

Desarrollo de simuladores didácticos de equipos de bioimagen en impresora 3D

Development of Didactic Simulators of Bioimaging Equipment in 3D Printer

Hellen Rosendo¹, Guillermo Alberto López², Marcus Oliveira^{2*}

ROSENDO, H.; ALBERTO LÓPEZ, G.; OLIVEIRA, M. Desarrollo de simuladores didácticos de equipos de bioimagen en impresora 3D. *J. health med. sci.*, 10(2):25-31, 2024.

RESUMEN: Los equipos utilizados en la radiología médica tienen sistemas complejos e avanzados de funcionamiento, y visto que el entendimiento de esas tecnologías radiológicas son imprescindibles para la formación del tecnólogo en radiología, y posteriormente para su futura integración en el mercado de trabajo, se torna necesario la utilización de herramientas educativas con la finalidad de mejorar el conocimiento técnico-científico. Teniendo en cuenta, y sabiendo que no siempre es posible acompañar el funcionamiento de estos dispositivos de forma aproximada, debido a la existencia de políticas restrictivas de visitas técnicas en algunos servicios, esto torna extremadamente relevante la construcción de pequeños simuladores de bajo costo, construidos a partir de la utilización de impresoras 3D. El objetivo de este trabajo es desarrollar simuladores didácticos utilizando la técnica de impresión 3D, de modo que permita la simulación y el funcionamiento de los equipos de imagen utilizados para fines diagnósticos. **Material y Métodos:** Se trata de un diseño de investigación sobre el desenvolvimiento de prototipos de equipos de imagen médica, disponibles en el sector de bio-imagen para fines didácticos. Las piezas 3D fueron modeladas digitalmente y impresas en una impresora 3D utilizando el filamento compuesto por ácido poliláctico (PLA), resultando en los siguientes modelos: equipo de resonancia magnética de campo cerrado e de campo abierto, equipo de tomografía computada y equipo de fluoroscopia arco en C. **Conclusiones:** Los simuladores se mostraron como un complemento excepcional de las literaturas, donde alumnos y profesores pudieron interactuar como objetos tangibles en menor escala, con un parecido operacional y comparado a los equipos comerciales.

PALABRAS CLAVES: Impresión 3D, Simulador interactivo, Radiología.

INTRODUCCIÓN

Con el avance de la radiología médica, la técnica de impresión en 3D viene siendo objetivo de mucho énfasis en las últimas décadas, por ser un campo que está en constante expansión (Cramer *et al.*, 2017) y que como consecuencia posibilita la creación y la visualización de los objetos en tres dimensiones por medio de sistemas computacionales, facilitando de esa forma su aplicación en las áreas que van desde la creación de *phantoms* para evaluar el control de calidad en equipos (Bieniosek *et al.*, 2015) hasta su implementación en el ambiente educacional (Garcia *et al.*, 2018).

En cuanto al área educacional, la impresión en 3D, también conocida como fabricación aditiva

(Farooqi *et al.*, 2016), se ha mostrado como una excelente aliada que permite reunir la teoría como la práctica en clase, habilitando el estudio de estructuras y objetos que antes solo podían ser comprendidos a través de la expresión oral o en imágenes de dos dimensiones (YE *et al.*, 2020).

Debido a la complejidad de las tecnologías y el acceso al centro de diagnóstico por imagen, surge la necesidad de crear alternativas didáctico-pedagógicas para la enseñanza de las tecnologías aplicadas en la radiología. Agregamos que debido a la pandemia de COVID-19, muchos hospitales restringieron el acceso de los alumnos a sectores de bio-imagen, de forma que implicó en el comprometimiento de las visitas técnicas y la observación de la realidad de los sectores.

¹ Facultad de Tecnología de Radiología, Instituto Federal da Bahia - IFBA, Salvador, BA, Brasil.

² Departamento de Tecnología y Biología de la Salud, Instituto Federal da Bahia - IFBA, Salvador, BA, Brasil.

