose. Apesar das altas taxas de controle local, efeitos colaterais como olho seco ou catarata ainda afetam muitos pacientes. Blindagens e aplicadores, feitos de materiais como chumbo ou cerrobend, ajudam a reduzir esses efeitos. A simulação Monte Carlo, padrão ouro na determinação de distribuição de dose, permite avaliar essas distribuições com base na simulação de diferentes aplicadores. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a distribuição de dose dos aplicadores utilizados na radioterapia do linfoma conjuntival ocular com feixes de elétrons, buscando encontrar a configuração ótima de irradiação, minimizando efeitos colaterais.

**Materiais e métodos:** Este estudo utilizou a simulação Monte Carlo com o pacote PENELOPE, simulando feixes de referência com espectros clínicos nas energias de 6, 12 e 18 MeV. Blindagens, com abertura na região de interesse terapêutico, em chumbo e cerrobend foram modeladas em diferentes espessuras (2 mm, 5 mm, 1 cm) sobre um objeto simulador cúbico de água, conforme ilustrado na figura (a) em anexo. As distribuições de dose para diferentes configurações das blindagens foram analisadas com o objetivo de otimizar a proteção dos tecidos sadios e garantir uma dose eficaz no tumor. A comparação entre as simulações permitiu a seleção dos melhores aplicadores para o tratamento.

**Resultados e discussões:** Na figura em anexo, a figura (b) compara os perfis do feixe para diferentes energias, e a figura (c) faz a comparação para diferentes espessuras do aplicador de cerrobend, avaliando o impacto nas doses nos tecidos sadios. Os perfis de dose obtidos permitem avaliar o impacto de diferentes configurações de blindagem, seja para diferentes espessuras ou energias, para a otimização do tratamento.

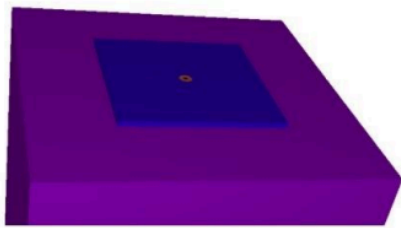


Figura a) Representação do aplicador. O ar está representado em laranja, presente para permitir doses na região alvo, em azul o aplicador de chumbo ou tungstênio e em roxo o objeto simulador cúbico de água.

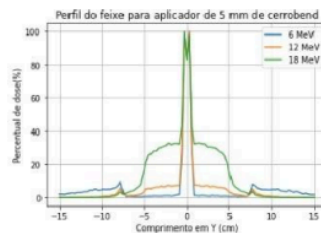


Figura b) Perfil do feixe para diferentes energias utilizando o aplicador de cerrobend de 5 mm de espessura

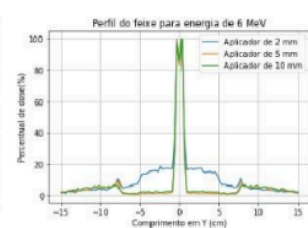


Figura c) Perfil do feixe para diferentes espessuras do aplicador de cerrobend utilizando o feixe de 6 MeV.

**Conclusões:** Os resultados confirmam a eficácia da simulação Monte Carlo na análise de dose em tratamentos com elétrons. Entre os modelos testados, o aplicador de chumbo com 5 mm se destacou por oferecer proteção adequada aos tecidos sadios em ambas as energias, aliando eficiência ao menor volume de material, o que o torna a opção mais versátil e indicada para aplicação clínica.

### Referências:

- [1] Brualla L, Zaragoza FJ, Sempau, J et al. Electron irradiation of conjunctival lymphoma - Monte Carlo simulation of the minute dose distribution and technique optimization. Int. J. Rad. Oncol. Biol. Phys. 2012
- [2] Lori Young, Landon S Wootton, Alan M. Kalet Dosimetric effects of bolus and lens shielding in treating ocular lymphomas with low-energy electrons 3. McGrath LA, Ryan DA, Warriar SK, et al. Conjunctival lymphoma.

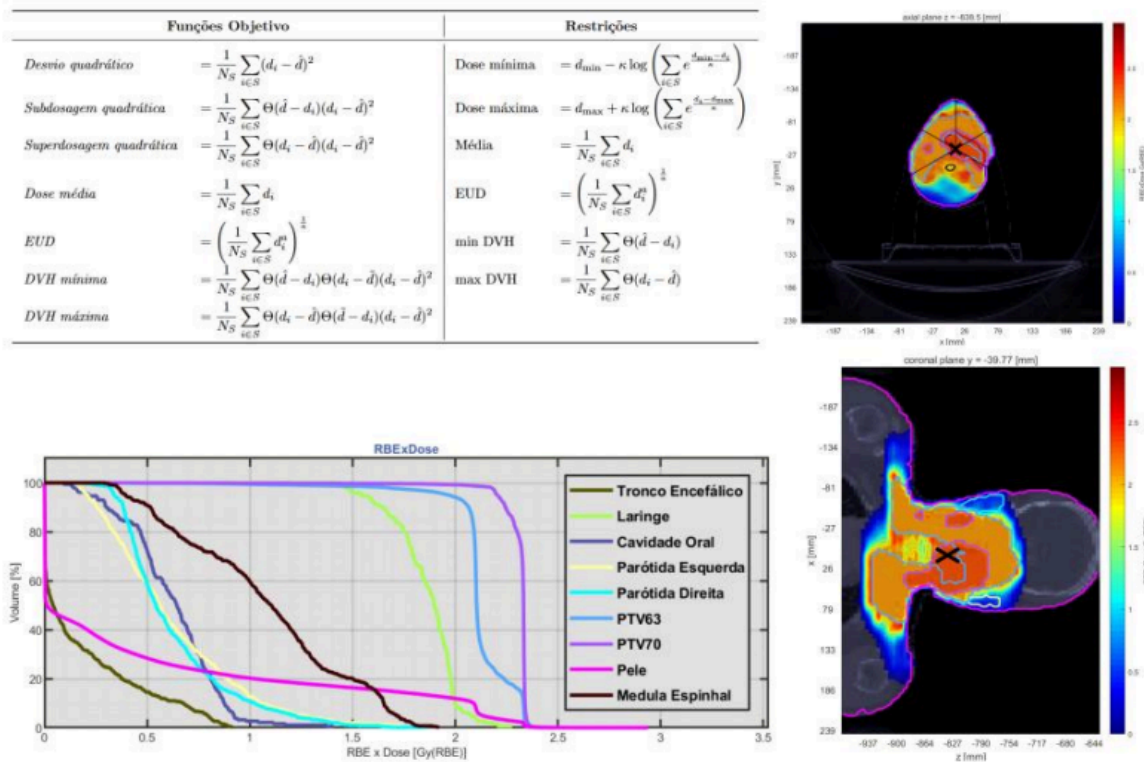
## Comparação de Funções dos Modelos de Otimização Integradas ao Software matRad

Leão D.<sup>1</sup>, Júnior R.<sup>1</sup>, Cantane D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Diogo Leão, <sup>2</sup> Instituto De Biociências De Botucatu/Ibb/Unesp

**Resumo:** Entre 2000 e 2017, registraram-se no Brasil mais de 145 mil casos de câncer de cabeça e pescoço, dos quais cerca de 78,2% foram diagnosticados em estágios clínicos avançados [1]. Nesse estágio, o tratamento é mais complexo e exige o uso de radioterapia como abordagem principal ou combinada. Esse tratamento utiliza radiação ionizante para destruir células cancerosas. Para minimizar os impactos dos efeitos colaterais, as técnicas de tratamento, como a IMRT, se destacam por sua precisão na entrega de dose e prevenção de danos a tecidos saudáveis. As ferramentas computacionais como o matRad [2] se tornam relevantes para estudos sobre o planejamento e otimização do tratamento. Realizou-se um estudo comparativo das funções objetivo e restrições presentes no software matRad.

**Materiais e métodos:** Foram analisadas a documentação técnica do software, capacitação no uso de MATLAB e aplicação de bancos de dados clínicos reais (CORT e TROTS). Foram exploradas as funcionalidades de otimização do matRad em diferentes cenários, avaliando sua eficácia para o tratamento de um caso de câncer de cabeça e pescoço. Para isso, foram comparados os planos gerados por essas funções, por meio dos histogramas de dose e volume (DVH) com base nas referências estipuladas pela ICRU [3]. Analisou-se a dose máxima e mínima nos tecidos e os índices de conformidade e homogeneidade no volume alvo. Em paralelo, também foi avaliado o esforço computacional e o número de iterações necessárias para cada planejamento.



**Resultados e discussões:** Identificou-se as melhores funções objetivo para o planejamento de tratamento de câncer de cabeça e pescoço, como por exemplo, desvio quadrático para volumes alvo e sobredosagem quadrática para órgãos de risco. Os resultados foram comparados de

acordo com os DVHs obtidos por cada função considerada, analisando os limites percentuais de dose nos diferentes órgãos de risco e no volume alvo.

**Conclusões:** O estudo das funções objetivo no matRad contribui para avanços em otimização aplicada à radioterapia e contribuem para o desenvolvimento de modelos que aumentam a eficiência na entrega de dose. Embora o software seja voltado para uso acadêmico e de pesquisa, os resultados obtidos servirão de base para investigações mais aprofundadas em futuros projetos de mestrado.

**Agradecimento:** Ao Projeto Universal CNPQ 05716/2021-4, a bolsa de iniciação científica PIBIC, Edital 8 - 2024, processo n° 16141 e a bolsa de iniciação científica processo n°2024/22389-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

**Referências:**

- [1] CARVALHO, F. N., et al. Disparities in stage at diagnosis of head and neck tumours in Brazil: a comprehensive analysis of hospitalbased cancer registries. *The Lancet Regional Health – Americas*, [S.l.], v. 42, p. 100986, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100986>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- [2] WIESER, H., et al. Development of the open-source dose calculation and optimization toolkit matRad. *Medical Physics* 44.6 (2017): 2556-2568.
- [3] ICRU. Prescribing, recording, and reporting photon-be

## Memético e Programação Linear para auxílio no Planejamento Otimizado da Radioterapia

Miranda J.<sup>1</sup>, Silva H.<sup>2</sup>, De Freitas J.<sup>3</sup>, Bartmeyer P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> João Manoel Miranda, <sup>2</sup> Instituto De Biociências - Unesp, <sup>3</sup> Universidade Estadual De Maringá - Uem, <sup>4</sup> Unicamp

**Resumo:** A radioterapia é amplamente utilizada no tratamento do câncer, visando eliminar células tumorais e preservar tecidos saudáveis. A eficácia depende da precisão no planejamento da distribuição da dose, respeitando limites clínicos. Nesse contexto, modelos matemáticos de otimização vêm sendo aplicados para simular feixes, ângulos e intensidades, buscando maximizar a eficácia terapêutica e minimizar efeitos colaterais. Este trabalho propõe um modelo matemático para o planejamento ótimo da radioterapia, resolvido pela matheurística MEME-PL, que combina a busca global de algoritmos genéticos com a precisão da Programação Linear, oferecendo soluções de alta qualidade mesmo em cenários complexos.

**Materiais e métodos:** O problema do planejamento radioterápico foi modelado como uma otimização de Programação Não Linear Inteira Mista, considerando a seleção de ângulos e a intensidade dos subfeixes para respeitar as restrições clínicas de dose. A solução emprega a matheurística MEME-PL, que combina a busca exploratória de um Algoritmo Memético com a precisão da Programação Linear, equilibrando qualidade e eficiência. A evolução das soluções ocorre por meio de operadores genéticos e busca local adaptativa. As simulações foram realizadas em MATLAB, com o solver Gurobi, utilizando dados padronizados do banco CORT para avaliação de desempenho.

**Resultados e discussões:** Foi proposto um modelo matemático para o planejamento ótimo da radioterapia, resolvido pela matheurística MEME-PL. Testes computacionais com instâncias reais e hipotéticas foram realizados. A abordagem gera planos com boa conformidade, utilizando um número reduzido de ângulos. Neste contexto, a metodologia proposta tem potencial para redução de tempo e complexidade do tratamento.

**Conclusões:** A metodologia proposta mostrou forte potencial para a otimização do planejamento da radioterapia, aliando qualidade das soluções à viabilidade computacional. Os testes realizados geraram planos mais eficientes, conformados e personalizados, garantindo uma menor exposição de tecidos saudáveis e críticos aos efeitos nocivos da radiação, reforçando sua aplicabilidade clínica.

**Agradecimento:** Os autores agradecem aos órgãos: FAPESP (2013/07375-0 e 2020/10964-0), CNPq (306518/2022-8) e CAPES (Codigo 001) pelo apoio financeiro.

### Referências:

- [1] Freitas, J.C. (2019). O uso de metaheurísticas para o problema de escolha dos feixes de um modelo de otimização aplicado ao problema de planejamento de radioterapia. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- [2] Zarepisheh, M., Hong, L., Zhou, Y., Huang, Q., Yang, J., Jhanwar, G., Pham, H.D., Dursun, P., Zhang, P., Hunt, M.A., Mageras, G.S., Yang, J.T., Yamada, Y., Deasy, J.O. (2022). Automated and Clinically Optimal Treatment Planning for Cancer Radiotherapy. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 52(1), 69–89. <https://doi.org/10.1287/inte.2021.1095>

## **Detecção de Anomalias usando séries temporais de métricas de complexidade de arcos modulados para controle de qualidade em radioterapia**

Pavoni J.<sup>1</sup>, Lizar J.<sup>2</sup>, Da Silva D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Juliana Fernandes Pavoni, <sup>2</sup> Usp-Rp, <sup>3</sup> Fundação Pio Xii - Hospital De Amor

**Resumo:** O controle de qualidade paciente específico (PSQA) é uma tarefa que consome muito tempo da equipe de física médica em radioterapia em tratamento de intensidade modulada. Com o início da automatização de processos usando inteligência artificial, várias metodologias para a predição de resultados do PSQA foram propostas. Neste trabalho, buscamos prever informações adicionais para auxiliar no entendimento dos resultados do PSQA. Para isso, aplicamos o modelo de séries temporais (TS) às métricas de complexidade de planos (PCM) ao longo dos dados extraídos do arco modulado em tratamentos radioterapia estereotáxica corpórea (SBRT) de próstata, visando identificar pontos de controle (CPs) anômalos e consequentemente, segmentos problemáticos do tratamento.

**Materiais e métodos:** Foram usados 87 PSQA feitos no Portal Dosimeter (PD) de SBRT de próstata planejados com 2 arcos (220 a 140 graus), totalizando 174 arcos modulados com 178 CPs cada. Um script no PD extraiu a porcentagem de aprovação gamma (GPR) (2%/2mm/10% threshold) de cada arco e os dados dos CPs para cálculo das dez PCMs usadas. Dos 174 arcos, 7 foram usados para teste do modelo, incluindo um reprovado (GPR=94,7%). As TS para cada PCMs foram modeladas com Prophet e as anomalias extremas detectadas com 99º percentil como threshold. Os segmentos de anomalia do plano reprovado foram validados com seu PSQA, usando dados medidos com a segmentação dos 2 arcos do plano reprovado em incrementos de 5 graus.

**Resultados e discussões:** Foram obtidos modelos preditivos de anomalias na TS para seis das 10 PCMs (UM, MFA, CLS, CAS, MAS e MCS). No arco reprovado, apenas as PCMs MU, MFA, CLS e MAD detectaram anomalias, dos 17 segmentos anômalos verificados, 16 foram reprovados no PSQA segmentado (GPR<95%). O segmento aprovado (arco 1: 110-115º), incluiu apenas um CP anômalo, que teve pouco peso para reprovação do segmento como um todo.

**Conclusões:** Um modelo inovador foi proposto para detectar anomalias em segmentos de arco modulados de SBRT de próstata usando PCMs em séries temporais. Com o modelo Prophet, foram identificados segmentos anômalos específicos do arco de tratamento que foram validados por medições. O método prediz informações complementares para entendimento do PSQA e pode auxiliar na interpretação dos seus resultados.

### **Referências:**

- [1] Chiavassa S, Bessieres I, Edouard M, Mathot M, Moignier A. Complexity metrics for IMRT and VMAT plans: a review of current literature and applications. *The British Journal of Radiology*. 2019;92(1102). doi:10.1259/bjr.20190270
- [2] Taylor SJ, Letham B. Forecasting at Scale. *PeerJ*; 2017. Acessado em 05 de maio de 2025. <http://dx.doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2>

## Revisão de Escopo para Resposta de Dosímetro de DNA à Radiação Ionizante

Da Silva V.<sup>1</sup>, Pavoni J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Victor Hugo, <sup>2</sup> Juliana Fernandes Pavoni

**Resumo:** A dosimetria física baseada em fitas de DNA propõe medir grandeza dosimétrica ao quantificar a razão de quebra dupla das fitas (DSB), oferecendo uma alternativa potencialmente mais fiel aos danos celulares do que dosímetros convencionais. Este trabalho apresenta uma revisão de escopo sobre os estudos existentes que propõem o uso de DNA como material sensível em dosimetria física. Foram analisadas abordagens experimentais e computacionais aplicadas à quantificação de danos moleculares induzidos por radiação ionizante, com destaque para os métodos de leitura e caracterização física do sistema. O objetivo foi mapear o estado da arte, identificar lacunas e definir critérios para estudos em simulação do método Monte Carlo.

**Materiais e métodos:** A revisão de escopo seguiu as diretrizes do modelo PRISMA-ScR, com busca em bases indexadas (PubMed, Scopus e Web of Science) utilizando termos relacionados como dosímetro de DNA e dosimetria em DNA. Foram incluídos estudos que exploram o DNA como detector físico da radiação ionizante, independentemente da técnica de quantificação (fluorescência, pinça magnética, eletroforese, etc.). Foram extraídos dados sobre tipo de radiação, modelo físico de DNA, mecanismos de leitura de dano e parâmetros dosimétricos avaliados.

**Resultados e discussões:** Foram analisados 6 artigos que usam DNA como quantificador de dose, a partir de quebra dupla das fitas. As leituras mais comuns usam pinça magnética e fluorescência. A maioria dos estudos são exploratórios, sendo em doses > 25 Gy e um a medir perfil de feixe. Há variações nos modelos e protocolos, com apoio de métodos computacionais.

**Conclusões:** A literatura sobre dosímetros físicos baseados em DNA ainda é limitada, com métodos variados e sem consenso sobre a melhor formulação a ser empregada. As aplicações clínicas são poucas até o momento, o que abre espaço para muitos trabalhos futuros nessa linha, tanto em estudos experimentais quanto em modelagem computacional.

**Agradecimento:** Agradecimento à Profª. Dra. Juliana Pavoni pela orientação e por abrir as portas do mundo acadêmico a mim. Agradeço sinceramente ao Departamento de Física da FFCLRP pelo ensino de excelência e pelo apoio fundamental à minha formação. Agradeço também à CAP

### Referências:

- [1] OBEIDAT, M. et al. DNA double-strand breaks as a method of radiation measurements for therapeutic beams. *Medical Physics*, v. 45, n. 7, p. 3460–3465, July 2018. <https://doi.org/10.1002/mp.12956>
- [2] CHEN, Weimin; BLAZEK, Ed Robert; ROSENBERG, Ivan. The relaxation of supercoiled DNA molecules as a biophysical dosimeter for ionizing radiations: a feasibility study. *Medical Physics*, v. 22, n. 9, p. 1369–1375, set. 1995. <https://doi.org/10.1118/1.597420>
- [3] WOOD, T. et al. Use of a dual-labelled oligonucleotide as a DNA dosemeter for radiological exposure detection. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 148, n. 1, p. 20–33, 2012. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq599>.

## Desenvolvimento de uma Configuração Experimental para a Irradiação de Células Neoplásicas In Vitro utilizando o código Monte Carlo PENELOPE

Laurindo P.<sup>1</sup>, Pianoschi T.<sup>1</sup>, Trombini H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ufcsa, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** O câncer de pele não melanoma é um dos dez mais incidentes no mundo e o de maior incidência no Brasil[1]. Estudos in vitro, que visam o desenvolvimento de novas metodologias de tratamento, utilizam culturas celulares em placas de acrílico com múltiplos poços e, frequentemente, utilizam o LINAC para a irradiação [2]. No entanto, seu uso apresenta desafios, especialmente quanto à precisão na entrega da dose [2, 3]. Nesse contexto, a simulação computacional tem se mostrado essencial para otimizar configurações experimentais e reduzir incertezas [4]. Este trabalho desenvolve uma configuração experimental de irradiação simples, padronizada e reprodutível, que oferece maior precisão na entrega de dose em células neoplásicas in vitro com feixe de elétrons, usando o código Monte Carlo PENELOPE.

**Materiais e métodos:** Simulações Monte Carlo com o código PENELOPE (2014) foram realizadas para avaliar a distribuição de dose em diferentes configurações e definir a mais adequada para irradiação de células em placa de cultura, considerando a espessura do bolus. A dose foi obtida para cada um dos 96 poços em dois cenários: poços preenchidos com ar e parcialmente com meio de cultura, representado por água na simulação. O objetivo foi analisar o impacto dos espaços vazios na distribuição da dose. Utilizou-se fonte de elétrons com espectro monoenergético (4, 6, 9, 12, 15 MeV), SSD de 100 cm, campo de 20x20 cm<sup>2</sup> e 10<sup>10</sup> partículas. A PDD foi obtida para energias entre 4 e 15 MeV, conforme protocolo IAEA TRS-398 [5].

**Resultados e discussões:** A escolha do espectro monoenergético e das energias foi baseada nas utilizadas pelo hospital. Foi obtida uma PDP para cada energia, permitindo a identificação da profundidade de dose máxima. Para as energias de 4, 6, 9, 12 e 15 MeV, as profundidades de máxima dose foram, respectivamente, 0,94, 1,53, 2,33, 3,22 e 4,01 cm. Também foi avaliada a distribuição de dose nos cenários simulados.

**Conclusões:** Os resultados obtidos na simulação Monte Carlo com o código PENELOPE podem auxiliar na determinação de condições de irradiação de células que assegurem maior homogeneidade na dose depositada. Isso resulta na redução da incerteza em futuros trabalhos que visam o desenvolvimento de novas metodologias de tratamento, como os que investigam a influência de NPs metálicas em culturas celulares.

**Agradecimento:** Agradeço à Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) e ao grupo de pesquisa Física Médica Experimental e Computacional (FMEC) pelo apoio. Sou grato ao professor Henrique Trombini e à professora Thatiane Pianoschi pela orientação.

### Referências:

- [1] INCA. Estimativa 2023: Incidência de Câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA, 2022. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//estimativa-2023.pdf>.
- [2] TESEI, A. et al. In vitro irradiation system for radiobiological experiments. Radiation Oncology, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1748-717X-8-257>.

