

DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR ANATÔMICO MULTIFUNCIONAL DE BAIXO CUSTO PARA CAPACITAÇÃO EM PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS COM ROEDORES

Edson Wanderley Da Silva¹;

¹Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/1705481930104825>

Gustavo Henrique Ferreira dos Santos²;

²Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/6196719019713914>

Rafael Lucas Barros Abreu Silva³;

³Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/1827688338383932>

Wellen Aguiar Araújo⁴;

⁴Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/2783936680544865>

Julia Araujo Muniz de Almeida⁵;

⁵Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/0305699721953591>

Nathalia Ingrid de Lima Constâncio⁶;

⁶Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/8383565903088433>

Waleska Munique Barbosa Soares⁷;

⁷Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/5126407190237728>

Elvis Joacir De França⁸;

⁸Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/1716496767364751>

Brígida Gomes de Almeida Schirmer⁹.

⁹Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

RESUMO: PET/CT para pequenos animais representa uma importante modalidade de imageamento molecular aplicada à pesquisa pré-clínica, permitindo a investigação de mecanismos biológicos, avaliação terapêutica e desenvolvimento de estratégias diagnósticas em modelos experimentais. Nesse contexto, ratos e camundongos são amplamente utilizados em estudos laboratoriais, exigindo treinamento técnico adequado para execução de procedimentos de aplicação de radiofármacos, tais como por via intraperitoneal, intraorbital e intravenosa. Assim, o estudo teve como objetivo identificar modelos de simuladores experimentais descritos na literatura e desenvolver um simulador anatômico multifuncional de baixo custo para capacitação em procedimentos laboratoriais com roedores. Foi realizada revisão da literatura nas bases SciELO, PubMed e ScienceDirect, utilizando descritores relacionados a simuladores experimentais e métodos alternativos ao uso de animais. Inicialmente, foram identificados 52 estudos, dos quais 14 atenderam aos critérios de elegibilidade. A análise evidenciou limitações relacionadas ao alto custo e à complexidade dos simuladores disponíveis. Com base nesses achados, foi desenvolvido um simulador biomimético cinco em um, confeccionado com materiais acessíveis, possibilitando treinamento de contenção, gavagem, administração intraorbital, administração intraperitoneal e visualização anatômica. O modelo demonstrou potencial aplicabilidade como ferramenta acessível para treinamento técnico-científico e fortalecimento dos princípios dos 3Rs.

PALAVRAS-CHAVE: Simuladores experimentais. Princípio dos 3R's. Treinamento pré-clínico.

DEVELOPMENT OF A LOW-COST, MULTIFUNCTIONAL ANATOMICAL SIMULATOR FOR TRAINING IN EXPERIMENTAL PROCEDURES WITH RODENTS

ABSTRACT: PET/CT for small animals is an important molecular imaging modality used in preclinical research, enabling the investigation of biological mechanisms, therapeutic evaluation, and the development of diagnostic strategies in experimental models. In this context, rats and mice are widely used in laboratory studies, requiring appropriate technical training for radiopharmaceutical application procedures, such as intraperitoneal, intraorbital, and intravenous routes. This study aimed to identify experimental simulator models described in the literature and to develop a low-cost, multifunctional anatomical simulator for training in laboratory procedures with rodents. A literature review was conducted in the SciELO, PubMed, and ScienceDirect databases, using descriptors related to experimental simulators and alternative methods to animal use. Initially, 52 studies were identified, of which 14 met the eligibility criteria. The analysis revealed limitations related to the high cost

and complexity of available simulators. Based on these findings, a five-in-one biomimetic simulator was developed using accessible materials, enabling training in restraint, gavage, intraorbital administration, intraperitoneal administration, and anatomical visualization. The model demonstrated potential applicability as an accessible tool for technical and scientific training and for strengthening the principles of the 3Rs.

KEY-WORDS: Experimental simulators. 3Rs principle. Pre-clinical training.

INTRODUÇÃO

PET/CT é uma modalidade de imageamento molecular que associa informações metabólicas obtidas pela tomografia por emissão de pósitrons (PET) às imagens anatômicas fornecidas pela tomografia computadorizada (CT), permitindo maior acurácia diagnóstica e melhor caracterização fisiopatológica. Nesse contexto, a técnica possui alta relevância em estudos pré-clínicos *in vivo*, contribuindo para a investigação de mecanismos biológicos, avaliação terapêutica e desenvolvimento de estratégias diagnósticas em modelos de doenças como doença arterial periférica, doença de Alzheimer, cardiotoxicidade e neoplasias (Alashi et al., 2023; Lynch, 2007).