* E-mail de correspondencia: marcusoliveira@ifba.edu.br

La introducción de los “*design science research*” (DSR) ha producido un aumento de los estudios para la mejoría de la práctica y del refinamiento de la teoría en las materias curriculares (Chen *et al.*, 2020). O DSR es una metodología utilizada que generalmente incluye el análisis del uso y la actuación de un artefacto para mejorar y entender el comportamiento de los aspectos del campo que pretende ser estudiado (Weber, 2018; Vaishnavi *et al.*, 2004). Frente a los desafíos encontrados en busca por alternativas para mejorar la enseñanza, el desenvolvimiento de simuladores didácticos con funcionalidades que permitan el mimetismo de algunos sistemas de operación, simulaciones de situaciones de riesgo de accidentes llega a ser de gran valor para los estudiantes.

Este estudio tiene por objetivo desarrollar modelos didácticos de equipos de diagnóstico por imagen impresos en 3D.

MATERIAL Y MÉTODO

Se trata de un diseño de investigación, de tipo descriptivo sobre el desenvolvimiento de prototipos de equipamientos de imagen médica, disponibles en el sector de bio-imagen para finalidad didáctica. Las piezas 3D fueron modeladas utilizando el software FreeCAD versión 0.19 (<http://www.freecadweb.org/>). Este software es de uso libre, no necesita licencia para su uso. Luego de la etapa de modelado, los objetos fueron salvados en formato. STL.

Después de esa etapa, para la realización de las pruebas fueron utilizados tres modelos de impresoras 3D del tipo FDM, la primera de la marca Voolt3D, modelo Gi3 que tiene una área de impresión de 20 cm x 20 cm por 18 cm, la segunda utilizada fue de la marca GTMax3D, modelo Core A1 Dual que tiene un área de impresión de 26 cm (ancho) x 20 cm (Profundidad) por 25 cm (Altura), e por último la tercera Impresora utilizada de la marca FlashForge, modelo Finder que tiene una área de impresión de 14 cm x 14 cm x 14 cm, siendo esta última utilizada para la obtención de todas las piezas finales.

En ambas impresoras fue utilizado filamentos de PLA (Ácido Poliláctico) blanco con un diámetro aproximado de 1,75 mm, e debido a la falta de filamento durante el período de prueba, preciso ser utilizado el filamento compuesto por ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) Blanco de 1,75 mm en algunos componentes. Los equipos y los filamentos que fueron utilizados

en este proyecto pertenecen al LAB PRINT, laboratorio de prototipos asociado a la carrera de Tecnología en Radiología del Instituto Federal da Bahía, Campus Salvador, y también a LAB IF MAKER, otro laboratorio del mismo ramo vinculado a la misma institución.

RESULTADOS

Los simuladores didácticos impresos fueron: equipo de Resonancia Magnética de campo cerrado y de Campo abierto, equipo de Tomografía Computada y equipo de fluoroscopia arco en C. En la confección de la resonancia de campo cerrado (Figura 1), las piezas precisaron ser construidas separadamente, de forma que la mesa y el equipo adecuadamente dicho fueron impresos separadamente. También fue decidido para dejar el fondo de la pieza central hueca para su posterior adecuación de los sistemas de funcionamiento, lo mismo ocurrió con las piezas de la tomografía.

El simulador de tomografía computada, por su vez, contiene un sistema de control de velocidad de movimiento de la mesa de examen y un sistema de engranajes motorizados para la rotación del conjunto tubo-detector (Figura 2). De esta forma, se puede demostrar didácticamente el funcionamiento del pitch.

Resonancia magnética de campo abierto (Figura 3), por contener una mesa incorporada, esta pieza puede ser impresa de una única vez, dejando apenas una cavidad para inserción de los imanes.

En relación con el equipo de fluoroscopia, fue necesario que la impresión ocurrió en dos etapas, siendo que primero fue impreso el carro del panel de control y posteriormente fue impreso el arco en C (Figura 4).

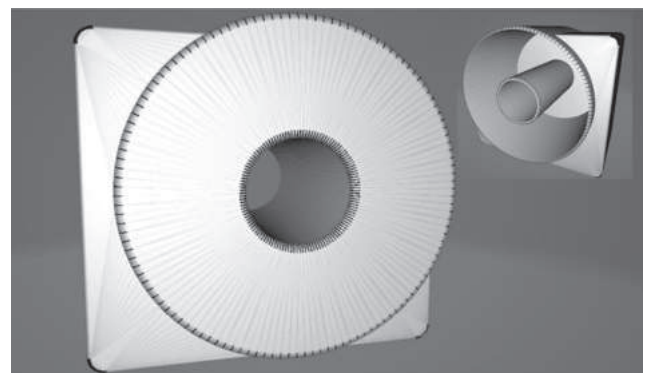


Figura 1. Visualización de la etapa de modelado de equipos de resonancia magnética de campo cerrado.