- [3] GUERRA, D. B. et al. Radiosensitization induced by gold and iron oxide nanoparticles in glioblastoma cells. *Sci. Reports*, v.12, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35688846/>
- [4] ALVA-SANCHEZ, M. et al. Enhancing dosimetric evaluation in in vitro neoplastic cell irradiation. *Radiation Measurements*, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448724001690>

## **Avaliação da resposta tumoral e ativação do sistema imune frente à radioterapia espacialmente fracionada (SFRT)**

Godói M.<sup>1</sup>, Freitas Filho E.<sup>2</sup>, Nicolucci P.<sup>3</sup>, Da Cunha L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 43597357822, <sup>2</sup> Faculdade De Medicina Usp Rp, <sup>3</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Os avanços tecnológicos na radioterapia permitem tratar o volume alvo de forma precisa, gerando menor toxicidade em tecidos normais adjacentes. Nesse contexto, a SFRT (Radioterapia espacialmente fracionada) utiliza um padrão de irradiação espacialmente fracionada que permite o controle tumoral competitivo com o padrão convencional, irradiando um volume menor. É sabido que o controle tumoral atingido pela SFRT, advém não apenas do volume diretamente irradiado, mas também através do efeito de vizinhança, ativando vias de morte celular, reparo ou até mesmo sistema imunológico. Desta forma, o objetivo deste trabalho é comparar a resposta de diferentes células à ambos tratamentos, avaliando também o recrutamento de células imunes através da radioterapia.

**Materiais e métodos:** Para o setup experimental de radioterapia espacialmente fracionada 2D, utilizou-se um colimador físico de latão, chamado de GRID, acoplado à saída de um tubo de raio x. A avaliação da resposta de células de mama normais e tumorais ao tratamento foi obtida através de ensaios clonogênicos e curvas de fração de sobrevivência, quando expostos ao tratamento convencional e tratamento com colimador GRID. Para avaliar o recrutamento de células imunes em ambos tratamentos, utilizou-se um ensaio de degranulação de mastócitos pela liberação  $\beta$ -hexosaminidase ativadas através da radioterapia de mama.

**Resultados e discussões:** A resposta de células tumorais para o tratamento com GRID, na forma de fração de sobrevivência, teve um controle superior ao convencional, mostrando menor toxicidade e tecido normal no mesmo intervalo de dose. O ensaio de liberação de  $\beta$ -hexosaminidase ativadas via radioterapia de mama teve liberação equivalente ao ensaio controle, o qual utiliza vias específicas de ativação para degranulação.

**Conclusões:** O tratamento de radioterapia utilizando a SFRT produz um controle tumoral eficiente, enquanto mantém a baixa toxicidade em tecido normal em altas doses. A ativação de células imunes para o tratamento GRID são equivalentes ao controle, mostrando que a radioterapia de mama permite o recrutamento de resposta inflamatória.

### **Referências:**

- [1] BILLENNA, Cole; KHAN, Atif J. A current review of spatial fractionation: Back to the future?. *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics*, v. 104, n. 1, p. 177-187, 2019.
- [2] WU, Yu et al. Molecular mechanisms of tumor resistance to radiotherapy. *Molecular Cancer*, v. 22, n. 1, p. 96, 2023. FISCHER, Peter et al. The bystander-effect: a meta-analytic review on bystander intervention in dangerous and non-dangerous emergencies. *Psychological bulletin*, v. 137, n. 4, p. 517, 2011.
- [3] LU, Qiuxia et al. Combining spatially fractionated radiation therapy (SFRT) and immunotherapy opens new rays of hope for enhancing therapeutic ratio. *Clinical and Translational Radiation Oncology*, v. 44, p. 100691, 2024.

## IMPACTO DO TAMANHO DA GRADE NOS CÁLCULOS DE DOSE PARA TUMORES CRANIANOS

Soares N.<sup>1</sup>, Almada M.<sup>1</sup>, López J.<sup>2</sup>, Venencia D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Zunino, <sup>2</sup> National University Of Córdoba, <sup>3</sup> Brainlab

**Resumo:** A radiocirurgia estereotáxica (SRS) é uma terapia precisa e não invasiva usada no tratamento de tumores difíceis de operar, entregando alta dose ao alvo e preservando tecidos saudáveis [1]. Sistemas de planejamento de tratamento (TPS) utilizam algoritmos como por exemplo, Pencil Beam (PB), que tem limitações em tecidos heterogêneos e campos pequenos, e Monte Carlo (MC), considerado o padrão ouro pela precisão em cenários complexos, mas cujo desempenho depende da resolução da grade, especialmente para alvos pequenos [2]. Este estudo investiga como diferentes tamanhos de grade afetam a precisão da dose em MC no planejamento de SRS para várias patologias cranianas utilizando o Elements TPS.

**Materiais e métodos:** Foram incluídos 110 planos VMAT [Má formação arteriovenosa (AVM), Glioblastoma (GBM), Meningioma (MGM), Metástases cerebrais (BM), adenoma de hipófise (PA) e Schwannoma vestibular (VS)] planejados com Elements TPS v4.0. Apenas os planos MC variaram no tamanho da grade (1%/1mm e 2%/2mm); o PB utilizou uma grade fixa de 1mm. Foram analisados GTV, PTV, margens, interseção PTV-osso, unidade monitora, índices de conformidade (CI) e gradiente (GI), D98%, D95%, D2%, dose média e órgãos de risco. O teste Mann-Whitney comparou as configurações de grade para D98%, D95% e D2%. A ANCOVA avaliou o efeito do tamanho da grade, ajustada para PTV e interseção PTV-osso. O nível de significância foi  $p < 0,05$ .

Tabela 1. Descritivas dos volumes PTV e GTV e interseção PTV-osso.

|            | PTV               |                | GTV           |                 | Interseção PTV-osso |   |
|------------|-------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------------|---|
|            | [cc]              | [cc]           | [cc]          | [cc]            | [cc]                | % |
| <b>AVM</b> | 2.1(1.9–7.1)      | 1.26(1.0–4.6)  | 0.00(0.0–2.2) | 0.0(0.0–31.7)   |                     |   |
| <b>BM</b>  | 2.0(0.4–4.7)      | 1.2(0.3–3.1)   | 0.0(0.0–0.1)  | 0.2(0.0–8.8)    |                     |   |
| <b>BM</b>  | 137.1(60.2–253.5) | 24.7(7.3–68.5) | 1.4(0.0–29.5) | 0.8(0.0–11.6)   |                     |   |
| <b>MGM</b> | 8.5(1.5–29.4)     | 6.1(0.7–24.0)  | 0.3(0.0–5.7)  | 3.43(0.0–22.8)  |                     |   |
| <b>PA</b>  | 4.4(2.1–45.3)     | 2.9 (1.0–37.8) | 0.4(0.0–2.2)  | 8.5(1.0–19.6)   |                     |   |
| <b>VS</b>  | 0.5(0.2–1.9)      | 0.5(0.2–1.9)   | 0.2(0.1–0.3)  | 46.7(10.6–68.0) |                     |   |

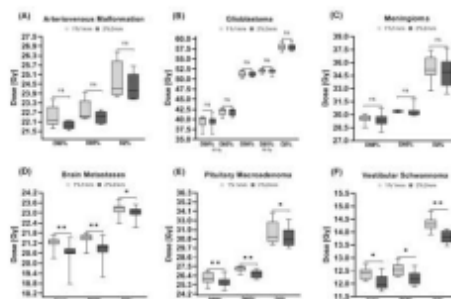


Figura 2. Comparação entre métodos de algoritmo MC com diferentes configurações de grade para cálculos de dose para tumores cranianos.

Tabela 2. ANCOVA do tamanho da grade, ajustados para volume (cc) e interseção óssea (%) (n = 110).

| Dose [Gy]   | Grades     |            | p-value | Adjusted p-value |
|-------------|------------|------------|---------|------------------|
|             | 1%1mm      | 2%2mm      |         |                  |
| <b>D98%</b> | 25.59±0.85 | 25.25±0.85 | 0.711   | <0.001           |
| <b>D95%</b> | 26.23±0.86 | 25.88±0.86 | 0.717   | <0.001           |
| <b>D2%</b>  | 29.69±1.01 | 29.35±1.01 | 0.735   | <0.001           |

**Resultados e discussões:** As variações no tamanho da grade não impactaram na dose de AVM, GBM ou MGM. Contudo, foram observadas reduções estatisticamente significativas na dose para [D98% (p=0,002), D95% (p=0,002), D2% (p=0,002)], PA [D98% (p=0,002), D95% (p=0,002), D2% (p=0,027)] e VS [D98% (p=0,019), D95% (p=0,013), D2% (p=0,002)]. A grade 2%/2mm elevou CI e GI, sobretudo em alvos pequenos e irregulares como VS e PA.

**Conclusões:** O tamanho da grade teve impacto mínimo nos cálculos de dose para tumores de grande volume, como GBM e MGM. No entanto, alvos pequenos ou irregulares, como BM, PA e VS, a grade de 2%/2mm levou a reduções significativas de dose e aumento dos valores de CI e GI, destacando a importância do uso de grades mais finas para modelagem precisa da dose em lesões de pequeno volume ou complexidade anatômica.

**Agradecimento:** Instituto Privado de Radioterapia / Fundacion Marie Curie

### **Referências:**

- [1] Aschnagel A, Wolters PL, Camphausen K. Neuropsychological testing and biomarkers in the management of brain metastases. 2008;3.
- [2] Goodall SK, Ebert MA. Recommended dose voxel size and statistical uncertainty parameters for precision of Monte Carlo dose calculation in stereotactic radiotherapy. 2020;21(12):120-130.
- [3] Srivastava SP, Cheng CW, Das IJ. The dosimetric and radiobiological impact of calculation grid size on head and neck IMRT. Pract Radiat Oncol. 2017;7(3):209-217.
- [4] Sasidharan BK, et al. Clinical Monte Carlo versus pencil beam treatment planning in nasopharyngeal patients receiving IMPT. 2019;5(4):32-40. 5. Stanley J, et al. Evaluation of stereotactic radiosurgery conformity indices for 170 target volumes in patients with brain metastases. 2011;12(2):3449.

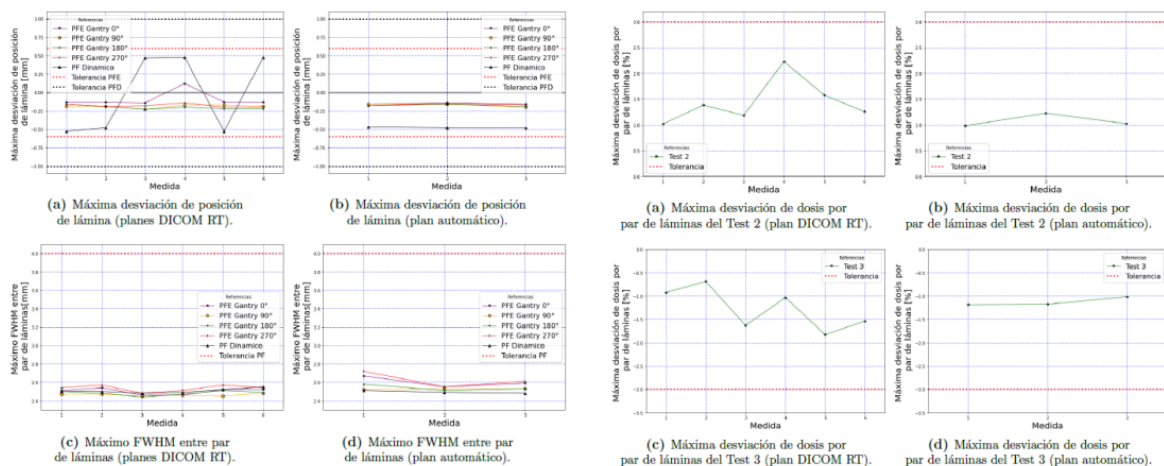
# AUTOMATIZAÇÃO DE CONTROLES DE QUALIDADE NO ACELERADOR LINEAR TRUEBEAM STx ATRAVÉS DO MODO DE DESENVOLVIMENTO

Musso M.<sup>1</sup>, Soares N.<sup>2</sup>, Almada M.<sup>2</sup>, Venencia D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Zunino De Radioterapia, <sup>2</sup> Instituto Zunino, <sup>3</sup> Brainlab

**Resumo:** Ter um sistema de Garantia de Qualidade nos serviços de radioterapia é essencial, pois detecta e reduz erros no planejamento do tratamento, permite a intercomparação entre centros e fornece informações sobre o status do equipamento [1]. As modalidades de tratamento com intensidade modulada IMRT e VMAT são técnicas que permitem o fornecimento preciso e exato da dose ao volume-alvo, proporcionando proteção aos órgãos em risco e exigindo controles de qualidade exaustivos [2]. Dessa forma, objetivou-se avaliar o uso do Developer Mode do acelerador linear TrueBeam STx para implementar um plano que permite a automação dos controles do MLC por meio dos testes Picket Fence Estática (PFE) e Dinâmica (PFD), Teste 2 (Taxa de Dose e Velocidade do Gantry), Teste 3 (Velocidade do MLC).

**Materiais e métodos:** O LINAC utilizado foi o Varian TrueBeam STx, equipado com MLC modelo NDS120HD, um sistema Portal Dosimetry e o Modo Developer integrado [3]. O plano de automação do controle do MLC foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação XML, contendo os testes Picket Fence Estática (PFE) e Dinâmica (PFD), Teste 2 (Taxa de Dose e Velocidade do Gantry), Teste 3 (Velocidade do MLC). Posteriormente o plano foi carregado e executado no LINAC, o que possibilitou a aquisição sequencial das imagens de cada teste [4]. As análises foram realizadas no software RIT v6.10.64, com critérios do AAPM TG-142: desvio máximo das lâminas <1 mm nos testes PFE/PFD e diferença de dose <3% nos Testes 2 e 3.



**Resultados e discussões:** As maiores desvios de posição das lâminas nos testes PFE e PFD foram 0,23 mm e 0,49 mm, respectivamente. Nos Testes 2 e 3, a diferença percentual de dose foi inferior a 1%, dentro das tolerâncias do TG-142. O tempo total dos testes automatizados foi de 5,5 min, reduzindo significativamente em relação à execução individual superior a 35 min. Esses resultados são apresentados na Figura 1.

**Conclusões:** A implementação do plano de controle de qualidade automático do MLC foi verificada, obtendose resultados para todos os testes analisados que estão de acordo com as tolerâncias estabelecidas nas recomendações internacionais e no relatório AAPM TG-142. O

tempo de execução dos testes no equipamento foi bastante reduzido, permitindo a otimização do fluxo de trabalho do físico médico.

**Referências:**

- [1] Alfonso-Laguardia, R., Aguirre, J.F., Brunetto, M., Marenco-Zuñiga, H., Torres-Calderon, A., Gutt, F. Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia.
- [2] M. Musso, Argentina, Instituto Balseiro, Programación de controles de Calidad en Acelerador Lineal TrueBeam STx Mediante Developer Mode, 2023.
- [3] Mhatre, V., Pilakkal, S., Chadha, P., Talpatra, K. Dosimetric comparison of a-si 1200 and a-si 1000 electronic portal imager for intensity modulated radiation therapy (imrt). J Nucl Med Radiat Ther, 9.
- [4] TrueBeam Developer Mode Version 2.0 User's Manual, 2013.

## Desenvolvimento de ferramenta computacional para ajuste automatizado de curvas de sobrevivência celular com nanopartículas de ouro

Irala G.<sup>1</sup>, De Oliveira J.<sup>2</sup>, Lucas A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fundação Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre, <sup>2</sup> Ufcsa

**Resumo:** O modelo linear-quadrático (LQ) é amplamente utilizado para descrever a resposta celular à radiação ionizante, por meio dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ , que refletem a radiosensibilidade [1]. A correta determinação desses parâmetros é essencial em estudos de radiosensibilização, como os que envolvem nanopartículas de ouro (GNPs), conhecidas por sua capacidade de potencializar os efeitos da radiação [2]. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para ajuste automatizado de curvas de sobrevivência celular com base no modelo LQ, aplicada a experimentos com GNPs.

**Materiais e métodos:** Foi desenvolvida uma ferramenta em Python para o ajuste não-linear de curvas de sobrevivência celular ao modelo LQ ( $S = e^{(-\alpha D - \beta D^2)}$ ). Os dados de entrada consistem em frações de sobrevivência clonogênica de células tratadas com GNPs e irradiadas com diferentes doses de radiação. A análise estatística considera múltiplas réplicas por dose, com exclusão de outliers por critérios robustos. A média e o desvio padrão são utilizados para estimar a sobrevivência, e o algoritmo aplica mínimos quadrados para extrair  $\alpha$ ,  $\beta$  e calcular o índice  $\alpha/\beta$ . A interface permite comparação entre diferentes grupos experimentais.

**Resultados e discussões:** A ferramenta foi aplicada a dados experimentais de células de glioblastoma tratadas com GNPs. Os parâmetros extraídos foram consistentes com a literatura e evidenciaram aumento da radiosensibilidade com GNPs. O código demonstrou eficiência no ajuste e reprodutibilidade dos resultados, reduzindo o tempo de análise manual.

**Conclusões:** A ferramenta permite análise rápida e automatizada de curvas de sobrevivência celular com extração precisa dos parâmetros LQ. Sua aplicação em dados com nanopartículas de ouro mostrou-se eficaz, contribuindo para estudos de radiosensibilização e potencial uso em ensaios pré-clínicos.

**Agradecimento:** Agradeço à equipe de pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica, e aos colaboradores envolvidos no fornecimento e análise dos dados experimentais com GNPs.

### Referências:

- [1] McMAHON, S. J. The linear quadratic model: usage, interpretation and challenges. Phys. Med. Biol. 64 (2019): 01TR01.
- [2] GUERRA, D. B. et al. Intercomparison of radiosensitization induced by gold nanoparticles... Sci. Rep. 12, 9602 (2022)

## Impacto da variação do protocolo de TC nas curvas de calibração de unidades de Hounsfield por densidade eletrônica relativa em pacientes adultos e pediátricos.

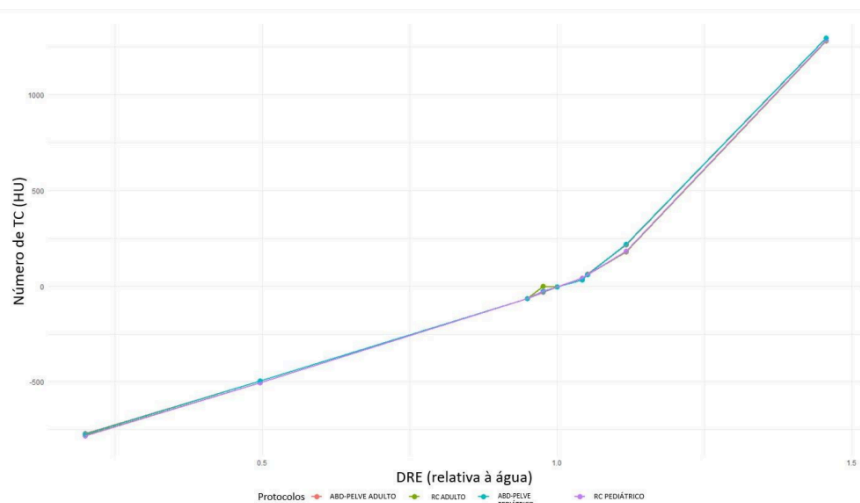
Pereira B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Beatriz Soares Pereira

**Resumo:** No planejamento radioterápico, é necessário estabelecer curvas de calibração de unidades de Hounsfield (HU) em função da densidade eletrônica relativa (DER) na tomografia computadorizada (TC), a fim de assegurar um cálculo de dose preciso, considerando a heterogeneidade dos tecidos quanto à densidade eletrônica e suas propriedades de absorção e espalhamento. Essa avaliação tem sido foco de diversos estudos [1–4], com o objetivo de garantir que os sistemas de calibração acompanhem os avanços tecnológicos dos tomógrafos e dos sistemas de planejamento radioterápico. Neste estudo, busca-se investigar a influência do protocolo aplicado e o efeito da radiação espalhada na curva de calibração.

**Materiais e métodos:** O phantom CIRS 062M foi irradiado no tomógrafo Phillips Big Bore. Dois conjuntos de aquisições foram realizados, correspondentes aos protocolos de TC para abdome-pelve e radiocirurgia em pacientes adultos e pediátricos, todos realizados com 120 kVp. No entanto, para o exame de abdome-pelve, foi utilizado 250 mAs, enquanto para radiocirurgia foi aplicado 300 mAs, com os mesmos valores sendo empregados em ambos os protocolos, tanto para adultos quanto para crianças. Ademais, os plugs foram expostos individualmente para obter os valores de HU na ausência de radiação espalhada. Os valores de HU foram obtidos nas imagens delimitando uma ROI no centro de cada plug e registrando os valores obtidos.

**Resultados e discussões:** A maior discrepância em HU foi observada no plug de água entre os protocolos de radiocirurgia pediátrico e adulto (15,2%). As curvas HU x DER para adultos e pediátricos foram compatíveis em ambos os protocolos (Figura 1). Os plugs de osso denso induziram artefatos na imagem que afetaram principalmente os valores de HU dos plugs de mama, fígado e músculo, com variações de até 26,9%.



**Conclusões:** A variação entre os valores de HU medidos para cada plug não excederam 20 HU, atendendo às recomendações da IAEA. Considerando a curva obtida ao minimizar a interferência do espalhamento da radiação, obtém-se diferenças de até 230 HU em materiais de maior número atômico, reforçando a necessidade de considerar tal efeito na calibração de sistemas de planejamento, que pode afetar as doses recebidas.

**Agradecimento:** Agradeço ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e ao Instituto Nacional do Câncer (INCa) por tornar este estudo possível.

**Referências:**

- [1]ZURL, B. et al. Hounsfield units variations. *Strahlentherapie und Onkologie*, v. 190, n. 1, 2014.
- [2]MEHTA, Akash et al. Investigation of computed tomography numbers on multiple imaging systems using single and multislice methods. *Journal of Medical Physics*, v. 48, n. 1, p. 26-37, 2023.
- [3]POJAI, S. et al. Evaluation of relative electron densities calculated by CT numbers in different techniques of dual-energy CT. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, v. 53, n. 4, p. S61-S62, 2022.
- [4]BARATEAU, A. et al. Assessment of Hounsfield units to electron density calibration curves for kV cone beam CT (kV CBCT) system. *Physica Medica: European Journal of Medical Physics*, v. 30, p. e124, 2014.