Os modelos com ratos e camundongos são amplamente empregados na pesquisa pré-clínica associada ao imageamento molecular, em função de sua elevada semelhança genética com humanos e rápida taxa reprodutiva, características que favorecem sua ampla aplicabilidade em estudos laboratoriais (Perlman, 2016; Batzoglou, 2000). Entretanto, a execução de procedimentos para administração de radiofármacos em ensaios pré-clínicos, incluindo aplicações pelas vias intraperitoneal, intraorbital e intravenosa pela veia da cauda, requer elevada qualificação técnica, precisão manual e rigor metodológico. Nesse cenário, a execução segura e reprodutível dessas técnicas depende de treinamento prévio adequado. Diante disso, os princípios éticos dos 3R's (*Replacement, Reduction e Refinement*) consolidaram-se como fundamento ético e científico essencial para a condução responsável da pesquisa com animais. Esses princípios propõem a adoção de estratégias capazes de minimizar o sofrimento animal e aprimorar a qualidade científica dos estudos por meio do refinamento e redução do uso de animais durante a experimentação (Lauwereyns et al., 2024; Grimm et al., 2023).

Assim, diante dos custos elevados e da necessidade de redução do uso de animais na pesquisa, o desenvolvimento de simuladores morfológicos surge como uma alternativa relevante. Os simuladores podem ser utilizados para o treinamento técnico e aperfeiçoamento de procedimentos, contribuindo para a redução do número de animais utilizados em etapas práticas iniciais e promovendo maior refinamento metodológico durante a capacitação experimental.

OBJETIVO

Identificar, na literatura científica, modelos de simuladores experimentais aplicados ao treinamento pré-clínico e desenvolver um simulador anatômico multifuncional de baixo custo para capacitação em procedimentos laboratoriais com roedores que possibilite o treinamento dos seguintes conjuntos de técnicas: contenção, gavagem, injeção intraorbital, injeção intraperitoneal e visualização anatômica.

MATERIAL E MÉTODOS

Revisão da literatura

A revisão da literatura foi realizada entre agosto de 2025 a fevereiro de 2026 nas bases de dados SciELO, PubMed e ScienceDirect, com o objetivo de identificar estudos relacionados ao desenvolvimento e aplicação de simuladores anatômicos voltados ao treinamento experimental e aos métodos alternativos ao uso de animais.

Foram utilizados os descritores “*experimental simulators*”, “*rodent simulator*”, “*3D printed phantom*”, “*voxel phantom*”, “*animal-free training*”, “*preclinical training*”, “*mouse phantom*” e “*3Rs principles*”, combinados pelos operadores booleanos *AND* e *OR*. Inicialmente, foram identificados 52 estudos. Após a remoção de duplicatas e análise de títulos e resumos, 28 artigos permaneceram para leitura completa, sendo 14 incluídos na revisão final.

Foram incluídos estudos originais publicados entre 2021 e 2026 que abordassem desenvolvimento, validação ou aplicação de simuladores experimentais voltados ao treinamento pré-clínico. Foram excluídos artigos de revisão, trabalhos sem descrição metodológica clara, estudos sem validação experimental e publicações sem relação direta com treinamento técnico em modelos murinos.

A seleção dos estudos ocorreu em três etapas: identificação, triagem e elegibilidade. A análise dos artigos permitiu identificar limitações recorrentes nos simuladores descritos na literatura, especialmente relacionadas ao alto custo, à complexidade de fabricação e à baixa integração entre diferentes técnicas experimentais, subsidiando o desenvolvimento do simulador multifuncional proposto neste estudo.