## Caracterização dos Perfis de Dose do Acelerador Halcyon™ via Simulação Monte Carlo

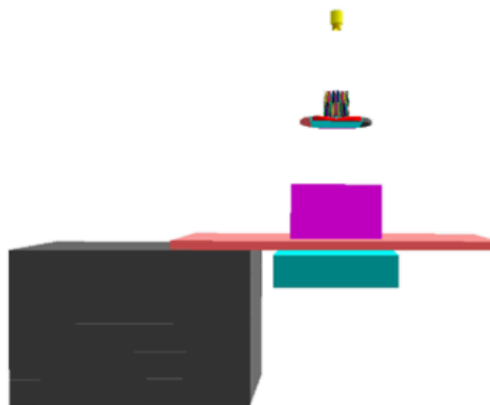
Ferreira M.<sup>1</sup>, Valença J.<sup>2</sup>, Trinca W.<sup>2</sup>, Santos W.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Maryane Santos Ferreira, <sup>2</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufcsa, <sup>3</sup> Ufs

**Resumo:** Este estudo investiga o fenômeno do retroespalhamento no acelerador linear Halcyon™ (Varian Medical Systems), utilizando simulações Monte Carlo para caracterizar suas implicações dosimétricas e propor melhorias em blindagens. O Halcyon, que opera com feixe de fótons de 6 MV em modo FFF, incorpora inovações como colimador multilâmina duplo e sistema Beam Stop, que contribuem para a eficiência clínica e potencial redução de barreiras de proteção [1, 4]. No entanto, o Beam Stop também pode gerar radiação retroespalhada, elevando a dose superficial em tecidos subcutâneos. Por meio da modelagem detalhada do sistema, as simulações permitem quantificar essa contribuição indesejada, avaliar riscos secundários e otimizar a composição e espessura de blindagens, seguindo recomendações do AAPM TG-105.

**Materiais e métodos:** Foi simulado o acelerador Halcyon™ com o código MCNP6 [7], focando na radiação retroespalhada. Modelou-se em 3D o feixe de 6 MV (FFF), MLC, gantry, Beam Stop (Pb-Sb/aço) e blindagens (Pb/barita). A caracterização do feixe primário foi feita em um phantom de água (50×50×30 cm<sup>3</sup>). Curvas PDD (normalizadas à dose máxima) foram comparadas a dados clínicos reais, validando o modelo. Após essa validação, foram simulados diferentes cenários com variações na espessura e composição de barreiras primárias, com o objetivo de avaliar se a presença do beam stop permite sua otimização. Os resultados obtidos permitiram estimar a dose retroespalhada e verificar o cumprimento dos limites estabelecidos pela CNEN NN 3.01.

**Resultados e discussões:** Perfis de dose (MC vs. TPS) em profundidades de 1-30 cm (campo 10×10 cm<sup>2</sup>) apresentaram excelente concordância no platô e penumbra. Pequenas variações nas quedas laterais são atribuídas a incertezas estatísticas. PDDs simulados tiveram diferenças de 1-4% frente ao TPS, validando o modelo para simulações com blindagem e pacientes.



**Conclusões:** Simulações MCNP6 validaram o feixe de 6 MV FFF do Halcyon™, com PDDs e perfis concordando com o TPS (discrepâncias 1-4%). O modelo preciso permite investigar retroespalhamento e otimizar blindagem, reforçando e garantindo a proteção radiológica na prática clínica. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento de projetos de sala mais eficientes, economicamente viáveis e alinhados às normas de segurança, além de oferecer

evidências quantitativas sobre a dose retroespalhada no paciente, conforme preconizado pelo AAPM TG-158.

**Referências:**

- [1] VARIAN. Varian Medical Systems. Halcyon System: Designed for Efficiency, Achieving More 2023.
- [2] CAI, B et al. Self-shielding evaluation and radiation leakage measurement of a jawless ring gantry linac with a beam stopper. Medical physics. 2021
- [3] GAO, S et al. Beam energy metrics for the acceptance and quality assurance of Halcyon linear accelerator. Journal of Applied Clinical Medical Physics.2021
- [4] CARAVANI, K.; MURRY, R.; HEALY, B. Characterisation of in-room leakage and scattered radiation for the Varian Halcyon linear accelerator. Physical and Engineering Sciences in Medicine.2022
- [5] AAPM. Task Group 105: Application of Monte Carlo Methods in Radiotherapy. American Association of Physicists in Medicine, Report No. 158,2017 WERNER, C J. et al. MCNP Version 6.2. Los Alamos National Laboratory2017

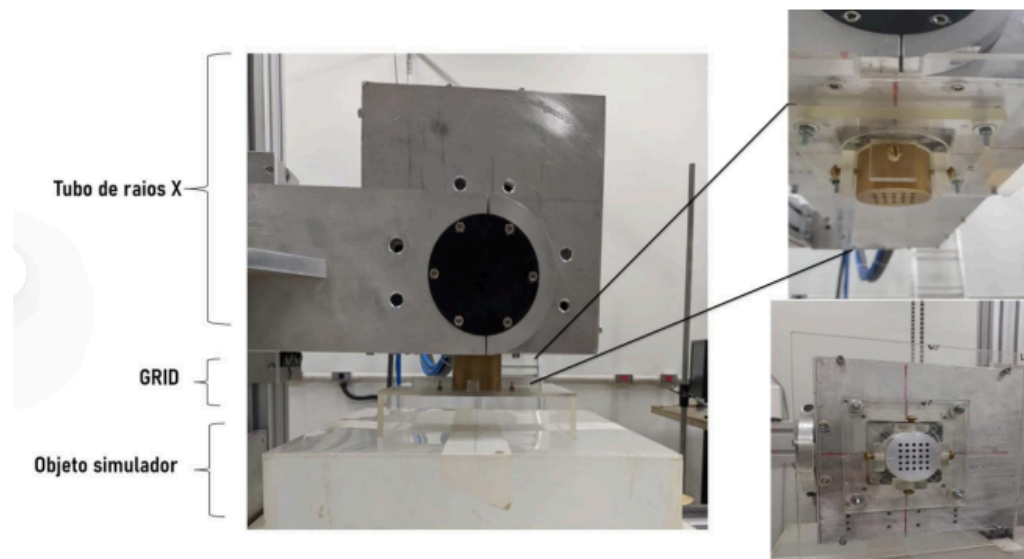
## ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM ARRANJO EXPERIMENTAL DE RADIOTERAPIA ESPACIALMENTE FRACIONADA UTILIZANDO SIMULAÇÃO MONTE CARLO

Franco F.<sup>1</sup>, Nicolucci P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Flávia De Barros Franco, <sup>2</sup> Universidade De São Paulo

**Resumo:** Ao contrário da radioterapia convencional, que objetiva dose homogênea, a radioterapia espacialmente fracionada, como a terapia GRID, propõe uma abordagem com distribuição de dose de maneira heterogênea no volume tumoral. Essa técnica é promissora para tumores volumosos, que costumam apresentar maior radioresistência e áreas hipóxicas que dificultam a morte celular por apoptose. Ao utilizar feixes estreitos, GRID favorece a ocorrência de efeitos radioinduzidos, como os efeitos Bystander e Abscopal. Esses fenômenos podem contribuir para respostas terapêuticas mais otimizadas. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e implementar um sistema de irradiação GRID para estudos in vitro e em pequenos animais, além de analisar as distribuições de dose geradas.

**Materiais e métodos:** Simulação Monte Carlo com o pacote Penelope v. 2008 foi utilizada juntamente com uma abordagem experimental para caracterizar colimadores GRID de alumínio e latão. Os colimadores, com 5 cm de diâmetro e 3,5 cm de espessura, foram simulados para feixes de 50 a 120 kVp, com as mesmas características do tubo de raios X Isovolt Titan E. Na parte experimental, os colimadores foram fabricados e acoplados ao aparelho de raios X. Filmes radiocrômicos EBT3 foram usados para caracterização dosimétrica do arranjo, permitindo a obtenção de distribuições de dose experimentais, perfis GRID e razão vale-pico (RVP). Além disso, as simulações permitiram a obtenção da PDP e estudo de outros materiais.



**Resultados e discussões:** Para os colimadores GRID de Alumínio e Latão com razão furo:blindagem 1:1 e furos de 3 mm, as RVP experimentais foram 0,164 para o alumínio e 0,146 para o latão. Os colimadores de cerrobend e chumbo mostraram RVPs semelhantes. Tanto os resultados experimentais quanto os simulados mostraram RVP melhores do que com colimadores de materiais de número atômico mais baixo.

**Conclusões:** O estudo demonstrou que colimadores de latão apresentam melhor desempenho dosimétrico para o sistema GRID. A dosimetria com filmes radiocrômicos mostrou-se eficaz, e

as simulações via Monte Carlo ampliaram a análise experimental. Os resultados indicam que o material e a geometria do colimador influenciam diretamente a qualidade da distribuição de dose GRID.

**Agradecimento:** Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos concedida, ao Programa de PósGraduação em Física Aplicada à Medicina e Biologia (FAMB), e ao Departamento de Física da FFCLRP – USP, em Ribeirão Preto, pelo suporte técnico e institucional ao longo desta pesquisa.

**Referências:**

- [1] Billena, C., & Khan, A. J. (2019). A current review of spatial fractionation: Back to the future? *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 104(1), 177–187.
- [2] Fernandez-Palomo, C.; Chang, S.; Prezado, Y.; et al: Should peak dose be used to prescribe spatially fractionated radiation therapy? – A review of preclinical studies. *Cancers*. V. 14, p. 3625, 2022. <https://doi.org/10.3390/cancers14153625>.
- [3] Gholami, S.; Nedaie, H.A.; Meigooni, A.S.: Precise EBT3 Gafchromic film dosimetry for GRID therapy. *Rad. Meas.* v.121, p. 69, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2018.11.008>.
- [4] Salvat, F., Fernández-Varea, J. M., & Sempau, J. (2009). *PENELOPE-2008: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport*. Barcelona.

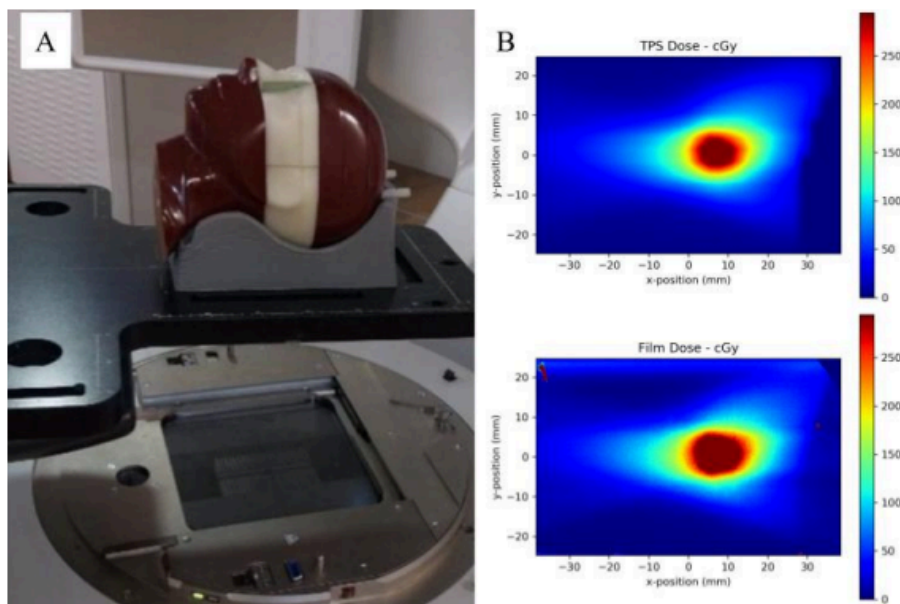
## Validação de Simulador Antropomórfico de Olho Impresso em 3D para Controle de Qualidade em Radioterapia de Feixe Externo

Fidelis A.<sup>1</sup>, Cardoso S.<sup>2</sup>, Da Rosa L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> André Luiz Espindola Fidelis, <sup>2</sup> Ufrj, <sup>3</sup> Ird/Cnen

**Resumo:** Os cânceres oculares, como o retinoblastoma e o melanoma de coróide, acometem principalmente a úvea e a retina [1,2]. No Brasil, foram registrados 2166 casos entre 2000 e 2016 [3]. A radioterapia é amplamente utilizada nestes cenários. Estudos relatam até 95,4% de controle local e 94,6% de preservação ocular com teleterapia por acelerador linear [4]. Simuladores antropomórficos tecido-equivalentes são utilizados para dosimetria em teleterapia. Em trabalho anterior, foram desenvolvidos simuladores com impressão 3D que possibilitam a dosimetria do aparelho óptico com técnicas termoluminescentes (TLD) e com filmes radiocrômicos [5]. Este estudo visa a validação desses simuladores através de dosimetria end-to-end para garantia de qualidade e pesquisa em teleterapia de tumores oculares.

**Materiais e métodos:** Para avaliação dosimétrica no volume-alvo e em órgãos em risco, foram utilizados filmes Gafchromic EBT3 e TLDs microcubo (LiF:Mg,Ti). A calibração dos dosímetros e as irradiações dos simuladores (Fig.1A) foram realizadas com um acelerador linear Varian TrueBeam com feixe de fótons de 6 MV. Os simuladores, acoplados ao phantom ATOM®, foram submetidos à tomografia para planejamento. A dosimetria com filmes, posicionados em um plano oblíquo ao longo do nervo óptico, foi realizada com o software Film2Dose [6] e comparada ao sistema de planejamento de tratamento (TPS) Varian Eclipse® por meio de análise gamma. TLDs também foram posicionados nessa região para verificação pontual da dose.



**Resultados e discussões:** Na análise dos filmes (Fig.1B), foram obtidas incertezas na dose da ordem de 3%. A análise gamma resultou em uma taxa média de aprovação de 99,9% (3%/3mm), 98,6% (critério TG-218: 3%/2mm) e 98,3% (2%/2mm). Os resultados com TLDs foram compatíveis em  $3\sigma$  com as doses do TPS, com discrepância máxima de 16%, atribuída principalmente à dose proveniente da tomografia cone beam, não considerada no TPS.

**Conclusões:** Os resultados preliminares indicam um desempenho promissor do simulador para dosimetria em radioterapia ocular. Melhorias no posicionamento dos dosímetros e na avaliação da dose, juntamente com testes dosimétricos adicionais, visam permitir a dosimetria em outros órgãos em risco, como o cristalino e o fundo de olho, e possibilitar sua implementação na garantia de qualidade clínica e em pesquisa.

**Agradecimento:** Agradecemos ao Hospital Quinta D’Or, no Rio de Janeiro, por tornar possível as medidas necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

**Referências:**

- [1] Cancer Research UK. Types of eye cancer. 2021.
- [2] NHS. Eye cancer. 2022.
- [3] LUCENA, E. et al. Epidemiology of uveal melanoma in Brazil. *International Journal of Retina and Vitreous*, BioMed Central, v. 6, n. 1, p. 1–8, 2020. 58.
- [4] Yilmaz, M.T., Sari, S.Y., Zorlu, F. et al. External Beam Radiotherapy in the Management of Uveal Melanoma. *Curr. Treat. Options in Oncol.* 25, 932–951 (2024).
- [5] A 3D Printing Based Anthropomorphic Eye Phantom Development. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, Rio de Janeiro, Brazil, v. 12, n. 4A (Suppl.), p. e2637, 2025.
- [6] ALVES, L.; GABRIEL, V. Film2Dose: a tool to assess uncertainty on film dosimetry using multi-channel optimization. In: ICARO2, 2017, Viena. *Book of Synopses*. Viena: IAEA, 2017. (IAEA-CN--250).

## **Simulação de difusão de nanopartículas metálicas na pele utilizando técnica Random Walk**

Carvalho F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fundacao Universidade Federal De Ciencias Da Saude De Porto Alegre

**Resumo:** As nanopartículas metálicas, como as de ouro, têm se destacado na Física Médica por seu potencial em diversas aplicações terapêuticas. Na teleterapia, podem atuar como sensibilizadores, aumentando o dano em regiões tumorais e diminuindo a dose absorvida em tecidos saudáveis. Ademais, no tratamento de carcinomas cutâneos, têm o potencial de contribuir para maior eficácia terapêutica, além de serem estudadas como vetores no transporte transdérmico de fármacos. No entanto, para garantir segurança e efetividade clínica, é fundamental compreender como ocorre sua difusão e em quais regiões da pele se acumulam. Para isso, foram realizadas simulações computacionais, considerando os coeficientes de difusão das camadas da pele (epiderme e derme), a fim de comparar os resultados com dados experimentais.

**Materiais e métodos:** As simulações foram realizadas utilizando a linguagem Python e bibliotecas de análise de dados. O modelo de difusão baseou-se na técnica Random Walk, implementada para representar o movimento estocástico das nanopartículas metálicas submetidas a um transporte passivo nas camadas da pele. Os coeficientes de difusão das camadas da epiderme e derme utilizados no modelo foram determinados a partir de estimativas acerca de dados da literatura, permitindo uma representação mais realista do comportamento das partículas na pele. Paralelamente, estão sendo realizadas medidas experimentais usando técnicas de feixes de íons, de forma a determinar os parâmetros chave para as simulações.

**Resultados e discussões:** O cenário de simulação considera três camadas da pele como regiões com diferentes coeficientes de difusão, representando a Stratum Corneum, o restante da epiderme e a derme. As dimensões são dadas como parâmetro inicial e a escala temporal relaciona-se com o passo do random walk. Assim, os resultados são analisados a partir de um histograma de distribuição das nanopartículas em profundidade.

**Conclusões:** Os resultados obtidos mostram que o método random walk é capaz de simular cenários de permeação de nanopartículas metálicas em pele. Dessa forma, esse tipo de análise é fundamental para o futuro da aplicação clínica dessas partículas, uma vez que permite identificar qual será sua concentração em profundidade, parâmetro fundamental para estimar a dose de radiação que será depositada no tumor.

**Agradecimento:** Agradeço à instituição UFCSPA pela infraestrutura para desenvolvimento do trabalho.

### **Referências:**

- [1] Zheng XJ, Chow JC. Radiation dose enhancement in skin therapy with nanoparticle addition: A Monte Carlo study on kilovoltage photon and megavoltage electron beams. *World J Radiol.* 2017 Feb 28;9(2):63-71. doi: 10.4329/wjr.v9.i2.63. PMID: 28298966; PMCID: PMC5334503.
- [2] Frasc HF. A random walk model of skin permeation. *Risk Anal.* 2002 Apr;22(2):265-76. doi: 10.1111/0272-4332.00024. PMID: 12022675.

## Influência do Ângulo de Colimador na verificação de dose em PSQA com Portal Dosimetry.

Krause R.<sup>1</sup>, Ferreira T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N/A

**Resumo:** A arcoterapia volumétrica modulada (VMAT) promoveu avanços em conformidade de dose à volumes alvo e preservação de órgãos de risco. O ICRU 83 recomenda, para planos de intensidade modulada, a avaliação do controle de qualidade paciente específico (PSQA). O TG 119 (AAPM) propõe a verificação de planos em conjuntos de estruturas que simulam regiões anatômicas no comissionamento de aceleradores lineares (ALs). Muitos ALs Varian possuem a tecnologia Portal Dosimetry (PD), que permite verificar a distribuição de dose num detector integrado. Devido a limitação de tamanho do detector, pode ser necessária a preparação do plano de verificação com giro de colimador. Esse trabalho investiga a influência dosimétrica no PSQA com diferentes ângulos de colimador pela análise de concordância Gama.

**Materiais e métodos:** Os conjuntos de estruturas do TG 119 “Multi Target” e “C-shape” foram otimizados com planejamento VMAT (Eclipse 15.6.8 - Acuros XB) em arco único para os ALs Varian TrueBeam e VitalBeam, com energia de 6 MV. Os objetivos do plano seguiram os objetivos de cobertura e restrições propostas pelo TG 119. Os planos de verificação foram preparados com ângulos de colimador entre 0 e 90°, em intervalos de 10°. A distribuição de dose foi calculada e medida no detector PD. As diferenças entre as análises Gama (2%/2mm) foram avaliadas para os diferentes ângulos e comparadas entre ambas as máquinas.

**Resultados e discussões:** No “Multi Target”, a porcentagem de concordância apresentou leve crescimento com o ângulo do colimador em ambos ALs (>1.5%). No “C-shape”, os valores apresentam menor flutuação (<0.5%) sem seguir nenhuma tendência específica. O comportamento similar em ambos ALs é esperado, pois possuem o mesmo detector, mas a variação entre planos indica uma dependência angular para algumas distribuições de dose.

**Conclusões:** Os resultados indicam que o preparo do PSQA com giro de colimador tem pouca influência na análise gama para casos com distribuições de dose concentradas como o “C-shape”. Para alvos alongados como o “Multi-Target”, o preparo da distribuição de dose na direção horizontal do detector pode apresentar um melhor resultado. A avaliação de outras distribuições e com detectores adicionais é indicada.

### Referências:

- [1] Prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT). ICRU Report83. J ICRU. 2010;10
- [2] Ezzell, G.A. e tal. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. Med. Phys., 36: 5359-5373 (2009). doi: 10.1118/1.3238104
- [3] Kim, Y.H. et al. Effect of the collimator angle on dosimetric verification of volumetric modulated arc therapy. Journal of the Korean Physical Society 67, 243–247 (2015). doi: 10.3938/jkps.67.243

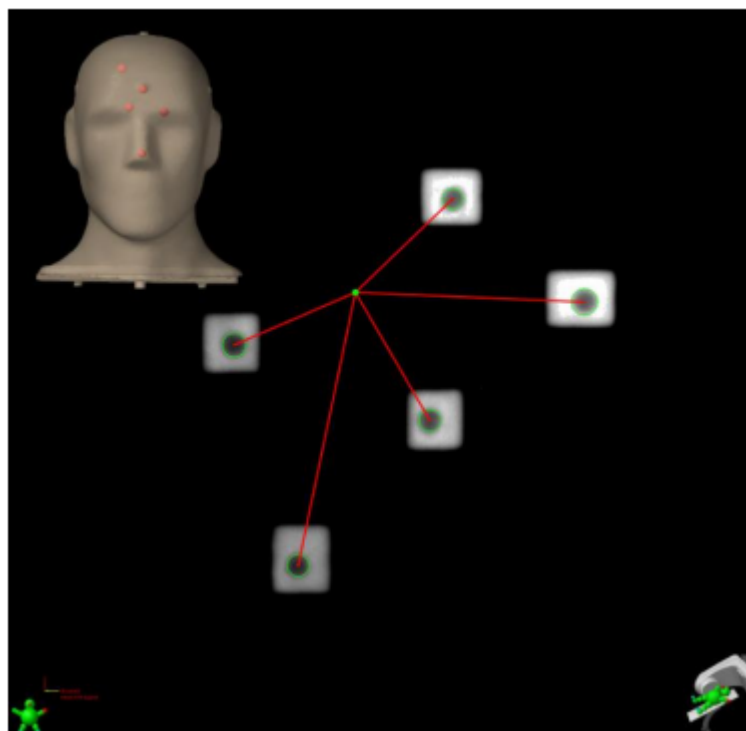
## Teste de Winston-Lutz de múltiplos focos para casos de metástases cerebrais com isocentro único

Cardoso C.<sup>1</sup>, Takara B.<sup>2</sup>, Corrêa A.<sup>2</sup>, Soares R.<sup>3</sup>, Mancini A.<sup>3</sup>, Neves Junior W.<sup>3</sup>, Haddad C.<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> Hospital Sírio Libanês, <sup>2</sup> Bruno Yukio Takara, <sup>3</sup> Hospital Sírio-Libanês, <sup>4</sup> Hospital Sírio Libanês Sp

**Resumo:** Radiocirurgia estereotáctica craniana (SRS) é uma modalidade de tratamento que entrega altas doses em pequenos volumes de tratamento. Mais recentemente a técnica vem sendo empregada utilizando apenas um único isocentro de tratamento, mesmo em casos de múltiplas lesões [1]. De modo a entregar um tratamento seguro, no entanto, a precisão dosimétrica e mecânica são aspectos de interesse que devem ser assegurados antes de cada tratamento. A técnica de Winston-Lutz[2,3] é uma medição consolidada que permite comparar o isocentro mecânico e isocentro radiativo. A coerência entre os mesmos garante um melhor controle espacial da entrega de dose. Neste trabalho introduzimos a técnica e análise de Winston-Lutz para medições fora do isocentro em fantoma de múltiplas lesões.

**Materiais e métodos:** Um phantom Steev End-to-End (Sun Nuclear) foi adaptado com encaixes em acrílico com três esferas metálicas, totalizando cinco pontos de interesse. A tomografia desse phantom foi adquirida. Um plano de aquisição de imagens foi criado combinando várias ângulos de gantry, colimador e mesa. Todas as medições foram realizadas na máquina TrueBeam. De modo a mimetizar um tratamento real e assegurar a posição do phantom na mesa do acelerador, uma imagem de feixe cônico foi obtida antes da realização da medição. Uma solução em Python foi criada para análise das imagens adquiridas, informando como resultado os desvios de posições de cada alvo em comparação com o arranjo esperado.

**Resultados e discussões:** Ao total, quatro incidências de gantry foram utilizadas ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ), três ângulos de colimador ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $270^\circ$ ) e três ângulos de mesa ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $270^\circ$ ). Todas as imagens foram tratadas utilizando as bibliotecas pydicom e open cv2. A análise preliminar indicam desvios entre as posições esperadas e medidas de no máximo de 0.16, 0.28 e 0.11 mm, na direção longitudinal, lateral e vertical.



**Conclusões:** Em comparação ao teste de Winston-Lutz tradicional empregar múltiplos focos de interesse permite a melhor avaliação da precisão geométrica em tratamentos com várias lesões em um único isocentro. A análise preliminar conclui que mesmo em cenários de múltiplas lesões os desvios de posição estão dentro dos limites de segurança.

**Referências:**

- [1] Roper, J., Chanyavanich, V., Betzel, G., Switchenko, J. and Dhabaan, A. (2015) Single-Isocenter Multiple-Target SRS: Risk of Compromised Coverage. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 93, 540-546. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2015.07.2262>
- [2] Lutz W, Winston KR, Maleki N. A system for stereotactic radio-surgery with a linear accelerator. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*.1988;14(2):135–140.
- [3] Eagle A, Tallhamer M, Keener J, Geneser S. A simplified and effective off-axis Winston–Lutz for single-isocenter multi-target SRS. *J Appl Clin Med Phys*. 2023; 24:e13816. <https://doi.org/10.1002/acm2.13816>

## Desenvolvimento de ferramenta computacional para ajuste automatizado de curvas de sobrevivência celular com nanopartículas de ouro

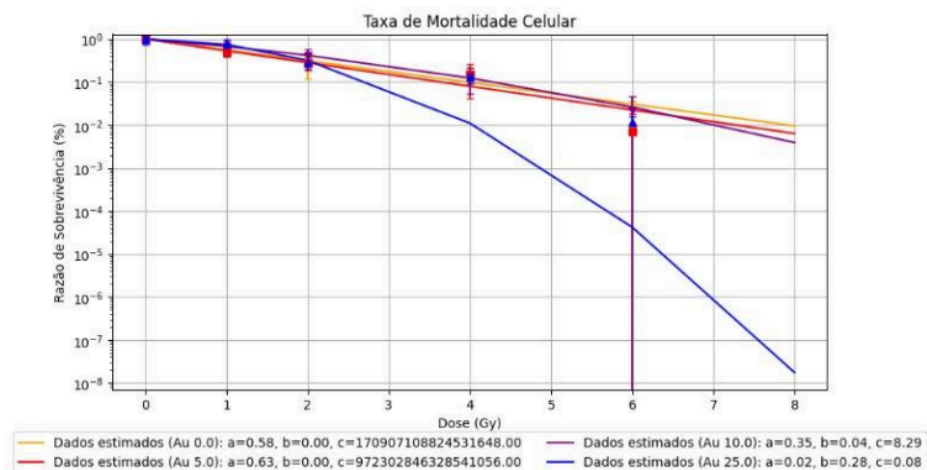
Irala G.<sup>1</sup>, Lucas A.<sup>2</sup>, De Oliveira J.<sup>2</sup>, Trombini H.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fundação Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre, <sup>2</sup> Ufcspa, <sup>3</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre

**Resumo:** O modelo linear-quadrático (LQ) é amplamente utilizado para descrever a resposta celular à radiação ionizante, por meio dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ , que refletem a radiosensibilidade [1]. A correta determinação desses parâmetros é essencial em estudos de radiosensibilização, como os que envolvem nanopartículas de ouro (GNPs), conhecidas por sua capacidade de potencializar os efeitos da radiação [2]. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para ajuste automatizado de curvas de sobrevivência celular com base no modelo LQ, aplicada a experimentos com GNPs.

**Materiais e métodos:** Foi desenvolvida uma ferramenta em Python para ajuste não-linear de curvas de sobrevivência celular ao modelo LQ ( $S = e^{(-\alpha D - \beta D^2)}$ ). Os dados de entrada são frações de sobrevivência clonogênica de células tratadas com GNPs e irradiadas com diferentes doses. A análise estatística considera múltiplas irradiações por dose. A média e o desvio padrão são utilizados para estimar sobrevivência, e valores experimentais acima de três desvios padrões são considerados outliers. O algoritmo aplica mínimos quadrados para extrair  $\alpha$ ,  $\beta$  e calcular  $\alpha/\beta$ , além de possibilitar a visualização de  $\chi^2$ . A interface permite comparar diferentes grupos experimentais, conforme ilustrado na Figura 1.

**Resultados e discussões:** A ferramenta foi aplicada a dados experimentais de células de glioblastoma tratadas com GNPs. Os parâmetros extraídos foram consistentes com a literatura [2] e evidenciaram aumento da radiosensibilidade devido à presença de GNPs. A inclusão de análise estatística por dose permitiu maior confiabilidade nos ajustes e o código demonstrou eficiência reduzindo o tempo de análise manual.



**Conclusões:** A ferramenta permite análise rápida e automatizada de curvas de sobrevivência celular, com extração precisa dos parâmetros LQ. Sua aplicação em estudos com GNP mostrou-se eficaz, contribuindo para análise da radiosensibilização. O código será implementado na forma de uma plataforma web open source.

**Agradecimento:** Agradeço à equipe de pesquisa, ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa de iniciação científica, e aos colaboradores envolvidos no fornecimento e análise dos dados experimentais com GNPs.

**Referências:**

- [1] McMAHON, S. J. The linear quadratic model: usage, interpretation and challenges. *Phys. Med. Biol.* 64 (2019): 01TR01.
- [2] GUERRA, D. B. et al. Intercomparison of radiosensitization induced by gold nanoparticles... *Sci. Rep.* 12, 9602 (2022)

## Aplicação da Braquiterapia em Equinos: Avaliação da Distribuição de Dose com o Uso do Código Monte Carlo MCNPX2.7.0

Teixeira M.<sup>1</sup>, Roso J.<sup>2</sup>, Santos W.<sup>3</sup>, Valença J.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Não Possui, <sup>2</sup> Pessoa Física, <sup>3</sup> Ufs, <sup>4</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufcspa

**Resumo:** A braquiterapia é uma modalidade de radioterapia na qual a fonte de radiação é colocada próximo ou dentro do tecido alvo, permitindo uma alta dose de radiação local com exposição reduzida das estruturas circunvizinhas. Em equinos, a braquiterapia pode ser utilizada no tratamento de neoplasias localizadas, como os melanomas, carcinomas e sarcoides, que são relativamente comuns, especialmente em regiões como a cabeça e pescoço (1–2). Nesse cenário, o uso de simulações computacionais, utilizando o código MCNPX2.7.0, permite estimar a distribuição da dose, contribuindo para o planejamento terapêutico seguro e eficaz. O objetivo deste trabalho é avaliar, via simulação computacional, a deposição de dose em diferentes estruturas de um equino submetido à braquiterapia.

**Materiais e métodos:** Para a elaboração dos cenários simulados, foi utilizado código de transporte de radiação MCNPX2.7.0 (3) e um phantom computacional de equino com mais de 23 estruturas anatômicas distintas, representando órgãos e tecidos relevantes para análise dosimétrica. As sementes radioativas empregadas contém Ir-192 ou Co-60, utilizadas em tratamentos de braquiterapia devido às suas características físicas. A fonte foi posicionada acima da região do globo ocular direito, simulando tratamento de sarcoide periorbital. A partir desse posicionamento e uso da Tally F8 (MeV/desintegração), foi possível avaliar a distribuição da energia depositada nas estruturas adjacentes.

**Resultados e discussões:** Resultados preliminares confirmaram a dependência da deposição de dose com a distância em relação à posição da semente. Os valores obtidos para o cristalino foram de  $1,02 \times 10^{-5}$  mGy/MBq.s para o Ir-192 e  $6,31 \times 10^{-5}$  mGy/MBq.s para o Co-60. Para órgãos vizinhos, percebeu-se uma maior deposição para o Co-60, o que também reflete seu perfil de desintegração distinto em relação à semente com Ir-192.

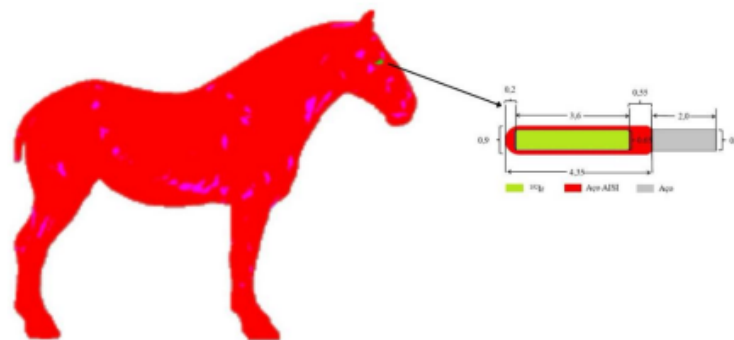


Figura 1: Posicionamento da semente de Ir-192 na região periorbital do phantom computacional de equino (valores em mm).

**Conclusões:** A braquiterapia com Ir-192 apresenta altas taxas de controle, sucesso e segurança em sarcoides periorbitais em equinos (4-5). Embora o Co-60 tenha maior deposição de dose, a menor energia do Ir-192 garante melhores resultados e preservação de tecidos saudáveis.

justificando sua predominância. O uso de simulações computacionais se mostra relevante na tentativa de otimizar a dosimetria e a segurança.

**Referências:**

- [1] Théon AP. Iridium-192 interstitial brachytherapy for equine periocular tumours: treatment results and prognostic factors in 115 horses. *Vet Radiol.* 1995.
- [2] Mudge MC, Green E. Radiotherapy in Equine Practice. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2024 Dec;40(3):397-408. doi: 10.1016/j.cveq.2024.07.005. Epub 2024 Aug 21. PMID: 39168750.
- [3] Pelowitz DB, et al. MCNPX User's Manual Version 2.7.0. Los Alamos National Laboratory Report LA-CP-11-00438. 2011.
- [4] Hollis AR, et al. Initial experience with high dose rate brachytherapy of periorbital sarcoids in the horse. *Equine Vet Educ.* 2018.
- [5] Walker LM. Iridium-192 brachytherapy for equine sarcoid, one and two year remission rates. *Vet Radiol.* 1991.

## Caracterização e Controle de Qualidade da Fonte de Raios-X de um Irradiador de Sangue de um Hemocentro

De Garcia A.<sup>1</sup>, Itikawa E.<sup>2</sup>, De Araújo V.<sup>2</sup>, De Araújo F.<sup>3</sup>, Macedo K.<sup>3</sup>, Santos R.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Amanda Alencar Arrais De Garcia, <sup>2</sup> Universidade Federal De Goiás, <sup>3</sup> Accg Araújo Jorge, <sup>4</sup> Fis.Com Assessoria Em Física S/S Ltda

**Resumo:** A transfusão sanguínea, em certos casos, exige o uso de irradiadores para prevenir a Doença do Enxerto Contra o Hospedeiro Transfusional (DECH-T)<sup>1</sup>, condição grave em pacientes imunocomprometidos. Esses equipamentos inativam linfócitos via radiação, historicamente gerada por fontes radioativas. Recentemente, modelos com tubo de raio X vêm sendo adotados no Brasil, com apoio do governo dos EUA<sup>2</sup> — como no Hospital Araújo Jorge, em Goiânia. Trata-se de uma tecnologia emergente, com lacunas na literatura quanto à caracterização desses irradiadores e à padronização de protocolos. Este trabalho objetiva caracterizar o feixe do irradiador por TLDs, comparar os resultados com acelerador linear e propor protocolo de controle de qualidade para o irradiador de sangue.

**Materiais e métodos:** O estudo foi conduzido no Hospital Araújo Jorge com o irradiador RS-3400, acelerador Clinac Varian 2100C/D e 50 TLDs. A calibração dos dosímetros incluiu etapas de zero counts, sensibilidade do leitor, sensibilidade individual e calibração do sistema. As irradiações foram realizadas em phantom cilíndrico, com leituras no TLD Cube após aquecimento no TLD Heat. A caracterização do feixe considerou análise de múltiplas medidas e envolveu taxa de dose, uniformidade e energia média<sup>3,4,5</sup>. O controle de qualidade segue normas nacionais<sup>6,7</sup> e literatura<sup>8</sup>, com comparação dosimétrica com acelerador linear.

**Resultados e discussões:** A caracterização do RS-3400 demonstrou dose uniforme e valores consistentes em medições repetidas sob mesmas condições. A comparação dosimétrica com LINAC reforça a confiabilidade do equipamento. O protocolo de controle de qualidade garante segurança, eficácia e conformidade com normas, potencializando uso clínico seguro e padronizado.



**Conclusões:** O estudo avançou na adoção segura de tecnologias não radioativas em hemocentros, com a caracterização do RS-3400 e controle de qualidade. A metodologia garantiu a conformidade com os padrões por meio da caracterização, gerando protocolo alinhado à normas nacionais, viabilizando o uso clínico e apoiando futuras instalações no combate à DECH-T.

**Agradecimento:** Agradeço ao meu orientador, Prof.º Dr. Emerson Nobuyuki Itikawa, pelo apoio e orientação fundamentais ao longo deste projeto. Ao Instituto de Física da UFG e ao Hospital Araújo Jorge, pela infraestrutura e oportunidade de aprendizado. Sou grata à equipe do ACCG pelo acolhimento e colaboração. Por fim, agradeço a Deus e à minha família.

**Referências:**

- [1] Moroff, G. & Luban, N. L. The irradiation of blood and blood components to prevent graft-versus-host disease: technical issues and guidelines. *Transfus Med Rev* 11, 15–26 (1997).
- [2] NRC: Package ML16363A074 -SECY-17-0020: The U.S. Nuclear Regulatory Commission Implementation Plan for the Radiation Source Protection and Security Task Force Report.
- [3] Koop Wagner, J., Dillon, J. A., Blythe, E. K. & Ford, J. R. Dose characterization of the Rad Source™ 2400 X-ray irradiator for oyster pasteurization. *Appl Radiat Isot* 67, 2 (2009).
- [4] Grasso, S. et al. Absorbed dose evaluation of a blood irradiator with alanine, TLD-100 and ionization chamber. *Appl Radiat Isot* 200, 110981 (2023).
- [5] Mehta, K. Technical Specification For An X-Ray System For The Irradiation of Insects For The Sterile Insect Technique and Other Related Technologies. IAEA (2017)
- [6] Brazilian Health Regulatory Agency (ANVISA). Resolução RDC nº 34. Boas práticas no ciclo do sangue. 11 de junho de 2014.
- [7] Comitê Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Resolução NN 6.16. Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Irradiadores de Sangue e Hemocomponentes. 03 de janeiro de 2024.
- [8] Lopes, F. et al. Quality control in blood irradiation. *Braz. J. Radiat. Sci.* 11, 01–17 (2023).

## Simulações da técnica radioterápica VMAT utilizando TOPAS MC: Metodologia e Perspectivas para Aplicações Clínicas

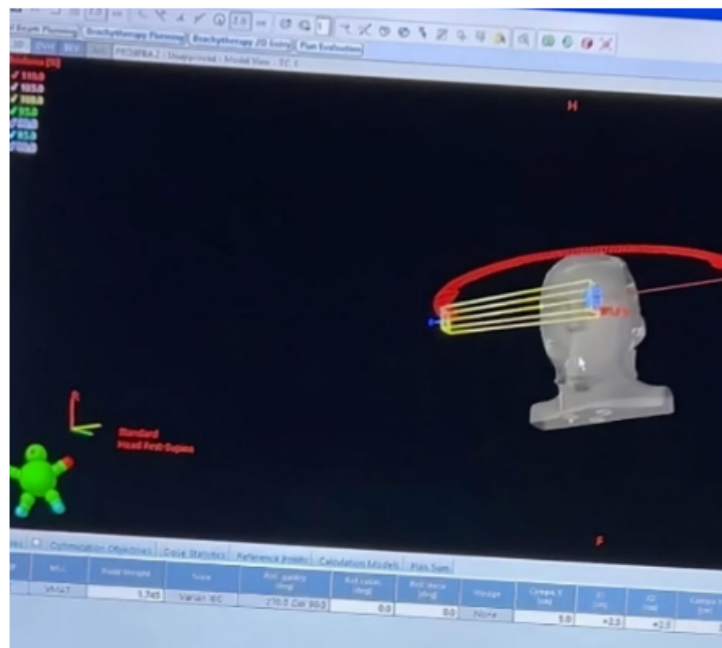
Belinato T.<sup>2</sup>, Da Silva R.<sup>2</sup>, Lalic S.<sup>3</sup>, Silva F.<sup>4</sup>, Santos W.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Tiago Ramos Borba, <sup>2</sup> Ifba-Campus Vitória Da Conquista, <sup>3</sup> Universidade Federal De Sergipe, <sup>4</sup> Pessoa Física, <sup>5</sup> Ufs

**Resumo:** A radioterapia de intensidade modulada (VMAT) permite alta conformação de dose, reduzindo toxicidade em tecidos saudáveis [1]. Porém, sua complexidade exige validações precisas, especialmente em relação a modulação do feixe (movimento de MLC, gantry e taxa monitora em cada ponto de irradiação). Simulações Monte Carlo (MC) são padrão-ouro para modelagem física. O TOPAS MC, uma plataforma baseada no Geant4, oferece ferramentas para simular geometrias complexas e movimentos dinâmicos com alta precisão [3]. Este trabalho visa validar um modelo virtual de acelerador linear para VMAT, destacando metodologias replicáveis para cenários clínicos brasileiros.

**Materiais e métodos:** O equipamento Varian CX foi modelado com feixe de fótons de 6 MV. A geometria do gantry foi implementada no TOPAS MC considerando a fonte de fótons, colimadores multilâmina (MLC) e o movimento dinâmico [5]. A fonte de fótons foi definida com espectros de energia disponíveis na literatura. O feixe foi validado em um fantoma de água com dimensões de  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$  (PDD e perfis laterais), empregando uma câmara de ionização. As simulações foram realizadas utilizando a discretização angular no TOPAS MC. A Figura 1 apresenta os pontos de irradiação do sistema de planejamento (TPS) entre  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , com 114 pontos de irradiação, em torno do centro de um fantoma de cabeça construído em ABS.

**Resultados e discussões:** A modelagem do Varian CX e a calibração inicial do espectro foram realizadas com sucesso. Simulações estáticas mostraram  $d_{\text{máx}}$  próximo de 1,5 cm no modo FFF, o que está de acordo com os dados experimentais. Os códigos para simulações VMAT foram implementados, prevendo testes dinâmicos. O TOPAS MC mostrou-se promissor para uso clínico e estimativas de dose em tecidos sadios próximos ao tecido alvo.



**Conclusões:** A metodologia proposta fornece um framework para validação de simulações VMAT com TOPAS MC. Resultados preliminares apresentam boa precisão na modelagem estática de feixe, futuros estudos incluirão dinâmica de MLC e validação experimental completa. Este trabalho contribui para estudos de estimativas de dose em tecidos adjacentes em tratamentos radioterápicos utilizando técnica de feixe modulado.

**Agradecimento:** Agradecemos ao IFBA de Vitória da Conquista pelo apoio, a FAPESB, ao CNPq pelo fomento e ao Instituto do Câncer do Ceará pelo acesso aos dados técnicos.

**Referências:**

- [1] Rodríguez M, Brualla L. Clinical implementation and accuracy evaluation of PRIMO for complex techniques like VMAT.
- [2] Rodríguez M, Brualla L. Comparing Monte Carlo simulations with TOPAS and GATE for photon beam dosimetry..
- [3] Manik JT, et al. Validation of Varian Clinac iX Model on 6 MV Photon Beam Using Fast Monte Carlo Simulation. JITEKI - Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika. 2023;9(4):951–958.
- [4] Chibani O, Ma C-M. On the discrepancies between Monte Carlo dose calculations and measurements for the 18-MV photon beam of a Varian Clinac. Med Phys.
- [5] Costa AM, et al. Validação do modelo computacional Monte Carlo para simulação de feixe clínico 6 MV do Varian Clinac utilizando o código TOPAS.