Confecção dos Protótipos e Seleção de Materiais

A conformação anatômica do simulador foi fundamentada em referências morfológicas descritas pelo atlas anatômicos de *Rattus norvegicus* <https://pt.scribd.com/presentation/678666009/Atlas-Rato>, possibilitando a reprodução em 3D dos principais órgãos e estruturas externas do animal. A elaboração estrutural do simulador foi conduzida com o objetivo de preservar características relacionadas à dimensionalidade, resistência mecânica e manipulação tátil, visando proporcionar maior fidelidade durante a execução

das técnicas experimentais. Para isso, a estrutura interna foi inicialmente confeccionada com papel alumínio modelado manualmente e, posteriormente, recoberta com fita crepe, a fim de promover estabilização estrutural e sustentação do molde. Em seguida, aplicou-se porcelana fria (*biscuit*) sobre toda a superfície externa, material selecionado devido à sua adequada maleabilidade durante a modelagem, além de conferir consistência, peso e resistência ao modelo (Figura 1).

Figura 1: Etapas de desenvolvimento do simulador anatômico multifuncional.



Fonte: Os autores, 2026.

A figura apresenta as etapas de elaboração do simulador biomimético desenvolvido para o treinamento de procedimentos laboratoriais em roedores. Na etapa A, observa-se o desenho inicial e o planejamento anatômico do projeto, fundamentados em atlas morfológicos de *Rattus norvegicus*. Na etapa B, evidencia-se o desenvolvimento da estrutura externa e da base corporal do simulador. Em seguida, na etapa C, são demonstradas a organização estrutural do modelo e a confecção das estruturas anatômicas internas removíveis. Na etapa D, observa-se o processo de pintura das estruturas anatômicas, realizado com o objetivo de favorecer sua identificação e proporcionar maior realismo visual ao modelo. Por fim, na etapa E, apresenta-se o simulador finalizado, contendo representação anatômica integrada e adaptada para o treinamento de técnicas experimentais e visualização anatômica.

Para a simulação da técnica de gavagem, foram adaptados segmentos de tubos de *equipo* hospitalar, utilizados para representar o trajeto esofágico. A escolha desse material permitiu reproduzir a flexibilidade e a complacência necessárias para a introdução da sonda de administração, favorecendo o treinamento da técnica e a percepção tátil do procedimento.

No simulador destinado à técnica intraorbital, confeccionou-se um orifício na região correspondente à cavidade orbital mediante utilização de agulha com calibre semelhante ao empregado em procedimentos experimentais reais, permitindo a simulação do acesso para administração de substâncias ou coleta de sangue. Adicionalmente, para a reprodução da técnica de injeção intraperitoneal, foi incorporado uma camada de parafilme na região torácica e abdominal do modelo. Essa adaptação foi empregada com a finalidade de representar funcionalmente o peritônio, permitindo a visualização dos órgãos internos e da região anatômica adequada para a introdução da agulha durante o procedimento de injeção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo central desta etapa foi identificar tecnologias assistivas e métodos que priorizassem o baixo custo, a acessibilidade dos materiais e a aplicabilidade no treinamento experimental. Nesse contexto, o Quadro 1 apresenta os principais modelos experimentais identificados na literatura, suas aplicações e respectivas referências. De maneira geral, observou-se que os simuladores atualmente disponíveis concentram-se principalmente em modelos produzidos por impressão 3D, modelos voxelizados e simuladores híbridos.

Quadro 1: Principais modelos experimentais identificados na literatura, suas aplicações e referências utilizadas na revisão.

Modelos experimentais	Principal função	Referência
Impressão 3D	Produzir estruturas anatômicas físicas para simulação experimental, calibração de equipamentos e treinamento pré-clínico, permitindo controle de variáveis.	Bainier et al.,2021; Bonafonte et al., 2025; George et al., 2023; Sarna et al., 2022; Wegner et al., 2023
Voxelizados	Simular computacionalmente a anatomia do roedor com alta resolução.	Teles et al., 2022; Yerro et al., 2024; 2025; Entenzam et al., 2023; Guillou et al., 2022
Simuladores Híbridos	Reprodução de propriedades fisiológicas por meio da combinação de impressão 3D e materiais biomiméticos	Cabahug et al., 2025; Antoniou et al., 2023

Fonte: Os autores, 2026.

Apesar do elevado potencial técnico e científico dessas tecnologias, muitos dos modelos analisados apresentaram limitações relacionadas à alta complexidade de confecção, aos custos elevados de produção e à necessidade de infraestrutura especializada, dificultando sua implementação em instituições com recursos limitados.