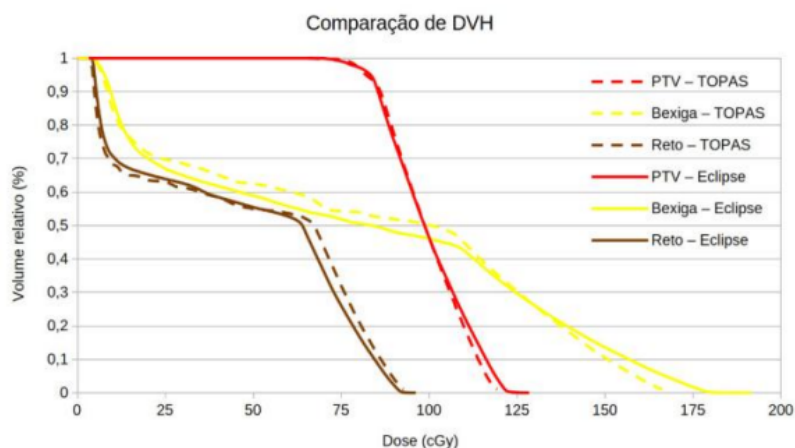
## Comparação de DVH obtido no TPS Eclipse com Simulação de Monte Carlo para um Campo de IMRT

De Vasconcelos T.<sup>1</sup>, Do Nascimento L.<sup>2</sup>, Da Rosa L.<sup>3</sup>, Cardoso S.<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> Instituto De Radioproteção E Dosimetria - Ird, <sup>2</sup> Inca, <sup>3</sup> Ird/Cnen, <sup>4</sup> Ufrj

**Resumo:** As técnicas de modulação de intensidade na teleterapia com fótons, como IMRT, são mais versáteis do que técnicas 3D [1]. Nelas, a colimação do feixe usando MLCs altera a fluência dos fótons dinamicamente durante o tratamento. Simulações usando Monte Carlo (MC) podem ser úteis para comparação, validação e planejamento de situações clínicas. Para 3D, poucos campos de irradiação são considerados, mesmo que se use o método de Field in Field. Contudo, técnicas de planejamento inverso podem apresentar centenas de pontos de controle (PCs) para cada campo ou arco. Assim, um único campo IMRT com 79 PCs equivale a 79 campos 3D. O objetivo deste trabalho foi reproduzir o movimento discretizado do MLC de um campo IMRT em uma simulação de MC, utilizando o código TOPAS [2], com um fantoma simples.

**Materiais e métodos:** No Eclipse, versão 13.6, usando o algoritmo de cálculo AAA, versão 13.6.23, foi planejado um campo IMRT usando o feixe 6 MV do Acelerador Linear Clinac 600C. O campo foi planejado para um simulador pélvico de água com estruturas delineadas semelhantes a uma situação de tratamento de próstata. O mesmo simulador foi construído no TOPAS, junto com uma geometria de colimação com lâminas paralelepípedicas simulando um MLC Millenium 120 [4]. Os pontos de controle discretizados dos MLCs foram exportados do Eclipse, manipulados e implementados no TOPAS. Para o feixe, foi usado o espaço de fase disponibilizado pela IAEA [5]. Os Dose-Volume Histograms (DVHs) planejados e simulados foram comparados.

**Resultados e discussões:** O espaço de fase foi validado para o feixe em PDP e perfil lateral. Os PCs exportados do TPS foram convertidos em parâmetros de Time Feature do TOPAS usando Python. Com isso, o TOPAS foi capaz de reproduzir a posição das lâminas do MLC para cada PC. A figura apresenta a comparação dos DVHs planejado e simulado. A dose foi normalizada para 100 cGy no voxel central no MC e no isocentro no TPS.



**Conclusões:** Foi possível exportar os PCs de campos IMRT do TPS Eclipse para implementação em simulação. O DVH obtido é preliminar, mas mostra que o método é promissor. Espera-se que, uma vez validada, essa verificação por MC sirva como uma análise adicional para o cálculo de dose em pacientes reais. Investigações futuras aprimorarão a implementação das informações do plano no TOPAS e o tempo de simulação.

**Agradecimento:** À CNEN, pela bolsa de mestrado do IRD; ao INCA, por fornecer os dados necessários do Clinac 600C para validação e por disponibilizar os planejamentos para comparação com as simulações; e ao Laboratório da Radiação Gama e X (LAFRAG, IF-UFRJ), por disponibilizar o uso dos computadores para as simulações.

**Referências:**

- [1] Khan, F.; Gibbons, J. Khan's The physics of Radiation Therapy. Fifth Edition. Wolters Kluwer, 2014.
- [2] Perl, J. et al. TOPAS: an innovative proton Monte Carlo platform for research and clinical applications. Med Phys. 2012; 39(11):6818- 37.
- [3] Faddegon, B. et al. The TOPAS Tool for Particle Simulation, a Monte Carlo Simulation Tool for Physics, Biology and Clinical Research, Physica Medica, doi:10.1016/j.ejmp.2020.03.019.
- [4] Kandlakunta, P. et al. Characterizing a Geant4 Monte Carlo model of a multileaf collimator for a TrueBeam™ linear accelerator. Physica Medica, v. 59, p. 1-12, 2019.
- [5] IAEA. Phase-space database for external beam radiotherapy. Disponível em: <https://www-nds.iaea.org/phsp/photon1/>. Último acesso: 12/05/25, 07:57.

## Comparação de planos VMAT para colo de útero entre Trilogy, TrueBeam e Halcyon, com feixes de 6 MV e 6 FFF

Da Silva M.<sup>1</sup>, De Mattos F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maria Ancila Da Silva

**Resumo:** O câncer de colo de útero é a quarta neoplasia maligna mais comum entre mulheres, podendo ser tratado com cirurgia, braquiterapia ou radioterapia externa (EBRT), a depender do estadiamento. Na EBRT com VMAT, é essencial alta precisão na cobertura do volume-alvo e proteção dos órgãos de risco (OARs). Com o advento de novas tecnologias, tornou-se importante entender a eficiência dos tratamentos e entrega de dose em diferentes aceleradores lineares. Cada sistema possui características técnicas distintas e, a possibilidade de utilização de feixes sem filtro de aplanamento, podem impactar no tempo de tratamento, qualidade dos planejamentos e na dose recebida pelos órgãos de risco, além das variáveis que influenciam a conformidade e homogeneidade dos planos.

**Materiais e métodos:** O estudo é baseado em 10 pacientes previamente tratados. A técnica de planejamento utilizada foi VMAT, simulando tratamento nos três aceleradores: Trilogy (6 MV, 2 arcos), TrueBeam (6 MV e 6 FFF, 2 arcos), Halcyon (6 FFF com 2 e 3 arcos). Os planos foram otimizados no sistema eclipse versão 16.1 com algoritmo AAA\_1612, visando cobertura de 95% do volume do PTV recebendo 100% da dose de prescrição. Foram analisados parâmetros como D<sub>méd.</sub>, D<sub>2%</sub>, D<sub>98%</sub>, índice de conformidade, homogeneidade e gradiente para o PTV, além de doses máximas e médias nos OARs e nos anéis de controle de dose 1 e 2. Também foram comparados número de unidades monitoras (MU) e tempo estimado de entrega de tratamento.

**Resultados e discussões:** O Halcyon 2ARC apresentou os menores tempos de entrega de dose, porém com maior MU. O Halcyon 3ARC obteve os melhores índices de conformidade e homogeneidade, com dose mais uniforme no PTV. O TrueBeam 6FFF teve bom desempenho dosimétrico e o Trilogy mostrou-se mais variável nos índices analisados. A dose nos OARs foi satisfatória, com destaque para o Halcyon 3ARC.

**Conclusões:** Todos os aceleradores se apresentaram de maneira satisfatória na execução dos planos, com destaque para o Halcyon 3ARC, que apresentou melhor qualidade dosimétrica, enquanto o Halcyon 2ARC destacou-se pela maior eficiência de tempo, ideal para alta demanda. O TrueBeam 6FFF mostrou bom equilíbrio entre qualidade de plano e eficiência na entrega de dose.

### Referências:

- [1] HANLEY, Joseph et al. AAPM Task Group 198 report: an implementation guide for TG 142 quality assurance of medical accelerators. *Medical Physics*, [S.l.], v. 49, n. 7, p. 4511–4526, July 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/mp.15609>.
- [2] MORRIS, Stephen; ROQUES, Tom; AHMAD, Shahreen; LOO, Suat. *Practical Radiotherapy Planning*. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. 474 p. ISBN 9781138045972.

## Margens de PTV em câncer de próstata utilizando IGRT: Rotação, inclinação e rolagem são parâmetros relevantes no cálculo das margens?

Pinto G.<sup>1</sup>, Pereira D.<sup>2</sup>, Da Rosa L.<sup>3</sup>, Cardoso S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Gabriela Moreira Pinto, <sup>2</sup> Dirceu Dias, <sup>3</sup> Ird/Cnen, <sup>4</sup> Ufrj

**Resumo:** A radioterapia usa radiação ionizante para tratar o câncer, sendo essenciais a precisão, a exatidão da dose no volume alvo e a proteção dos tecidos sadios [1]. Erros sistemáticos e aleatórios podem comprometer o tratamento, mas a IGRT e a mesa 6D permitem corrigi-los [2,3]. Os volumes na radioterapia são definidos com margens. O GTV é o tumor visível; o CTV inclui o GTV e extensões microscópicas e o PTV inclui o CTV com margens que compensam deslocamentos por erros de posicionamento e movimentação dos órgãos, garantindo que 90% do volume receba 95% da dose prescrita [4]. Essas margens podem ser calculadas pela fórmula de Van Herk [5,6], que considera apenas deslocamentos ortogonais. Este estudo visa incorporar as variáveis angulares obtidas com a mesa 6D no cálculo de margens do PTV.

**Materiais e métodos:** Foram analisados 12 pacientes submetidos ao tratamento hipofracionado do câncer de próstata, com um total de 240 tomografias computadorizadas de feixe cônico realizadas durante as sessões de radioterapia. A partir dessas imagens, foram extraídos os deslocamentos dos pacientes nos eixos ortogonais e angulares. Com esses dados, calcularam-se os erros sistemáticos ( $\Sigma$ ), definidos pelo desvio padrão das médias dos erros de posicionamento em relação à média da população, e os erros aleatórios ( $\sigma$ ), obtidos pelo desvio padrão dos erros de posicionamento em torno da média individual de cada paciente. Os valores de  $\Sigma$  e  $\sigma$  foram aplicados na fórmula de Van Herk [5,6] para estimar as margens do PTV.

**Resultados e discussões:** Os valores de  $\Sigma$  foram 0,21 cm, 0,18 cm e 0,19 cm, e, de  $\sigma$ , 0,42 cm, 0,34 cm e 0,29 cm, nos eixos X, Y e Z, respectivamente. Com esses valores, as margens calculadas para o PTV foram de 0,82 cm, 0,68 cm e 0,69 cm nos eixos X, Y e Z, respectivamente. Espera-se que a inclusão dos dados angulares altere as incertezas geométricas, permitindo margens menores e maior preservação dos tecidos sadios.

**Conclusões:** Foram calculados  $\Sigma$  e  $\sigma$  para estimar as margens do PTV em pacientes com câncer de próstata em RT hipofracionada. Embora em fase inicial, espera-se que essa abordagem permita margens menores com segurança, aumentando a precisão e preservando os tecidos sadios. Investigações futuras incluirão variáveis angulares, que não são contempladas na fórmula de Van Herk [5,6], com mesas 6D e sistemas IGRT.

### Referências:

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. O que é radioterapia? Rio de Janeiro: INCA, [s.d.].
- [2] FURNARI, L.; FAIRBANKS, L. R. Radioterapia guiada por imagem. Rev. Bras. Fís. Méd., v. 13, n. 1, p. 99-108, 2019.
- [3] CARVALHO, A. C. de. IGRT e a relevância para tratamentos radioterápicos. Instituto Nacional de Câncer, 2022.
- [4] ICRU REPORT 62. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. Bethesda, 1999.
- [5] VAN HERK, M. Errors and margins in radiotherapy. Semin. Radiat. Oncol., 2004, p. 52-64.
- [6] MCKENZIE, A. L.; VAN HERK, M.; MIJNHEER, B. The width of margins in radiotherapy. Phys. Med. Biol., v. 45, n. 11, p. 3331, 2000

## **Análise do Risco de Câncer Secundário Após Radioterapia Conformacional e Modulada na Ablação Ovariana**

Míoto L.<sup>1</sup>, Pavoni J.<sup>2</sup>

<sup>1 2</sup> Juliana Fernandes Pavoni

**Resumo:** Aprimoramentos na conformação da dose permitiram o uso da radioterapia em condições benignas, mas riscos e benefícios devem ser claros para justificar a exposição.<sup>1</sup> A Ablação Ovariana (AO) consiste em irradiar ovários para suprimir estrogênio e progesterona, reduzindo neoplasias hormônio-dependentes no câncer de mama. A AO também pode ser cirúrgica ou medicamentosa.<sup>2,3</sup> Este estudo avalia teoricamente os riscos de câncer secundário induzido pela radioterapia na AO. Uma análise de escopo mostrou que, embora a eficácia da AO por RT esteja comprovada, faltam pesquisas atuais com enfoque em novas tecnologias visando minimizar efeitos em tecidos saudáveis adjacentes.

**Materiais e métodos:** Com simulações de TC pélvica de sete pacientes do HC Ribeirão Preto (ética aprovada) e sistema Eclipse (Varian), foram planejadas as técnicas 3DRT (4 campos), IMRT (7 campos) e VMAT (2 arcos). Delinearam-se ovários (PTV), útero, bexiga, cólon e reto (OAR). Utilizou-se feixe de 6MV, algoritmo AAA (v16.1.2) e 20 Gy em 10 frações, com 95% do PTV recebendo 100% da dose. A distribuição nos OAR foi obtida do DVH, analisada com o modelo de Schneider<sup>3</sup> (OED), aplicando modelo mecanicista com repopulação para bexiga e reto, e linear para útero e cólon. Calculou-se então o risco de câncer secundário<sup>4</sup> (EAR).

**Resultados e discussões:** A partir dos dados de DVH diferencial, foram obtidos valores de OED (cGy) e EAR (por 10<sup>4</sup> pessoas-ano) para bexiga, reto, cólon e útero, considerando as técnicas 3DRT, IMRT e VMAT. Observou-se redução geral nos valores de OED e EAR nas técnicas IMRT e VMAT frente à 3DRT. Para a bexiga, por exemplo, OED foi de 46.78 cGy (3DRT) para 45.99 cGy (VMAT) e EAR de 1.21 para 1.08.

**Conclusões:** A análise dos valores de OED e EAR sugere uma tendência de menor risco associados às técnicas IMRT e VMAT, quando comparadas à 3DRT, para os órgãos avaliados. Esses resultados reforçam o potencial benefício das técnicas moduladas na preservação dos tecidos saudáveis, considerando esses dados preliminares.

### **Referências:**

- [1] Hughes, L. L., et al.(2004). Efficacy of Radiotherapy for Ovarian Ablation – Results of a Breast Intergroup Study. ACS American Cancer Society, 101(5), 969-972.
- [2] Bese, N. S., et al.(2009). Ovarian Ablation by radiation therapy: Is it still an option for the ablation of ovarian function in endocrine responsive premenopausal breast cancer patients? The Breast, 18(5), 304-308.
- [3] Schneider, U., et al.(2011). Site-specific dose-response relationships for cancer induction from the combined Japanese A-bomb and Hodgkin cohorts for doses relevant to radiotherapy. Theoretical Biology and Medical Modelling, 8(1), 27.
- [4] Mazonakis, M., et al.(2020). Secondary bladder and rectal cancer risk estimates following standard fractionated and moderately hypofractionated VMAT for prostate carcinoma.

## Tratamentos VMAT em mama ultra hipofracionados DIBH com feixes FFF

Lopes E.<sup>1</sup>, Ferreira I.<sup>2</sup>, Fernandes A.<sup>3</sup>, Da Silva L.<sup>3</sup>, Dumaszk F.<sup>4</sup>, Pavoni J.<sup>5</sup>, Da Silva D.<sup>6</sup>, Neto E.<sup>7</sup>  
<sup>1</sup> Pesquisa, <sup>2</sup> Isadora Ferreira, <sup>3</sup> Ana Clara Sampaio Fernandes, <sup>4</sup> Hospital Da Bahia, <sup>5</sup> Juliana Fernandes Pavoni, <sup>6</sup> Fundação Pio Xii - Hospital De Amor, <sup>7</sup> Hospital De Amor De Barretos - Sp

**Resumo:** Na radioterapia de mama, são consolidados os fracionamentos convencional, hipofracionado e, mais recentemente, o ultra-hipofracionado, como no FAST-Forward (26 Gy em 5 frações de 5,2 Gy). Não há dose limiar abaixo da qual os efeitos cardíacos tardios não ocorram, tornando essencial minimizar a dose no coração sem comprometer a cobertura do volume alvo. A técnica "deep inspiration breath hold" DIBH afasta a parede torácica do coração, reduzindo a dose cardíaca, embora possa gerar incômodo. Assim, é importante reduzir o tempo total de tratamento. Este trabalho avalia se o uso do feixe 6MV FFF pode diminuir significativamente o tempo, mantendo a segurança na dose entregue à pele, pulmão ipsilateral e coração.

**Materiais e métodos:** Foram analisados os planos de radioterapia de 15 pacientes femininas com câncer de mama, submetidas ao regime de fracionamento FAST-Forward. Os planos foram realizados com a técnica de planejamento VMAT no sistema de planejamento Eclipse da Varian, com o algoritmo de cálculo de dose AcurosXB, no acelerador linear VitalBeam. Para cada paciente foram realizados planos em duas energias de feixes: 6MV (taxa de dose máxima de 600 MU/min) e 6MV FFF (taxa de dose máxima de 1400 MU/min). Os planos foram otimizados utilizando os mesmos parâmetros de otimização. Análises estatísticas com o teste de Wilcoxon para comparar entre os planos 6MV e 6MV FFF com relação aos parâmetros da imagem anexada.

| Órgãos de Risco                 | Parâmetros             | 6MV FF  |        | 6MV FFF |        | p-valor |
|---------------------------------|------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|
|                                 |                        | Media   | ± DP   | Media   | ± DP   |         |
| Pele                            | Dmax                   | 27,47   | 0,87   | 27,85   | 0,69   | 0,017   |
|                                 | Dmedia                 | 20,37   | 0,97   | 20,76   | 0,78   | 0,006   |
|                                 | D50%                   | 22,15   | 0,82   | 22,46   | 0,93   | 0,298   |
|                                 | Dmin                   | 5,69    | 0,92   | 5,79    | 0,99   | 0,483   |
| PTV                             | D98%                   | 24,10   | 0,72   | 23,97   | 1,46   | 0,124   |
|                                 | D95%                   | 95,00   | 0,00   | 95,00   | 0,00   | N       |
|                                 | D50%                   | 25,96   | 0,46   | 26,10   | 0,43   | 0,135   |
|                                 | D2%                    | 26,79   | 0,61   | 27,15   | 0,60   | 0,026   |
|                                 | Dmax                   | 27,89   | 0,79   | 28,45   | 0,65   | 0,016   |
|                                 | Dmin                   | 15,91   | 5,92   | 15,76   | 5,52   | 0,764   |
|                                 | V27,3Gy (%)            | 2,16    | 4,92   | 7,64    | 19,37  | 0,036   |
|                                 | V27,8Gy (%)            | 0,31    | 0,97   | 1,41    | 3,92   | 0,084   |
| Body                            | Vol. Dose 100% (cc)    | 428,14  | 387,14 | 502,64  | 351,11 | 0,1     |
|                                 | IH                     | 10,31   | 4,16   | 12,16   | 5,95   | 0,273   |
|                                 | IC                     | 0,44    | 0,32   | 0,54    | 0,24   | 0,098   |
| Pulmao IPSI                     | V8Gy ≤ 15(17)%         | 11,29   | 3,01   | 11,29   | 3,64   | 0,897   |
|                                 | Dmedia (Gy)            | 3,52    | 0,47   | 3,91    | 1,25   | 0,615   |
| Coracao                         | V7Gy ≤ 5%              | 0,51    | 1,32   | 0,90    | 1,29   | 0,674   |
|                                 | V1,5Gy ≤ 25%           | 11,06   | 8,54   | 11,58   | 8,79   | 0,491   |
| Características do Planejamento | Taxa Dose Max. (UMMin) | 600,00  | 0,00   | 1400,00 | 0,00   | 0,001   |
|                                 | # Arcos                | 4,00    | 0,52   | 4,13    | 0,52   | N       |
|                                 | UM total               | 1835,66 | 266,38 | 2044,17 | 261,10 | 0,003   |
|                                 | beam-on time           | 3,05    | 0,51   | 1,66    | 0,18   | 0       |
|                                 | MDR (MU/min)           | 592,71  | 21,67  | 1236,09 | 171,94 | 0,001   |
|                                 | Gantry speed (deg/s)   | 2,84    | 0,51   | 4,72    | 0,75   | 0       |

**Resultados e discussões:** Planos 6MV FFF reduziram o tempo de irradiação em relação aos planos 6 MV (1,66 min vs. 3,05 min, respectivamente;  $p < 0,001$ ) e a dose média (20,37 vs.

20,76, respectivamente;  $p=0,006$ ) na pele. No PTV, D2% e Dmax foram maiores com 6MV FFF. Índices de homogeneidade e conformidade não diferiram. Para pulmão ipsilateral e coração, não houve diferenças nas doses médias ou volumes irradiados.

**Conclusões:** Apesar da semelhança nos perfis dosimétricos, houve uma redução considerável no tempo de tratamento com o uso de 6MV FFF, o que permite tratamentos mais rápidos, com maior conforto às pacientes e diminuindo atrasos na rotina de tratamento.

**Referências:**

- [1] RUDAT, V.; SHI, Y.; ZHAO, R.; YU, W. Accuracy and potential improvements of surface-guided breast cancer radiotherapy in deep inspiration breath-hold with daily image-guidance. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, v. 25, n. 6, e14271, 25 jan. 2024. DOI: 10.1002/acm2.14271.
- [2] AKHTARUZZAMAN, Md; ISLAM, Md Jobairul; MANNAN, Md Abdul; SUMON, Mostafa Aziz; EBERT, Martin. Delivery of a VMAT technique with flattening filter (FF) and flattening filter free (FFF) mode for whole breast irradiation with five fractions (FAST-Forward
- [3] PASTORE, Francesco; CONSON, Manuel; D'AVINO, Vittoria; PALMA, Giuseppe; LIUZZI, Raffaele; SOLLA, Raffaele; FARELLA, Antonio; SALVATORE, Marco; CELLA, Laura; PACELLI, Roberto. Dose-surface analysis for prediction of severe acute radio-induced skin toxicity in breast cancer patients. *Acta Oncologica*, v. 55, n. 8, p. 1001–1006, 2016. DOI: 10.3109/0284186X.2015.1110253.

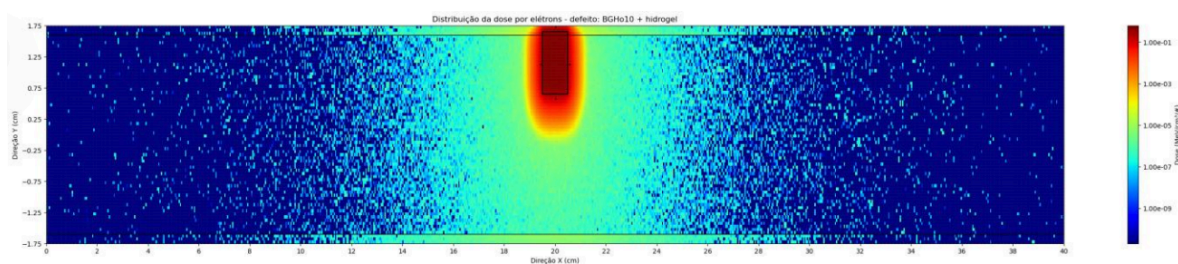
## Estudo in silico dos Efeitos do Vidro Bioativo com $^{166}\text{Ho}$ em Braquiterapia Óssea

Granja A.<sup>1</sup>, Borges R.<sup>1</sup>, Cuciello M.<sup>2</sup>, Antunes P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hosp Albert Einstein, <sup>2</sup> 39555727813, <sup>3</sup> Hospital Albert Einstein

**Resumo:** O câncer ósseo apresenta progressão rápida e agressiva, exigindo terapias eficazes e imediatas [1]. Diante de seus desafios, o tratamento demanda abordagens combinadas para controle tumoral, alívio da dor e regeneração óssea. Nesse cenário, vidros bioativos contendo nanopartículas de óxido de ferro e óxido de hólmio-166 surgem como uma alternativa promissora para braquiterapia associada à hipertermia, unindo efeito citotóxico à atividade osteocondutora [2]. Este trabalho tem como objetivo avaliar, por meio de simulações com o Método de Monte Carlo, a distribuição espacial de energia depositada em uma tíbia com defeito (proveniente de ressecção tumoral) preenchido por hidrogel termorreversível com diferentes composições de vidro bioativo, avaliando sua efetividade radioterapêutica.

**Materiais e métodos:** Utilizou-se o código MCNP6 para simular uma tíbia humana composta por osso cortical [3], medula amarela [4] e defeito ósseo ( $1\text{ cm}^3$ ) preenchido por água e hidrogel com vidro bioativo  $58\text{SiO}_2\text{-}33\text{CaO-}9\text{P}_2\text{O}_5$  contendo nanopartículas superparamagnéticas de óxidos de ferro e hólmio. Foram simuladas quatro composições de vidro bioativo com 10% de  $\text{Ho}_2\text{O}_3$  e 0%, 10%, 20% e 30% de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , mantendo a densidade de  $1,05\text{ g/cm}^3$ , a fim de avaliar o impacto da carga magnética na distribuição de dose. A fonte foi modelada como emissora beta e gama (80,5 keV), segundo o espectro do  $^{166}\text{Ho}$ . As distribuições de energia depositada 2D foram obtidas com o cartão TMESH e analisadas em Python com numpy, pandas e matplotlib.



**Resultados e discussões:** Os resultados demonstram que a deposição de energia por elétrons se concentra no defeito, com queda acentuada na medula e no osso cortical (Fig. 1). A deposição por fótons foi mais difusa e irrelevante (<3% do total) devido à baixa probabilidade de emissão gama (6,6%) [5]. A variação na proporção de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  não alterou os resultados, mantendo doses semelhantes para todas as composições.

**Conclusões:** Os vidros bioativos contendo  $^{166}\text{Ho}$  demonstram eficácia em direcionar a deposição de energia ao defeito ósseo, com mínima exposição às regiões adjacentes. Isso sugere viabilidade para braquiterapia óssea, independente do teor de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , apresentando potencial para aplicação clínica e otimização do tratamento.

### Referências:

- [1] BALMANT et al. Incidence and mortality of bone cancer among children, adolescents and adults in Brazil. *Clinics*, v. 74, p. 1–8, 2019.
- [2] BORGES, R. et al. Bioactive glasses as carriers of cancer-targeted drugs: challenges and opportunities. *Materials*, v. 15, n. 24, p. 9082, 2022.
- [3] DETWILER, R. S. et al. Compendium of material composition data for radiation transport modeling. PNNL-15870 Rev. 2, 2021.

- [4] DANT, J. T.; RICHARDSON, R. B.; NIE, L. H. Monte Carlo simulation of age-dependent dose to bone and marrow. *Phys. Med. Biol.*, v. 58, n. 10, p. 3301, 2013.
- [5] KLAASSEN, N. J. M. et al. Therapeutic applications of holmium-166: a narrative review. *EJNMMI Radiopharm. Chem.*, v. 4, art. 19, 2019

## Análise da distribuição de dose em microplacas de culturas de carcinoma escamoso bucal: Uma simulação Monte Carlo utilizando TOPAS.

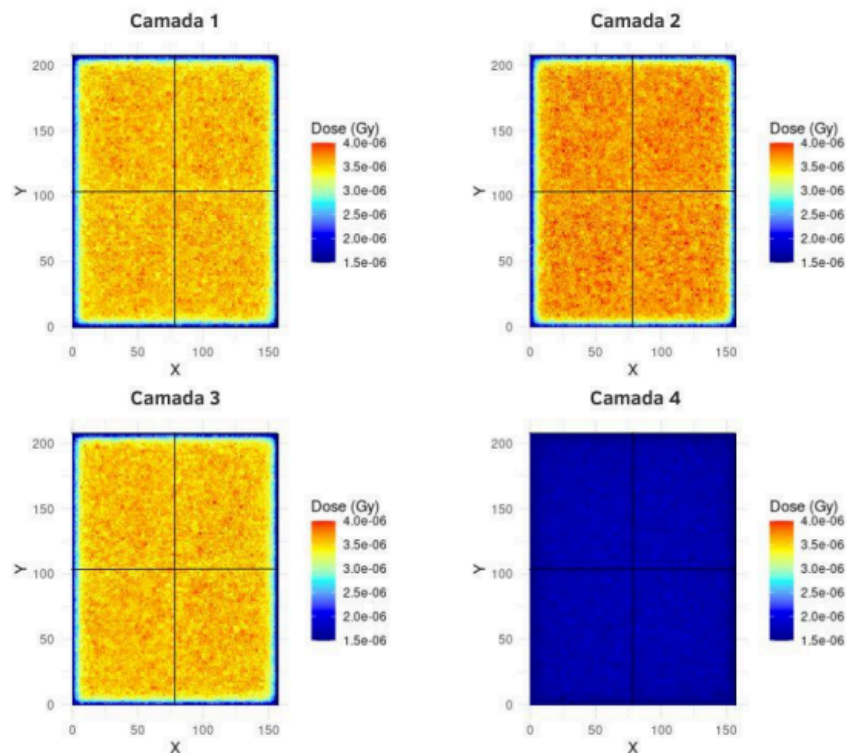
Moreira R.<sup>1</sup>, Hormaza J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto De Biocências - Unesp, <sup>2</sup> Unesp

**Resumo:** Segundo o INCA, entre 2023 e 2025, o carcinoma escamoso bucal será o tipo mais comum de câncer de cavidade oral no Brasil, frequentemente tratado com radioterapia. Portanto, é de grande interesse a descoberta de formas alternativas de modular seu tratamento, buscando abordagens eficazes e menos agressivas. Este estudo propõe investigar a influência de compostos na radiosensibilidade tumoral durante irradiações em múltiplos grupos de cultura celular, divididos em lotes e organizados em microplacas empilhadas, otimizando a logística experimental. Para garantir a uniformidade da dose antes da aplicação prática, utilizou-se simulação computacional Monte Carlo via Geant4, com o framework TOPAS, a fim de modelar a geometria do experimento e prever a distribuição da dose absorvida em cada lote.

**Materiais e métodos:** As microplacas de cultura foram modeladas utilizando um exemplar físico fiel ao utilizado comumente em laboratório, e posicionadas lateralmente em forma de matriz 2x2, formando uma camada, que foi sobreposta 4 vezes, gerando uma geometria de 16 placas de cultura em estrutura cúbica. No TOPAS, os parâmetros definidos simularam um acelerador linear hospitalar, gerando um feixe de raios-x de 6 MeV posicionado a 90° e 1 metro da primeira camada de placas, colimados conforme a geometria criada. Os parâmetros de output foram definidos para gerar detecção em todo o volume das placas de cultura, gerando dados para elaborar a distribuição espacial de dose ao longo de toda a geometria do experimento.

### Distribuição de dose por camada



**Resultados e discussões:** Com os dados de output da simulação foi possível elaborar o heatmap da distribuição de dose nas placas que se mostrou ser homogênea individualmente, e homogênea entre si nas três primeiras camadas, com uma queda de 48% na última camada. A distribuição observada possibilita uma irradiação de um mesmo grupo de dose nas primeiras camadas, junto de um segundo grupo com dose 48% menor na última camada.

**Conclusões:** A geometria simulada mostrou-se válida, permitindo irradiação homogênea intra-camada e flexibilidade intercamadas. Isso viabiliza experimentos com múltiplos níveis de dose em uma única sessão, otimizando tempo, recursos e reprodutibilidade, com impacto direto na eficiência logística e experimental.

**Agradecimento:** Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" Instituto de Biociências de Botucatu

**Referências:**

- [1] Instituto Nacional do Câncer. Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil. INCA, 2022.
- SCHIFF, B. A.. Carcinoma oral de células escamosas. Manual MSD, 2022.
- [2] ASLAM, Ambreen, et al. Soft tissue and water substitutes for megavoltage photon beams: An EGSnrcbased evaluation. Journal of Applied Clinical Medical Physics, AAPM
- [3] AGOSTINELLI, S., et al. Geant4: a simulation toolkit. Science Direct, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, vol. 506, fascículo 3, p. 105-340, julho de 2003.
- [4] PERL, J.; SHIN, J.; SCHÜMANN, J.; FADDEGON, B.; PAGANETTI, H. TOPAS: an innovative proton Monte Carlo platform for research and clinical applications. Medical Physics, v. 39, n. 11, p. 6818-6837, nov. 2012.

## **Análise da relação de entrega de dose com feixes 6FF e 6FFF com diferentes volumes de PTV**

Osmaré B.<sup>1</sup>, Ferreira T.<sup>1</sup>, Neto E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Beatriz Reami, <sup>2</sup> Hospital De Amor De Barretos - Sp

**Resumo:** Aceleradores Lineares (ALs) produzem feixes de fótons com amplo espectro de energias. O filtro aplainador (Flattening Filter – FF) é utilizado para endurecer o feixe e homogeneizar sua distribuição, porém reduz sua taxa de dose. Com o surgimento de técnicas avançadas, como SRS e SBRT, notou-se a necessidade de planejamentos para PTVs pequenos com alta taxa de dose. Por isso, ALs modernos são habilitados com a energia FFF (Flattening Filter Free), que possui feixe menos homogêneo, mas com alta taxa de dose, o que permite um tratamento mais rápido e eficiente. Buscando avaliar as limitações de cobertura de lesões maiores com feixes FFF, este trabalho comparou dados dosimétricos do planejamento para diferentes tamanhos de PTV com energias FF e FFF.

**Materiais e métodos:** Utilizando o sistema de planejamento Eclipse 15.6.8 (Varian Medical Systems), criou-se um fantoma cilíndrico com PTVs esféricos concêntricos no centro do fantoma, de raios 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 7cm e 9 cm. Para cada um dos PTVs, foram realizados dois planejamentos, com feixes 6MVFF e 6MVFFF, totalizando 14 planos, utilizando um arco completo (360°) e dose única de 800 cGy, para o AL TrueBeam, utilizando a técnica SRS-ARC. Dados dosimétricos como D<sub>máx</sub>, D<sub>min</sub>, D<sub>media</sub>, índice de conformidade e homogeneidade foram obtidos e comparados para os planos otimizados. Análises estatísticas foram utilizadas para avaliar as diferenças significantes entre as medias dos parâmetros utilizados.

**Resultados e discussões:** Os PTVs de raios 1, 2 e 3cm não apresentaram nenhuma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os índices obtidos utilizando os feixes comparados. As significâncias entre as variações começaram a surgir para volumes maiores, conforme esperado. Os planos do PTV de raio 9cm, foram observadas diferenças significativas na D<sub>media</sub>, R50 e Índice de homogeneidade ( $p = 0,0225$ ;  $0,0445$  e  $0,0004$ , respectivamente).

**Conclusões:** Através dos dados obtidos foi possível observar que existe uma relação entre o aumento das diferenças significativas dos índices coletados conforme se aumenta os volumes alvos de planejamento, pois se faz necessário uma maior modulação do feixe FFF nas regiões onde ocorrem gradientes de dose, o que revela a necessidade da criação de critérios para seleção do feixe ideal para determinados casos.

### **Referências:**

[1] Fogliata, A., Garcia, R., Knöös, T., Nicolini, G., Clivio, A., Vanetti, E., Khamphan, C. and Cozzi, L. (2012), Definition of parameters for quality assurance of flattening filter free (FFF) photon beams in radiation therapy. *Med. Phys.*, 39: 6455-6464. <https://doi.org/10.1118/1.4754799>

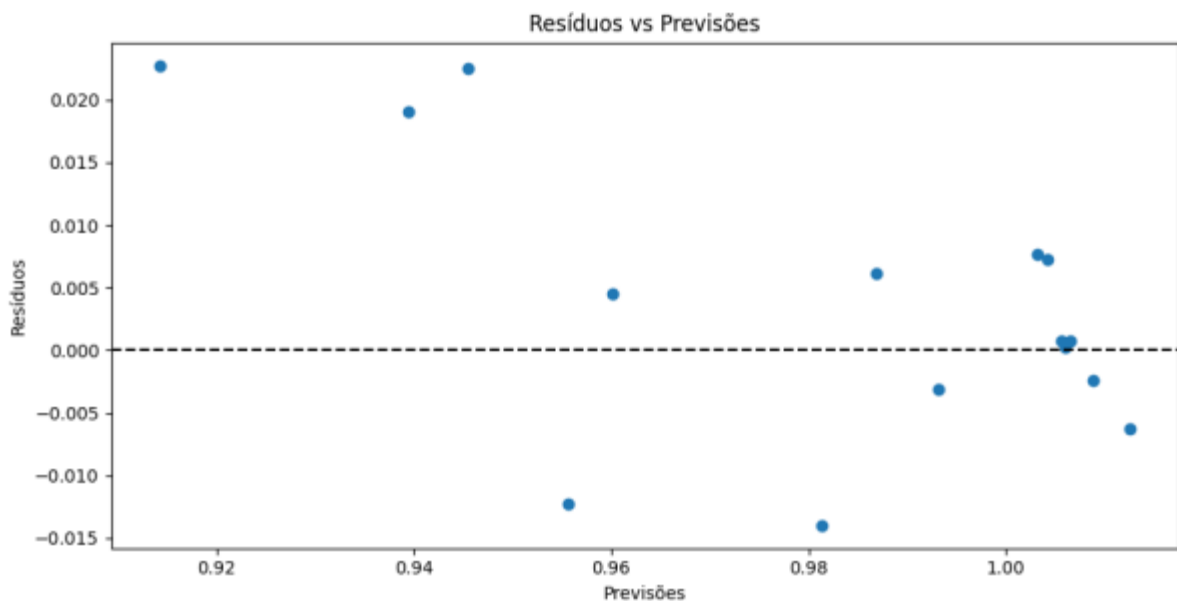
## Desenvolvimento e validação de algoritmo de rede neural para cálculo de fator bloco em radioterapia com feixe de elétrons

De Santana L.<sup>1</sup>, Fidelis A.<sup>2</sup>, Do Nascimento L.<sup>3</sup>, De Souza F.<sup>4</sup>, Flosi A.<sup>4</sup>, Da Rosa L.<sup>5</sup>, Cardoso S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ufrj, <sup>2</sup> André Luiz Espindola Fidelis, <sup>3</sup> Inca, <sup>4</sup> Hospital De Amor Amazônia, <sup>5</sup> Ird/Cnen

**Resumo:** Na radioterapia com feixe de elétrons, blocos de Cerrobend são usados para conformar o campo de irradiação ao volume alvo, preservando tecidos saudáveis. No entanto, esses blocos alteram a intensidade do feixe, exigindo a aplicação de um fator de correção conhecido como fator bloco. Tradicionalmente, esse fator é obtido por meio de dosimetria com câmaras de ionização ou filmes, métodos precisos, porém trabalhosos e dependentes da disponibilidade do acelerador [1]. Este projeto propõe o desenvolvimento de um algoritmo baseado em redes neurais convolucionais, capaz de estimar o fator bloco a partir de dados simulados via Monte Carlo. A proposta visa aumentar a eficiência clínica, reduzir tempo e custos, sendo utilizada ainda no processo de planejamento de tratamento do paciente.

**Materiais e métodos:** Modelos 3D de aplicadores e blocos de Cerrobend são construídos no software Blender e exportados para simulação no TOPAS MC, baseado no Geant4. Em estudo anterior, o TOPAS demonstrou alta concordância com dados clínicos para 6 e 9 MeV, validando seu uso no cálculo do fator bloco [2]. Nesta etapa, são simulados novos blocos, extraindo-se fator bloco, área e perímetro do recorte. Esses dados alimentam uma rede neural convolucional desenvolvida em Python com TensorFlow, Scikit-learn, NumPy e Pandas, avaliada por validação cruzada, MAE (Erro Absoluto Médio) e  $R^2$ .



**Resultados e discussões:** O modelo apresenta erro de predição baixo, com discrepância relativa inferior a 2,5% na maioria dos casos e estabilidade entre diferentes seeds (gerador de números aleatórios) [3]. O MAE é de 0,00039. A rede generaliza bem mesmo com variações geométricas, aprendendo a relação entre forma e fator bloco. O gráfico de resíduos, mostrado na figura, confirma ausência de viés.

**Conclusões:** O modelo apresenta resultados promissores, mas ainda é treinado com um número limitado de amostras (74 blocos), o que restringe sua capacidade de generalização. É necessário ampliar a base de dados e incluir geometrias mais diversas para validar sua robustez e aplicabilidade em cenários clínicos variados.

**Referências:**

- [1] KHAN, F. M.; GIBBONS, J. P. The Physics of Radiation Therapy. [S.l.]: Lippincott Williams & Wilkins, 2014.
- [2] SANTANA, Larissa Gabriela Oliveira de. Cálculo do fator bloco usando Blender e TOPAS MC. 2024. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física Médica) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.
- [3] SILVA, I. N. d. Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas: Fundamentos Teóricos e Aspectos Práticos. 2. ed. [S.l.]: Artliber, 2016. ISBN 9788588098879.

## Estudo da Distribuição de Dose em Equinos Submetidos à Teleterapia Utilizando o Código Monte Carlo MCNPX2.7.0

Roso J.<sup>1</sup>, Teixeira M.<sup>2</sup>, Santos W.<sup>3</sup>, Valença J.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pessoa Física, <sup>2</sup> Não Possui, <sup>3</sup> Ufs, <sup>4</sup> Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre - Ufcsa

**Resumo:** O avanço das técnicas de radioterapia tem proporcionado melhorias significativas nos tratamentos oncológicos em diversas situações, incluindo no tratamento de equinos (1,2). No entanto, são necessárias mais análises sobre a deposição de dose em estruturas vizinhas àquelas tratadas, bem como sua relação com possíveis efeitos biológicos gerados no animal, visando a otimização do tratamento (1,3). Análises realizadas em ambiente computacional, orientadas pelos processos de interação da radiação ionizante com a matéria, apresentam potencial de contribuição neste campo. Este estudo propõe uma análise da deposição de dose em tratamentos oncológicos equinos, por meio de simulação computacional baseada no código MCNPX, com foco na teleterapia.

**Materiais e métodos:** Foi utilizado um simulador virtual de equino contendo mais de 23 estruturas anatômicas distintas, contemplando órgãos e tecidos relevantes para análise dos efeitos da radiação ionizante. Utilizou-se feixe de fótons de 6 MV e dois feixes monoenergéticos: de elétrons (7 MeV) e fótons (7 MeV), com campo de radiação de tamanho 10x10 cm<sup>2</sup>, com o olho do animal na região central (Fig. 1a) a exemplo de casos de neoplasias na região da cabeça do animal. Avaliou-se a energia depositada nas estruturas adjacentes por meio da Tally F6 (MeV/g/partícula), a partir da qual se obteve o mapa de distribuição de dose. Análises individuais dos órgãos e tentativa de cálculo da dose efetiva foram realizadas.

**Resultados e discussões:** Resultados preliminares indicaram deposições significativas de energia no crânio e músculos faciais, sendo menores no aparelho hióide e ouvidos. Para elétrons de 7 MeV, a dose no crânio alcança  $\sim 3.4E-14$  MeV/g/partícula (Fig. 1b). Doses elevadas na pele ou osso podem causar feridas e osteorradionecrose [1], exigindo atenção à distribuição da dose para um planejamento seguro.

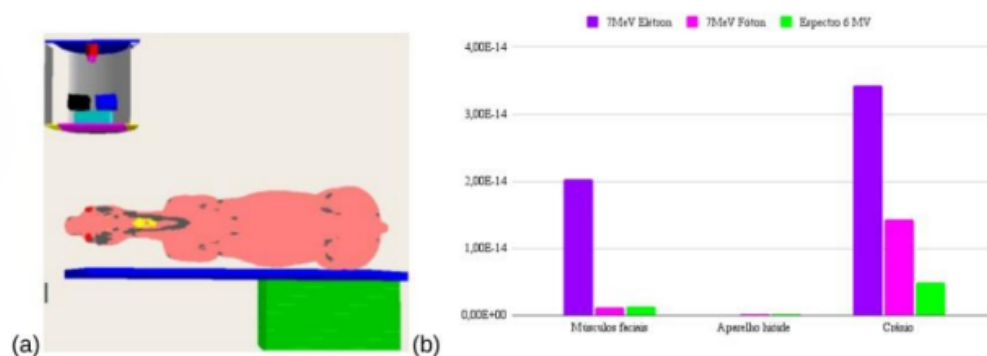


Figura 1: Representação de um dos cenários de teleterapia em equino simulado para análise da distribuição da dose (a). Comparativo da deposição de dose em diferentes estruturas anatômicas de equino para feixes de 7 MeV Elétron, 7 MeV Fóton e Espectro 6 MV (b).