Os modelos produzidos por impressão tridimensional destacaram-se como os mais prevalentes entre os estudos analisados, principalmente devido à elevada fidelidade anatômica, versatilidade de fabricação e possibilidade de padronização experimental. Esses simuladores têm sido amplamente empregados no treinamento de procedimentos invasivos, incluindo técnicas de acesso venoso e microcirurgias, permitindo o desenvolvimento de habilidades técnicas sem a necessidade imediata da utilização de animais vivos. Estudos conduzidos por George et al. (2023), Bainier et al. (2021) e Bonafonte et al. (2025) demonstram que tais modelos favorecem a repetibilidade dos procedimentos e contribuem para a redução de variabilidades operacionais associadas ao treinamento experimental.

Além das aplicações voltadas ao treinamento técnico, os modelos impressos em 3D também vêm sendo incorporados ao contexto do imageamento molecular e da dosimetria experimental. Nessa perspectiva, Sarna et al. (2022) e Wegner et al. (2023) evidenciam sua

aplicabilidade em estudos oncológicos e na calibração de sistemas de aquisição de imagem, ampliando as possibilidades de utilização desses simuladores em pesquisas translacionais. Entretanto, apesar das vantagens observadas, muitos desses modelos apresentam limitações relacionadas ao elevado custo de produção, à necessidade de equipamentos especializados e à baixa integração entre diferentes funcionalidades experimentais, uma vez que diversos simuladores são desenvolvidos para aplicações específicas e isoladas, restringindo sua versatilidade operacional e acessibilidade em ambientes acadêmicos com infraestrutura limitada.

Os modelos voxelizados, por sua vez, distinguem-se pela elevada precisão anatômica associada à capacidade de reproduzir interações físicas e radiológicas em ambiente computacional. Esses modelos têm sido amplamente utilizados em estudos de dosimetria interna, distribuição de radionuclídeos e avaliação de parâmetros radiobiológicos. Trabalhos desenvolvidos por Teles et al. (2022) e Yerrou et al. (2024; 2025) demonstram aplicações relevantes no cálculo de *S-values* e na estimativa de deposição energética em tecidos.

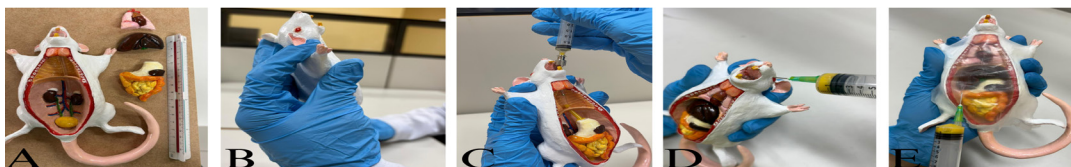
Adicionalmente, avanços metodológicos recentes incluem a validação experimental por meio da análise de histogramas dose-volume, conforme descrito por Entenzam et al. (2023), bem como a integração entre simulações de Monte Carlo e ressonância paramagnética eletrônica, relatada por Guillou et al. (2022). Essas abordagens ampliam significativamente a confiabilidade e o potencial translacional dos modelos computacionais. Contudo, apesar da elevada robustez metodológica, os modelos voxelizados permanecem predominantemente restritos ao ambiente computacional, apresentando limitada aplicabilidade prática no treinamento técnico manual e na simulação tátil de procedimentos experimentais, além de demandarem softwares especializados e elevado conhecimento técnico para sua implementação e manipulação.

Por fim, os simuladores híbridos representam uma evolução dos modelos convencionais ao associarem estruturas produzidas por impressão 3D a materiais com equivalência tecidual e propriedades biomiméticas. Essa combinação permite reproduzir, de maneira mais fidedigna, características anatômicas, físicas e fisiológicas dos tecidos biológicos, favorecendo aplicações experimentais de maior complexidade. Entretanto, apesar do elevado potencial translacional, muitos desses modelos ainda apresentam limitações relacionadas à complexidade de fabricação, à dificuldade de reprodução em larga escala e aos altos custos associados aos materiais biomiméticos utilizados, fatores que dificultam sua ampla disseminação e utilização rotineira em atividades de ensino e treinamento experimental.