**Conclusões:** Tendo em vista a dependência no perfil de deposição de dose com aspectos tais quais a localização e a profundidade do tumor, bem como com as modalidades radioterápicas analisadas, os resultados quantificaram a dose em diferentes órgãos, como crânio e músculos

faciais. Como próximo passo, pretende-se aprofundar as discussões, fazendo uso de diferentes feixes utilizados no contexto clínico.

**Referências:**

- [1] Mudge MC, Green E. Radiotherapy in Equine Practice. The Veterinary clinics of North America Equine practice [Internet]. 2024 Dec;40(3):397–408. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39168750/>
- [2] Gillen A, Mudge M, Caldwell F, Munsterman A, Hanson R, Brawner W, et al. Outcome of external beam radiotherapy for treatment of noncutaneous tumors of the head in horses: 32 cases (1999-2015). Journal of Veterinary Internal Medicine. 2020 Nov 1;34(6):2808–16.
- [3] Henson FMD, Dixon K, Dobson JM. Treatment of 4 cases of equine lymphoma with megavoltage radiation. Equine Veterinary Education. 2004 Dec;16(6):312–4.
- [4] Théon AP. Radiation Therapy in the Horse. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice. 1998 Dec;14(3):673–88

## Comparação Dosimétrica Entre Feixes De Fótons Com e Sem Filtro Aplainador em Casos de Radiocirurgia De Lesões Únicas (SRS)

Ferreira I.<sup>1</sup>, Ferreira T.<sup>1</sup>, Fernandes A.<sup>2</sup>, Lopes E.<sup>3</sup>, Neto E.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Isadora Ferreira, <sup>2</sup> Ana Clara Sampaio Fernandes, <sup>3</sup> Pesquisa, <sup>4</sup> Hospital De Amor De Barretos - Sp

**Resumo:** Os feixes de radiação sem filtro aplainador (FFF) são frequentemente utilizados em radiocirurgias (SRS), pois reduzem o tempo de tratamento e a dose periférica, em relação aos com filtro (WFF)[1,2] Além disso, é provável que a energia utilizada e a localização anatômica da lesão influenciem a distribuição de dose, já que feixes menos energéticos possuem menor penetração. Para garantir o controle tumoral e minimizar toxicidades, avaliam-se parâmetros dosimétricos para o volume alvo de planejamento (PTV) e tecidos sadios adjacentes, com destaque para o volume cerebral que recebe 12 Gy (V12Gy ).[3] O objetivo do estudo é avaliar a distribuição de dose e a eficiência na entrega do tratamento SRS, tendo como variáveis o filtro aplainador, a energia do feixe e a localização da lesão.

**Materiais e métodos:** Utilizou-se tomografias computadorizadas (espessura 1,25mm) de 10 pacientes com lesões únicas (volume médio  $1,01 \pm 0,95 \text{cm}^3$ ) selecionados randomicamente. Para cada paciente, foram gerados 4 planejamentos com arcos coplanares, utilizando os feixes 6WFF, 6FFF, 10WFF e 10FFF, no sistema de planejamento Eclipse e algoritmo AcurosXB, para um TrueBeam STx (MLC HD120)-Varian Medical Systems. A dose prescrita foi 18Gy. Todos os parâmetros de otimização foram mantidos constantes por paciente. A análise estatística foi realizada pelos testes ANOVA e Friedman. Para avaliar a influência da localização da lesão, foi calculado o módulo do vetor distância entre o centro de massa do PTV e centro de massa do cérebro.

**Resultados e discussões:** Diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre os feixes para alguns parâmetros (Tabela 1). O feixe 6FFF apresentou menor V12Gy e índice de gradiente (IG). O 10FFF, por sua vez, apresentou menor fator modulação e tempo de beam ON (BOT). A localização da lesão não mostrou correlação significativa com os parâmetros avaliados para o cérebro normal nos diferentes feixes. (Figura 1).

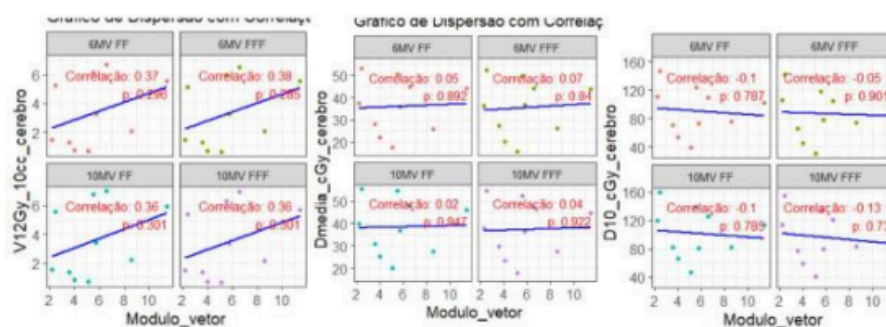


Figura 1: Gráfico de dispersão com análise de correlação entre módulo do vetor e os parâmetros dosimétricos do cérebro normal, para os diferentes tipos e energias de feixe, incluindo os respectivos valores de p.

Tabela 1: Médias e desvios padrão dos parâmetros avaliados em planejamentos com feixes de 6WFF 6FFF, 10WFF, 10FFF, incluindo os respectivos valores de p para as comparações pareadas entre os tipos de Feixes.

| Parâmetros                  | Feixe de Radiação (MV) |               |               |                | P-valor       |          |          |          |          |          |       |
|-----------------------------|------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
|                             | 6 WFF (A)              | 6 FFF (B)     | 10 WFF (C)    | 10 FFF (D)     | (A)vs(B)      | (A)vs(C) | (A)vs(D) | (B)vs(C) | (B)vs(D) | (C)vs(D) |       |
| PTV                         | IG                     | 5,90 ± 1,73   | 5,77 ± 1,62   | 6,56 ± 1,97    | 6,24 ± 1,78   | 0,06     | <0,001   | <0,001   | <0,05    | <0,001   | <0,05 |
|                             | IC                     | 0,86 ± 0,09   | 0,88 ± 0,07   | 0,87 ± 0,06    | 0,88 ± 0,07   | 1        | 1        | 1        | 0,15     | 1        | 0,15  |
|                             | Dmáx [Gy]              | 19,72 ± 0,72  | 19,61 ± 0,65  | 19,65 ± 1,02   | 19,76 ± 0,73  | 0,15     | 1        | 1        | 1        | <0,05    | 1     |
|                             | Dmínima [Gy]           | 18,32 ± 0,29  | 18,30 ± 0,28  | 18,57 ± 0,58   | 18,31 ± 0,29  | 0,50     | 1        | 1        | 0,23     | 1        | 1     |
| Cérebro Normal              | V12Gy [Gy]             | 3,32 ± 2,37   | 3,27 ± 2,32   | 3,55 ± 2,54    | 3,41 ± 2,45   | 0,06     | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | 0,09  |
|                             | Dmédia [cGy]           | 35,95 ± 12,23 | 35,31 ± 12,50 | 38,43 ± 12,51  | 37,23 ± 12,50 | 0,21     | <0,001   | <0,05    | 0,001    | <0,05    | 0,05  |
|                             | D10% [cGy]             | 90,42 ± 33,48 | 86,72 ± 34,09 | 101,73 ± 35,32 | 96,33 ± 34,95 | 0,09     | <0,001   | <0,05    | <0,001   | <0,05    | <0,05 |
| Fator Modulação             | 2,84 ± 0,55            | 2,84 ± 0,56   | 2,72 ± 0,53   | 2,61 ± 0,54    | 1             | 0,71     | <0,05    | 1        | <0,05    | 0,23     |       |
| BOT (minutos)               | 8,62 ± 1,55            | 3,75 ± 0,70   | 8,25 ± 1,52   | 2,12 ± 0,39    | <0,05         | 1        | <0,001   | <0,05    | 0,50     | <0,001   |       |
| Velocidade Gantry (graus/s) | 1,85 ± 1,33            | 2,97 ± 1,28   | 1,96 ± 1,34   | 4,48 ± 1,20    | 0,49          | 1        | <0,001   | 1        | 0,23     | <0,05    |       |

Abreviações: 6WFF: Feixe de 6MV com filtro aplainador; 6FFF: Feixe de 6MV sem filtro aplainador; 10WFF: Feixe de 10MV com filtro aplainador; 10FFF: Feixe de 10MV sem filtro aplainador; IG: Índice de Gradiente definido pelo ICRU91; IC: Índice de conformidade de paddick; Dmáx: Dose máxima; Dmínima: Dose mínima; V12Gy: volume cerebral que recebe 12 Gy; Dmédia: Dose média; D10%: Dose que chega em 10% do volume cerebral; Fator Modulação: representa a razão (MU/Gy); BOT: tempo de Beam ON; Velocidade Gantry: representa a velocidade média do Gantry.

**Conclusões:** O feixe 6FFF apresentou o melhor desempenho dosimétrico, com destaque para os menores valores de V12Gy e IG, sugerindo maior proteção do tecido saudável adjacente ao PTV. Enquanto o 10FFF obteve um melhor desempenho na entrega do tratamento. Observou-se que a localização anatômica da lesão não interfere de forma relevante na distribuição de dose, para os diferentes feixes.

**Agradecimento:** Gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha família, pelo apoio incondicional durante todo esse processo. Agradeço profundamente a todos os meus titulares, em especial ao Euclides e Thamires, pela orientação e apoio contínuos. Um agradecimento especial à Vivian Aparecida Brancaglioni, pela valiosa ajuda na análise estatística e pelo suporte durante a pesquisa.

**Referências:**

- [1] Whitten G, Daly U, McCallum CD, et al. Flattening filter free Stereotactic radiosurgery for brain metastases using dynamic conformal arcs: 6 MV or 10 MV? *Journal of Radiotherapy in Practice*. 2022;21(3):328-334. doi:10.1017/S1460396920001247
- [2] Kragl G, Baier F, Lutz S, Albrich D, Dalaryd M, Kroupa B, Wiezorek T, Knoos T and Georg D. Flattening filter free beams in SBRT and IMRT: Dosimetric assessment of peripheral doses. *Zeitschrift Fur Medizinische Physik*. 2011; 21:91-101.
- [3] MILANO, M. T. et al. Single- and multifraction stereotactic radiosurgery dose/volume tolerances of the brain. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, [S.l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.08.013>. Acesso em: 23 abr. 2022

## Consequências dosimétricas da aplicação da técnica de retenção de fôlego (DIBH) nas doses cardíaca e pulmonar em pacientes em tratamento de Radioterapia para a mama esquerda

Bernardino B.<sup>1</sup>, Pereira D.<sup>2</sup>, Da Rosa L.<sup>3</sup>, Cardoso S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Do Rio De Janeiro, <sup>2</sup> Dirceu Dias, <sup>3</sup> Ird/Cnen, <sup>4</sup> Ufrj

**Resumo:** A radioterapia para o câncer de mama apresenta desafios, como a exposição de órgãos sadios, que pode aumentar eventos fatais cardiovasculares e pulmonares (1, 2). A técnica de inspiração profunda com retenção de fôlego (DIBH- Deep Inspiration Breath hold) é uma alternativa que pode reduzir as doses ao afastar a parede torácica do miocárdio (3). Embora o fracionamento mais comum seja o de 15 frações (hipofracionamento moderado), o ensaio clínico randomizado fase 3, FAST-Forward, validou que 26 Gy em 5 frações (Mama Fast) é igualmente eficaz e seguro (4). Este trabalho avalia o impacto do DIBH em comparação com a respiração livre (RL) nas doses no coração e pulmão, em pacientes tratadas com o esquema Mama Fast.

**Materiais e métodos:** Neste estudo retrospectivo estão sendo avaliadas as doses em coração e pulmão ipsilateral de 100 pacientes, com a técnica 3D e planejados com tomografias em DIBH e RL utilizando o sistema de planejamento de tratamento Eclipse versão 16. Até o momento foram avaliados os planejamento de 10 pacientes, de modo que os resultados são preliminares. Os critérios de cobertura do plano para o PTV são; dose máxima e dose cobrindo 95% do volume (D95%). As doses avaliadas para o coração são; volume da isodose de 1,5 Gy que cobre o órgão (V1,5Gy), dose máxima (Dmáx) e dose média (Dméd) no órgão Para o pulmão ipsilateral, volume da isodose de 3,5 Gy que cobre o órgão (V3,5Gy).

**Resultados e discussões:** No PTV, em D95% foi  $23,66 \pm 3,12$  Gy (DIBH) e  $24,77 \pm 0,58$  Gy (RL) A Dmáx foi,  $27,14 \pm 3,82$  Gy na DIBH e  $27,78 \pm 1,75$  Gy na RL. No coração, para DIBH a Dméd teve redução entre 12,98% e 99,97% e, a dose máxima, entre 3,28% e 90,91%, ambas em comparação à RL. A isodose de 1,5 Gy reduziu entre 12,13% e 94,76% em relação a RL. O pulmão, as doses em V3,5 Gy (DIBH) e  $28,49 \pm 5,43$ Gy e  $24,70 \pm 8,96$  (RL).

**Conclusões:** Os resultados preliminares indicam que a DIBH para o fracionamento de 26 Gy em 5 frações pode reduzir a dose espalhada no volume cardíaco, diminuindo a probabilidade de efeitos cardíacos adversos. Para o pulmão, outras isodoses ainda serão avaliadas, portanto, a análise dos parâmetros dosimétricos segue em andamento para a conclusão do estudo.

### Referências:

- [1] SAKKA, Mazen et al. Cardiac dose-sparing effects of deep-inspiration breath-hold in left breast irradiation. *Strahlentherapie und Onkologie*, v. 193, n. 10, p. 800, 2017.
- [2] Darby S. C., Ewertz M., MacGale P., Bennet A., Blom-Goldman U., Bronnum D., Correa Candace, Cutter D. et al. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer. *N Engl J Med* 2013; 368:987-998.doi: 10.1056/NEJMoa1209825
- [3] Delaney, G. , Barton, M., & Jacob, S. (2003). Estimation of an optimal radioteraphy utilization rate for breast carinoma: A review of the evidence. *Cancer*, 98(9), 1977-1986.
- [4] COSTA, Bruna Santana da. Radioterapia adjuvante de mama em esquema ultra hipofracionado: Avaliação de parâmetros de planejamento em fase de implementação de protocolo assistencial. 2021.

## Investigação da dosimetria de campos pequenos para Varian Clinac iX Trilogy aplicada à radiocirurgia

Costa E.<sup>1</sup>, Vaz J.<sup>2</sup>, Da Silva J.<sup>3</sup>, Muniz J.<sup>4</sup>, Da Silva B.<sup>5</sup>, Ludwig J.<sup>5</sup>, Ribeiro C.<sup>5</sup>, Medrado D.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Liga Norte Riograndense Contra O Câncer, <sup>2</sup> Liga Contra O Câncer, <sup>3</sup> Jayane Julia, <sup>4</sup> Ufg, <sup>5</sup> Centro De Radioprotecao E Dosimetria Do Rn

**Resumo:** A radiocirurgia [1] revolucionou o tratamento de lesões intra e extracranianas, sendo definida como uma técnica que entrega doses ablativas em até cinco frações, e que usa um alto gradiente de dose para preservar tecidos sadios. É usada principalmente em alvos de volumes reduzidos e exige alta precisão mecânica e dosimétrica do acelerador linear. A dosimetria de campos pequenos [2-3] apresenta desafios como a perda de equilíbrio eletrônico lateral e a oclusão parcial da fonte pelos objetos colimadores, gerando incertezas no cálculo de dose absorvida. Este trabalho investiga a dosimetria de campos pequenos no Varian Clinac iX Trilogy, visando identificar o menor tamanho de campo com precisão dosimétrica e o menor volume-alvo tratável, numa análise aplicada para tratamentos de radiocirurgia.

**Materiais e métodos:** Utiliza-se feixe 6MV-FF, MLC Millennium 120. Foram verificados os fatores de saída do TPS a partir de campo 1 cm x 1 cm. Avaliou-se diferença de dose absoluta num ponto e de distribuição de dose através de análise gama. Para dose absoluta, utilizou-se águas sólidas com encaixe do detector (1. Câmara Exradin A16, 2. Detector MicroDiamond, 3. Filme radiocrômico), com ajuste fino da posição via kVCBCT, cortes de 0,6 mm. Para distribuição de dose, utilizou-se EPID, com comparações através de análise gama 3%/1mm. Planejamentos (1fr 20Gy) foram realizados com arco dinâmico e VMAT, com mesmas configurações: 4 semiarcos com giro de mesa e colimador a 0, para volumes entre 0,40 cc e 1,50 cc.

**Resultados e discussões:** A tabela anexada demonstra alguns valores comparativos resultantes de cinco medidas para cada volume. As medidas do planejamento com arco dinâmico demonstram maior concordância com o planejado, como já esperado, devido à ausência de modulação. As semelhanças entre as medidas com os diferentes detectores indicam boa reprodutibilidade do setup de medida.

|         |              | Variação de dose absoluta |         | Índice de aprovação análise gama 3%/1mm |        |
|---------|--------------|---------------------------|---------|---|--------|
|         |              | 0,40 cc                   | 1,50 cc | 0,40 cc                                 | 1,50cc |
| VMAT    | Exradin A16  | -3,50%                    | 2,20%   | EPID                                    | 99%    |
|         | MicroDiamond | -2,67%                    | 2,13%   |   |        |
|         | Filme        | -1,30%                    | 0,96%   |   |        |
| Arco D. | Exradin A16  | 2,20%                     | 1,55%   | EPID                                    | 99,6%  |
|         | MicroDiamond | 2,01%                     | 1,30%   |   |        |
|         | Filme        | 0,88%                     | 1,12%   |   |        |

**Conclusões:** Resultados indicam que volumes-alvo maiores que cerca de 0,40 cc são tratados com segurança no Varian Clinac iX Trilogy. A boa concordância dosimétrica é compatível com normas internacionais [4-5]. Devido às incertezas de setup de medida, uma amostragem maior é necessária. O estudo prossegue com volumes e campos menores para ampliar a aplicabilidade clínica em radiocirurgia.

**Agradecimento:** Agradecemos à equipe de radioterapia da Liga Norte Riograndense Contra o Câncer pelo apoio diário, pelo compartilhamento de conhecimento e por possibilitar nossa pesquisa. Agradecemos às colaborações já feitas com a equipe de física médica do Real Hospital Português, cujas referências inspiraram nossa metodologia.

**Referências:**

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA. Documento técnico de radiocirurgia brasileiro. Comissão Técnica da Área de Radioterapia. Brasil: ABFM, 2023.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. Vienna: IAEA, 2017. (TRS, n. 483).
- [3] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. College Park: AAPM, 2021. (AAPM TG Report, n. 155).
- [4] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, ICRU Report 24 (1976).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Vienna: IAEA, 2000. (TRS, n. 398).

## Avaliação da dose no esôfago na radioterapia para câncer de mama com irradiação da fossa supraclavicular em diferentes técnicas: 3D-CRT, IMRT E VMAT

Natália Cristina Soares Lemes <sup>1</sup>, Nicolas Borges Jobim <sup>2</sup>, Thatiane Alves Pianoschi <sup>3</sup> <sup>1</sup> Natália Cristina Soares Lemes, <sup>2</sup> Santa Casa De Misericórdia De Porto Alegre, <sup>3</sup> Ufcsa

**Resumo:** A radioterapia (RT) é indicada para a maioria dos tratamentos de câncer de mama e, com a modernização das técnicas, há alterações na distribuição da dose, impactando órgãos em risco (OARs). O esôfago, órgão próximo ao volume-alvo, é exposto à radiação, sobretudo em casos com irradiação dos linfonodos supraclaviculares, podendo gerar esofagite ou câncer secundário[1,2]. Apesar da ampla literatura sobre radioterapia de mama, há poucas análises específicas da dose no esôfago. O objetivo do trabalho é analisar a dose depositada no esôfago no tratamento de radioterapia de câncer de mama com fossa supraclavicular em diferentes técnicas de planejamento: Radioterapia Conformacional Tridimensional(3DCRT), Radioterapia de Intensidade Modulada(IMRT) e Radioterapia de Arco Volumétrico Modulado(VMAT).

**Materiais e métodos:** Foram utilizadas imagens de tomografia computadorizada com delineamento anatômico e dos volumes-alvo para RT de mama com inclusão da fossa supraclavicular, advindas de um banco de dados público [3,4,5]. O esôfago é delineado desde a cartilagem cricóide até a junção gastroesofágica. Realizaramse planejamentos radioterápicos hipofracionados (40Gy em 15 frações), no software Eclipse (versão 15.6, Varian®), com o algoritmo AAA (Anisotropic Analytical Algorithm) [6]. Cada paciente foi planejado nas três técnicas, sendo 3D-CRT e IMRT em um aparelho Unique utilizando 6MV e os VMAT em um Truebeam. As doses médias no esôfago foram analisadas e comparadas por meio de histogramas dose-volume (DVH).

Tabela 1 – Doses recebidas pelo esôfago.  
Fonte: Elaborada pelos autores.

| PACIENTE 1       |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|
|                  | 3D     | IMRT   | VMAT   |
| DOSE MÉDIA (Gy)  | 1,138  | 1,037  | 3,964  |
| DOSE MÁXIMA (Gy) | 4,852  | 7,543  | 25,314 |
| PACIENTE 2       |        |        |        |
|                  | 3D     | IMRT   | VMAT   |
| DOSE MÉDIA (Gy)  | 2,535  | 6,996  | 6,270  |
| DOSE MÁXIMA (Gy) | 33,933 | 39,093 | 35,543 |
| PACIENTE 3       |        |        |        |
|                  | 3D     | IMRT   | VMAT   |
| DOSE MÉDIA (Gy)  | 1,500  | 5,700  | 6,395  |
| DOSE MÁXIMA (Gy) | 20,996 | 42,180 | 36,330 |

**Resultados e discussões:** Foram analisadas as doses médias recebidas pelo esôfago em cada técnica, sem a utilização do esôfago como OAR (tabela). Com planos de hipofracionamento, foi alcançada a cobertura mínima de 95% da dose prescrita em 95% do volume-alvo em todos os planejamentos. O valor médio das doses médias foi de  $1,72 \pm 0,59$  Gy em 3D,  $4,57 \pm 2,55$  Gy em IMRT e  $5,54 \pm 1,18$  Gy em VMAT. A VMAT, em geral, expôs mais o esôfago.