Considerando as limitações identificadas nos simuladores previamente descritos na literatura, especialmente relacionadas à elevada complexidade de confecção, aos custos de produção e à limitada integração entre diferentes técnicas experimentais, foi desenvolvido um modelo de treinamento cinco em um, elaborado com base no atlas anatômico de *Rattus norvegicus*, com o objetivo de representar de forma realista estruturas anatômicas e

procedimentos frequentemente empregados em estudos laboratoriais *in vivo*. O simulador foi concebido como uma alternativa acessível, reprodutível e funcional, reunindo múltiplas aplicações em um único dispositivo e permitindo, simultaneamente, treinamento prático e visualização anatômica (Figura 2).

Figura 2: Simulador anatômico multifuncional para técnicas experimentais em *Rattus norvegicus*.



Fonte: Os autores, 2026.

Na Figura A, observa-se o modelo anatômico realista, contendo a representação das principais estruturas torácicas e abdominais, com preservação da proporcionalidade e organização interna. O simulador dispõe ainda de peças removíveis, favorecendo a identificação das estruturas e a compreensão de suas relações morfológicas. A Figura B apresenta o sistema de contenção do modelo, desenvolvido para reproduzir as condições de manipulação empregadas em procedimentos experimentais com roedores, permitindo estabilização adequada durante as práticas laboratoriais. Na Figura C, evidencia-se o módulo destinado à gavagem, possibilitando a simulação da introdução da sonda pela cavidade oral até o trato gastrointestinal. O dispositivo auxilia no treinamento da administração enteral e no aperfeiçoamento da execução técnica do procedimento. A Figura D demonstra o módulo voltado à administração intraorbital, reproduzindo os referenciais necessários para treinamento da técnica e permitindo a simulação da inserção do dispositivo de administração. Por fim, a Figura E apresenta o módulo de administração intraperitoneal, no qual o quadrante abdominal adequado é delimitado para inserção da seringa, contribuindo para maior segurança e compreensão da técnica.

De maneira geral, o simulador mostrou-se funcional na representação integrada de diferentes procedimentos laboratoriais. Sua aplicação apresenta relevância significativa, considerando que erros técnicos, mesmo discretos, podem resultar em lesões graves, intenso sofrimento animal, perdas experimentais e comprometimento metodológico dos estudos. Nesse contexto, a integração de múltiplas técnicas de treinamento em uma única plataforma favorece a padronização dos procedimentos, o aperfeiçoamento da execução técnica e a capacitação prévia de estudantes e profissionais, contribuindo para maior segurança durante os procedimentos e para a redução de falhas associadas à etapa inicial de aprendizagem.

CONCLUSÕES

A revisão da literatura evidenciou que os principais simuladores experimentais descritos atualmente apresentam elevada fidelidade anatômica e ampla aplicabilidade científica, porém ainda possuem limitações relacionadas ao alto custo, à complexidade de fabricação e à baixa acessibilidade para atividades de ensino e treinamento. Além disso, observou-se a escassez de modelos multifuncionais capazes de integrar diferentes técnicas experimentais em uma única plataforma.

Diante disso, o simulador anatômico multifuncional cinco em um desenvolvido neste estudo mostrou-se uma alternativa viável, acessível e funcional para o treinamento de técnicas laboratoriais em modelos pré-clínicos, incluindo contenção, gavagem, administração intraorbital, administração intraperitoneal e visualização anatômica. Sua aplicação contribui para a capacitação prévia de estudantes e profissionais, favorecendo a padronização dos procedimentos, a redução de erros técnicos e o fortalecimento dos princípios dos 3Rs, especialmente no refinamento e redução do uso de animais em treinamentos experimentais. Como perspectivas futuras, propõe-se o desenvolvimento de um simulador anatômico tridimensional por meio de impressão 3D, em formato de fantoma de rato para imageamento por MicroPET/CT, bem como a elaboração de um modelo específico para treinamento de administração intravenosa de radiofármacos pela veia da cauda.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq, à FINEP e à FACEPE pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALASHI, Alaa; VERMILLION, Billy C.; SINUSAS, Albert J. **The potential role of PET in the management of peripheral artery disease**. *Current Cardiology Reports*, v. 25, n. 8, p. 831–839, 2023.
- ANTONIOU, A.; NIKOLAOU, A.; GEORGIU, A.; EVRIPIDOU, N.; DAMIANOU, C. **Development of an US, MRI, and CT imaging compatible realistic mouse phantom for thermal ablation and focused ultrasound evaluation**. Amsterdam: Ultrasonics, 2023.
- BAINIER, M.; SU, A.; REDONDO, R. L. **3D printed rodent skin-skull-brain model: a novel animal-free approach for neurosurgical training**. San Francisco: PLOS ONE, 2021.
- BATZOGLOU, S. **Human and Mouse Gene Structure: Comparative Analysis and Application to Exon Prediction**. *Genome Research*, v. 10, n. 7, p. 950–958, 2000.
- BONAFONTE, D.; GANTENBEIN, F.; RUIZ PEREZ, D.; RUMPEL, R.; TRIMMEL, N. E. **A novel 3D-printed mouse model for surgical training: multicenter construct, face, and content validation study**. Memphis: *Journal of the American Association for Laboratory*