**Conclusões:** Proteger o esôfago é essencial para evitar efeitos adversos, como esofagite e problemas de deglutição. Resultados iniciais mostram que a 3D-CRT se manteve com menor dose em todos os casos, reforçando a importância da escolha do método. Futuramente, pretende-se realizar novos planos considerando o esôfago como um órgão em risco, com colimação adequada e foco na proteção, visando comparações.

**Agradecimento:** Agradeço à Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre pelo apoio institucional e pela disponibilidade dos recursos que viabilizaram o desenvolvimento deste trabalho. A contribuição da instituição foi fundamental para a realização da pesquisa, especialmente pela excelência dos profissionais envolvidos e pelo compromisso com o ensino e a ciência.

**Referências:**

[1] Sharmin S, et al. Association of radiation-induced acute esophagitis with dosimetric parameters of oesophagus in breast carcinoma patients receiving supraclavicular nodal irradiation.

[2] Morton LM, et al. Risk of treatment-related esophageal cancer among breast cancer survivors

Breast and LN SIB (NCT02384733/FAST-Forward Trial). Varian Medical Systems. Disponível em: <https://medicalaffairs.varian.com/index.php?cat=3345&s=34183>

[3] Lt Chestwall + LN 42.6 Gy (Alliance A221505/CCTG MA.39). Varian Medical Systems. Disponível em: <https://medicalaffairs.varian.com/TrueBeam-LCW-LN-VMAT>

[4] Lt Chestwall + LN 42.6 Gy (Alliance A221505/CCTG MA.39). Varian Medical Systems. Disponível em: <https://medicalaffairs.varian.com/lcwlN-VMAT2> 6. Varian Medical Systems. Anisotropic Analytical Algorithm (AAA).

## Mapeamento de Centros e Tecnologias

Silva T.<sup>1</sup>, Rybarczyk Filho J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Thales Serafim, <sup>2</sup> Ibb-Unesp

**Resumo:** O acesso equitativo a tratamentos oncológicos é um desafio persistente em países de dimensões continentais como o Brasil. A distribuição e a capacidade tecnológica dos centros de radioterapia influenciam diretamente a qualidade do atendimento e os resultados clínicos dos pacientes. Neste contexto, analisar a localização e o portfólio de equipamentos, desde aceleradores lineares de baixa e alta energia até sistemas de braquiterapia, pode revelar desigualdades regionais e apontar áreas prioritárias para investimentos. Este estudo explora dados nacionais de centros de radioterapia, oferecendo um panorama atual dos recursos disponíveis em cada região do país.

**Materiais e métodos:** Utilizamos um conjunto de dados oficiais que lista hospitais e centros de radioterapia em todas as unidades da federação, incluindo informações sobre natureza jurídica, modalidade de gestão e tipos de equipamentos instalados. Primeiro, realizamos a limpeza e normalização dos nomes de colunas e propagamos as categorias de “Região” para cada linha de entrada. Em seguida, filtramos apenas os registros que constam como centros ativos, identificados pela presença de informações de gestão, e agregamos a quantidade de centros por região. Por fim, somamos o total de cada tipo de equipamento (aceleradores lineares 0~6MeV, maior 6MeV, com e s/elétrons, e braquiterapia de baixa, média e alta energia).

**Resultados e discussões:** As regiões Sudeste e Sul concentram mais centros, enquanto Norte e CentroOeste têm menos unidades. Há 157 aceleradores de alta energia com elétrons, contra 120 de até 6 MeV. A braquiterapia média é mais comum (101 unidades), a baixa é rara (17) e a alta quase inexistente. Esses dados evidenciam uma acentuada desigualdade regional na oferta e no avanço tecnológico da radioterapia.

**Conclusões:** O mapeamento evidencia desequilíbrios na distribuição da radioterapia no Brasil, com maior presença de tecnologias avançadas em regiões mais desenvolvidas. Os dados indicam a importância de estratégias que ampliem o acesso em áreas menos atendidas e promovam a modernização das unidades existentes, contribuindo para um sistema mais equilibrado e eficiente no tratamento oncológico.

**Agradecimento:** Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à Universidade Estadual Paulista (UNESP), ao Instituto de Biociências de Botucatu, pela infraestrutura e apoio ao longo da graduação e realização deste trabalho. Agradeço também ao professor orientador Jos

### Referências:

- [1] OLIVEIRA, Leticia Del Conte de. Avaliação da disponibilidade de aceleradores lineares e os tratamentos realizados na radioterapia no Brasil. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física Médica) – IBB, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2021.
- [2] SOCIEDADE BRASILEIRA DE RADIOTERAPIA. Serviços de Radioterapia. Disponível em: <https://sbradioterapia.com.br/category/servicos-radioterapia/>.
- [3] INSTITUTO ONCOGUIA. Atlas CCC. Disponível em: <https://atlas.oncoguia.org.br/>.
- [4] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Instalações autorizadas. Disponível em: <https://appasp2019.cnen.gov.br/seguranca/cons-ent-prof/entidades-aut-cert.asp>.
- [5] INCA, Programa de Qualidade em Radioterapia. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/>

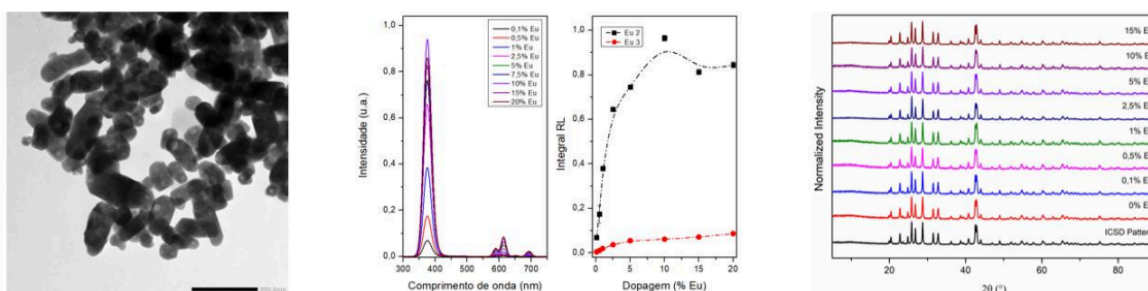
## Nanodpositivos Teranósticos: Explorando a viabilidade de agentes de contraste clínicos para Terapia Fotodinâmica Combinada à Radioterapia

Lessa J.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> USP - FFCLRP

**Resumo:** Este projeto investiga nanopartículas de sulfato de bário ( $\text{BaSO}_4$ ) dopadas com európio (Eu) e funcionalizadas com gadolínio (Gd) para aplicação em Terapia Fotodinâmica Combinada à Radioterapia. O  $\text{BaSO}_4$ , já utilizado como contraste radiológico, é explorado em escala nanométrica visando acúmulo tumoral por efeito EPR. A dopagem com Eu confere cintilação sob radiação ionizante, ativando fotossensibilizadores geradores de espécies reativas de oxigênio (ROS). A presença de Gd permite aplicação adicional em ressonância magnética. Serão realizadas síntese, caracterização e testes de produção de ROS. O projeto, então, abre horizontes teranósticos a um material diagnóstico já consagrado na clínica.

**Materiais e métodos:** Para a síntese de nanopartículas de sulfato de bário, explorou-se o método da coprecipitação já existente na literatura. Para isso, foi realizada a injeção rápida de 1 mmol de sulfato de amônio numa solução de 49 mL de água e etilenoglicol (em proporção 1:1) com cloreto de bário e nitrato de európio, de modo que a soma do número de mols seja também de 1 mmol. Após injeção, houve a formação instantânea de um precipitado. A solução resultante foi centrifugada a 13000 rpm por 20 minutos e o precipitado ressuspensas em água Mili-Q e centrifugado novamente por duas vezes para lavagem da superfície. Em seguida, a amostra foi seca a 80 °C por 12h.

**Resultados e discussões:** Diferentes dopagens foram realizadas e se a dopagem de 10% de Európio maximizou a rádio luminescência da partícula com emissão dentro da janela do UV atribuída à transição do Európio +2 [1]. O tamanho médio da amostra otimizada foi de 70 nm, além disso são estáveis e se autodispersam em água. A difração de Raios X acusa apenas a fase ortorrômbica do cristal, mesmo em dopagens maiores.



**Conclusões:** A alta emissão da partícula na região de UV, tamanho adequado para aplicações clínicas (100~800 nm), boas propriedades de dispersão são características promissoras. Serão realizados testes in vitro de geração de ROS através do recobrimento da nanopartícula com a perinaftenona, fotossensibilizador absorvedor da região UV afim de conferir o caráter terapêutico em X-PDT da amostra produzida.

**Agradecimento:** Agradeço à FAPESP, CAPES e a CNPq pelo financiamento e disponibilidade de equipamentos. Além disso, ao meu orientador Éder José Guidelli, a todos os colegas de laboratório e a minha família, pelo apoio incessante e diário ao meu trabalho.

**Referências:**

- [1] N. Policei Marques, M. M. Isikawa, Z. Muradova, T. Morris, R. Berbeco, and E. J. Guidelli, ‘Size-Dependent Blue Emission from Europium-Doped Strontium Fluoride Nanoscintillators for X-Ray-Activated Photodynamic Therapy’, *Adv Healthc Mater*, vol. 13, no. 20, Aug. 2024, doi: 10.1002/adhm.202400372.

## UTILIZAÇÃO DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA COM CONTRASTE NO PLANEJAMENTO DE RADIOTERAPIA SBRT DE TÓRAX: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA

De Souza R.<sup>1</sup>, Neto E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hospital De Amor, <sup>2</sup> Hospital De Amor De Barretos - Sp

**Resumo:** A radioterapia estereotáxica corporal (SBRT) é uma técnica de tratamento de alta precisão amplamente utilizada para o tratamento de tumores torácicos. Devido à elevada dose por fração e à proximidade de órgãos críticos, o planejamento terapêutico exige alta acurácia na definição dos volumes. É comum a aquisição de duas tomografias computadorizadas (TC) para pacientes submetidos à SBRT torácica: uma sem contraste 4D e outra com contraste iodado. O contraste iodado altera os valores de unidades Hounsfield (HU) dos tecidos, o que pode impactar o cálculo da dose quando essas imagens são utilizadas no planejamento. Este trabalho buscou estudar a possibilidade da utilização da TC com contraste nos cálculos dos planejamentos radioterápicos uma vez que os pacientes serão tratados sem o contraste.

**Materiais e métodos:** O estudo contou com a seleção de 10 TCs de pacientes que já haviam recebido SBRT de lesões torácicas, nos quais foram realizadas tanto TC 4D sem contraste quanto TC com contraste. Os planejamentos foram otimizados nas TC com contraste, copiados e aplicados nas TC cujo os valores de HU foram substituídos pelos valores de HU médio das tomografias sem contraste. Parâmetros como doses em órgãos de risco torácicos e avaliação de parâmetros dosimétricos no PTV, índice de homogeneidade e índice de conformidade foram obtidos para análise estatística, a fim de avaliar a diferença significativa entre os valores.

**Resultados e discussões:** As avaliações estatísticas mostraram que não houveram variações significativas nos órgãos de riscos: área cardíaca, brônquios, esôfago, medula espinhal, pulmão D e E, grandes vasos e traqueia. Valores de Dmédia, Dmáx, Dmin e índice de heterogeneidade não apresentaram variações significativas. O índice de conformidade foi o único parâmetro que mostrou uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

**Conclusões:** As análises estatísticas mostraram que não houve variações significativas nos parâmetros utilizados para avaliar dose entregue em órgãos de risco e volumes alvos, com exceção do índice de conformidade do PTV.

### Referências:

- [1] Liu M, Liu M, Yang F, Liu Y, Wang S, Chen Y, Li J, Wang X, Orlandini LC. Impact of contrast-enhanced CT in the dosimetry of SBRT for liver metastases treated with MR-Linac. *Radiat Oncol.* 2024 Oct 15;19(1):144. doi: 10.1186/s13014-024-02533-3. PMID: 39402595; PMCID: PMC11475857.
- [2] Kamal R, Thaper D, Kumar R, Singh G, Yadav HP, Oinam AS, Kumar V, Sharma H. Dosimetric impact of contrast-enhanced 4d computed tomography for stereotactic body radiation therapy of hepatocellular carcinoma. *Rep Pract Oncol Radiother.* 2021 Aug 12;26(4):598-604. doi: 10.5603/RPOR.a2021.0075. PMID: 34434576; PMCID: PMC8382070.
- [3] NARDI, P. N. et al. Planning Head and Neck radiotherapy in contrast CT: viability for AAA and AcurosXB. *Revista Brasileira de Física Médica*, v. 16, p. 652–652, 28 nov. 2022.

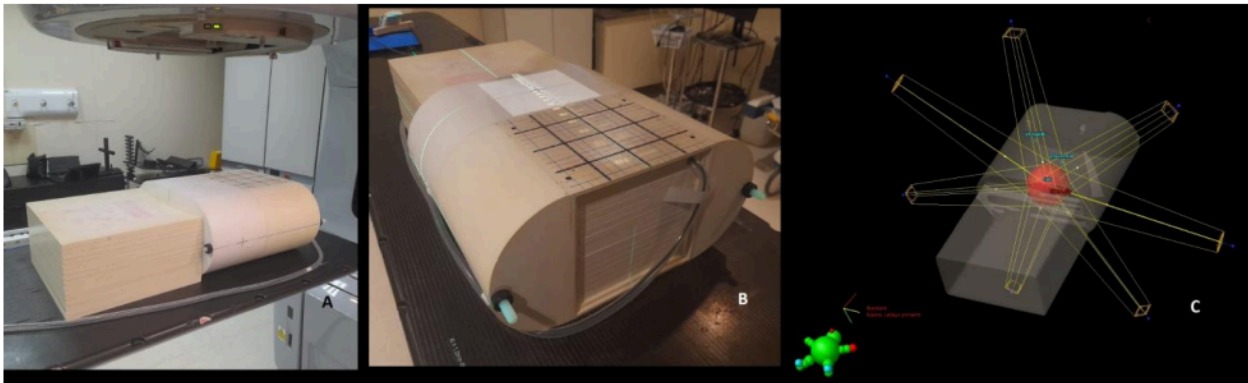
## Estudo da dose fora do campo: cuidados na radioterapia pediátrica

Giarola R.<sup>1</sup>, Furnari L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unesp, <sup>2</sup> Let Let Assessoria Em Física Das Radiações Ltda

**Resumo:** A dose fora de campo pode levar a complicações futuras para o paciente. É crucial minimizar os riscos especialmente em crianças. Diversos estudos relacionam os efeitos tardios e a crescente sobrevivência após o tratamento. O PENTEC (Efeitos no Tecido Normal Pediátrico na Clínica) fornece diretrizes para o tratamento pediátrico e discute a necessidade da compreensão dessa dose. Os Sistemas de Planejamento da Terapia (TPS) não são comissionados para calcular com precisão a dose fora de campo. Investigações dosimétricas permitem quantificar a incerteza e definir modelos para mitigar erros. É fundamental compreender os riscos e as formas de reduzir a dose fora do campo. O presente trabalho apresenta uma investigação da dose fora do campo para diversos setups e planejamentos da rotina clínica.

**Materiais e métodos:** Avaliou-se a dose fora do campo para diferentes planejamentos clínicos utilizando um objeto simulador e medindo a dose em dois pontos distintos. Utilizou-se uma imagem tomográfica do objeto simulador em associação a 15 placas de água sólida. Foi utilizado um Acelerador Linear com energias de 6 e 15 MV e um colimador de lâminas habilitado para técnicas 3d e de intensidade modulada. Utilizou-se um conjunto de câmara de ionização Farmer para a realização de medidas. No planejamento foram delineados dois volumes alvo e para cada volume foram realizados 8 tratamentos com configurações de campos distintas. Esse setup permitiu calcular a subestimativa na dose fora de campo pelo TPS.



(A e B) Imagem do objeto simulador posicionado no Acelerador linear e (C) Imagem do TPS para a combinação de um planejamento com 7 campos.

**Resultados e discussões:** O TPS subestima dose fora do campo (6,8% a 33,8%) para pequenas distâncias da borda dos campos. Planejamentos com a técnica 3D apresentaram maior subestimativa. Os dados analisados neste estudo indicam que fatores como energias mais elevadas, campos menores e maior distância do detector ao volume irradiado aumentam a incerteza no cálculo de dose pelo TPS, subestimando a dose.

**Conclusões:** A compreensão dos riscos e consequências da subestimativa da dose fora do campo é crucial, sobretudo em pacientes pediátricos, pois órgãos sensíveis que estão fora do campo podem receber doses maiores que o previsto pelo TPS. Diversos fatores físicos influenciam essa variável e o uso do TPS para avaliar a dose fora de campo requer pleno conhecimento de suas limitações.

**Referências:**

- [1] Taylor M, Kron T. Consideration of the radiation dose delivered away from the treatment field to patients in radiotherapy. *J Med Phys.* 36(2):59, 2011.
- [2] Tubiana M. Can we reduce the incidence of second primary malignancies occurring after radiotherapy A critical review. *Radiother Oncol.* 91(1):4-15, 2009.
- [3] Goy E, et al. The out-of-field dose in radiation therapy induces delayed tumorigenesis by senescence evasion. *ELife.* 11, 2022.
- [4] De Saint-Hubert M, et al. Out-of-field doses in children treated for large arteriovenous malformations using hypofractionated gamma knife radiosurgery and intensity-modulated radiation therapy. *Radiat Prot Dosimetry.* 181(2):100-110, 2018.
- [5] Kaderka R, Schardt D, Durante M, Berger T, Ramm U, Licher J, La Tessa C. Out-of-field dose measurements in a water phantom using

## Dosimetria acustoelástica da dose absorvida em phantoms de gel equivalentes a tecido mole

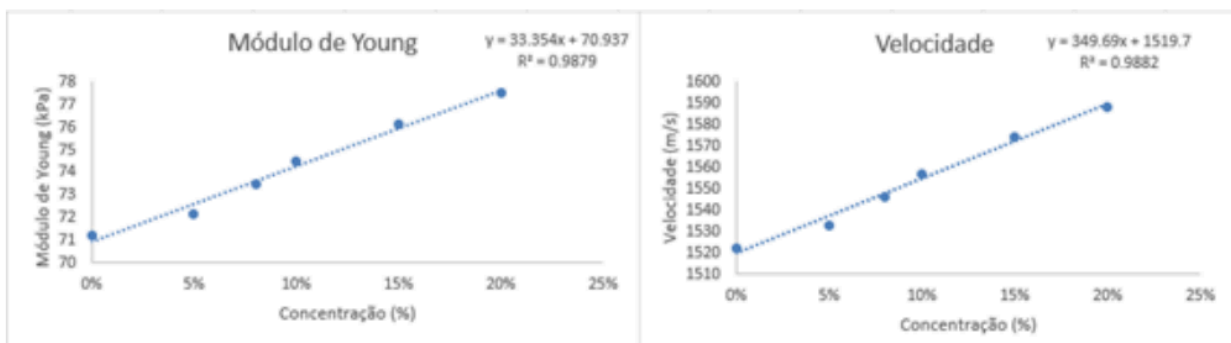
Teofilo A.<sup>1</sup>, Vieira S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ana Clara Teofilo

**Resumo:** O câncer é uma das principais causas de mortalidade global, e a radioterapia exige dosimetria precisa para otimização terapêutica. Métodos convencionais (câmaras de ionização, TLDs) são limitados a medições pontuais. Géis poliméricos sensíveis a radiação, como o MAGIC-f, permitem dosimetria 3D, sendo lidos por técnicas como ressonância magnética ou ultrassom. Esse último tem sido explorado devido a uma série de vantagens, como seu baixo custo relativo. Este trabalho avaliou propriedades acústicas e elásticas do gel polimérico MAGIC-f com o objetivo de investigar a dependência da dose absorvida com a mudança de suas propriedades acustoelástica.

**Materiais e métodos:** As amostras de gel MAGIC-f foram preparadas, refrigeradas (24h, 4°C) e depois levadas à sala de radioterapia (CEBROM, Goiânia/GO) para equilíbrio térmico (2h). Irradiadas em acelerador linear (Varian) com feixes de 6 MeV, com doses de 10 a 40 Gy, em intervalos de 10 Gy. Análise ultrassônica: transdutor de 2,25 MHz (Panamatrix), gerador 5072PR (Olympus) no modo pulso-eco e osciloscópio (Tektronix). A velocidade longitudinal e o coeficiente de atenuação foram medidos e por meio de relações matemáticas teórica foi obtido o módulo de Young. Esses ensaios foram realizados após calibração prévia do sistema empregando gel não irradiado, com concentrações de gelatina de 5 a 20%.

**Resultados e discussões:** As propriedades acustoelástica das amostras foram alteradas proporcionalmente, tanto em função da concentração de gelatina quanto em relação a dose absorvida, as quais apresentaram variações máximas de 40% e 60%, respectivamente. A velocidade longitudinal e o módulo de Young apresentaram um comportamento linear com relação à concentração de gelatina e serão avaliados em relação à dose absorvida.



**Conclusões:** A análise dos resultados mostra que com o sistema de ultrassom calibrado é possível medir de forma refinada alterações dos parâmetros acústicos de objetos simuladores. Permitindo assim avaliar diferentes dependências do dosímetro gel para com a dose, tais como a energia e taxa de dose.

**Agradecimento:** Gostaríamos de expressar sincera gratidão ao Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC) pelo valioso suporte acadêmico e

estrutura oferecida durante esta pesquisa. Agradecemos também à CAPES pela concessão da bolsa de estudos, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

**Referências:**

- [1] Crescenti RA, Bamber JC, Bush NL, Webb S. Characterization of dose-dependent Young's modulus for a radiation-sensitive polymer gel. *Phys Med Biol.* 2009;54(4):843-57. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/54/4/002>.
- [2] Mather ML, Deene YD, Whittaker AK, Simon GP, Rutgers R, Baldock C. Investigation of ultrasonic properties of PAG and MAGIC polymer gel dosimeters. *Phys Med Biol.* 2002;47(24):4397-409. Available from: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/47/24/311>.
- [3] Crescenti RA, Bamber JC, Bush NL, Webb S. Quantitative ultrasonic elastography for gel dosimetry. *Ultrasound Med Biol.* 2010;36(2):268-75. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2009.09.003>



# CBFM

29º CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA

SÃO PAULO • 2025



**CBFM**

29º CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA

SÃO PAULO • 2025

SÃO PAULO - OUTUBRO 2025