Animal Science, 2025.

CABAHUG, J. P. C.; TATU-QASSIM, S. S.; BALLESTEROS, L. I. M.; PADACA III, J. B. L.; ANTE, U. B.; SARMIENTO, V. M. et al. **Characterization and evaluation of tissue-equivalent materials for heterogeneous mouse model phantoms in radiobiology experiments**. Amsterdam: Radiation Physics and Chemistry, 2025.

ENTEZAM, A.; FIELDING, A.; BRADLEY, D.; FONTANAROSA, D. **Absorbed dose calculation for a realistic CT-derived mouse phantom irradiated with a standard Cs-137 cell irradiator using a Monte Carlo method**. San Francisco: PLOS ONE, 2023.

GEORGE, A. J.; O'MALLEY, C. I.; BULOCK, R. E.; HARMSSEN, B. J.; BRADO, G. E.; TURNER, P. V. et al. **Implementation of an alternative training method for cardiac blood collection in mice**. Memphis: Journal of the American Association for Laboratory Animal Science, 2023.

GRIMM, H.; et al. **Advancing the 3R's: innovation, implementation, ethics and society**. Frontiers in Veterinary Science, 2023.

GUILLOU, M.; L'HOMME, B.; TROMPIER, F.; GRUEL, G.; PREZADO, Y.; DOS SANTOS, M. **Preclinical modeling of low energy X-rays radiological burn: dosimetry study by Monte Carlo simulations and EPR spectroscopy**. Lausanne: Frontiers in Physiology, 2022.

LAUWEREYNS, J.; et al. **Toward a common interpretation of the 3R's principles in animal research**. Nature Lab Animal, 2024.

LYNCH TB, **PET/CT in Clinical Practice**. London: Springer London; 2007.

PERLMAN, Robert L. **Mouse models of human disease: an evolutionary perspective**. Evolution, Medicine, and Public Health, v. 2016, n. 1, p. 170–176, 2016.

SARNA, N. S.; MARRERO-MORALES, L.; DEGROFF, R.; RIVERA-RODRIGUEZ, A.; LIU, S.; CHIU-LAM, A. et al. **An anatomically correct 3D-printed mouse phantom for magnetic particle imaging studies**. Hoboken: Bioengineering & Translational Medicine, 2022.

TELES, P.; ANTUNES, J.; GÓMEZ-ROS, J. M. **Calculation of S-values for Technetium-99m in the DIGIMOUSE voxel phantom using Monte Carlo simulations**. Amsterdam: Radiation Physics and Chemistry, 2022.

WEGNER, M.; FRENZEL, T.; KRAUSE, D.; GARGIONI, E. **Development and characterization of modular mouse phantoms for end-to-end testing and training in radiobiology experiments**. Bristol: Physics in Medicine & Biology, 2023.

YERROU, R.; EL BAKKALI, J.; EL BARDOUNI, T.; AHANNOUT, B.; BEN LAZRAK, Y.; AKKA, A. et al. **Estimation of S-values using the Digimouse phantom for radionuclides commonly under preclinical investigation for treatment of early and terminal stages of hepatocellular cancer**. Amsterdam: Radiation Physics and Chemistry, 2025.

YERROU, R.; EL BAKKALI, J.; EL BARDOUNI, T.; DOUDOUH, A.; EL HAJJAJI, O.; EL

GHALBZOURI, T. **Evaluation of the InterDosi code in estimating S-values with the Digi-mouse voxelized mouse phantom.** Amsterdam: Radiation Physics and Chemistry, 2024.