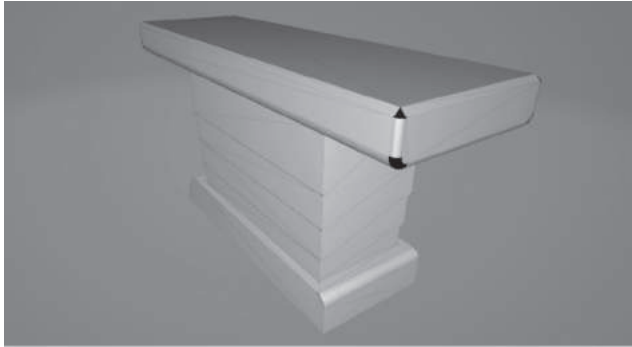


Figura 2. Visualización de la etapa de modelado de la mesa del equipo de resonancia magnética.

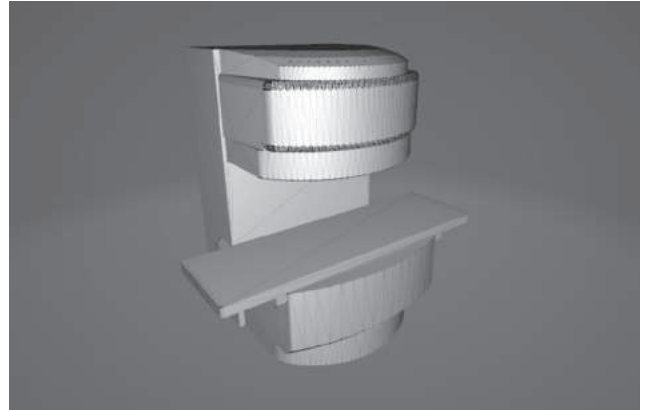


Figura 5. Visualización de la etapa de modelado del equipo de resonancia magnética de campo abierto.

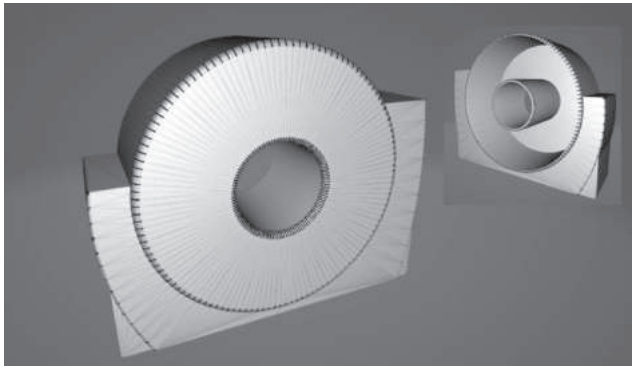


Figura 3. Visualización de la etapa de modelado del equipo de tomografía computarizada.

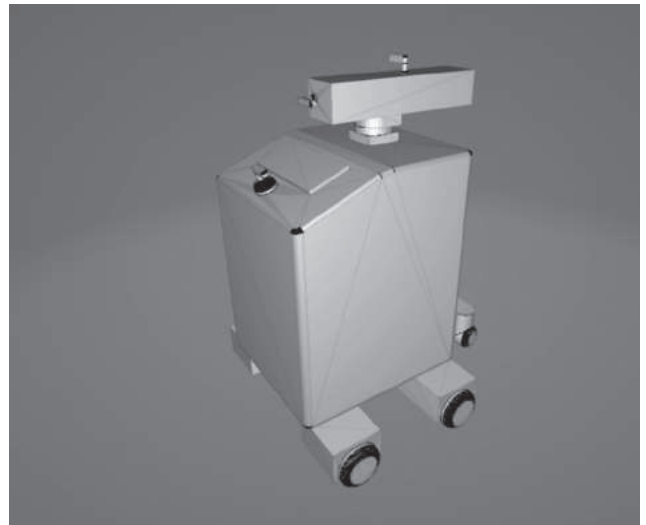


Figura 6. Visualización de la etapa de modelado del carro del equipo de arco en C.

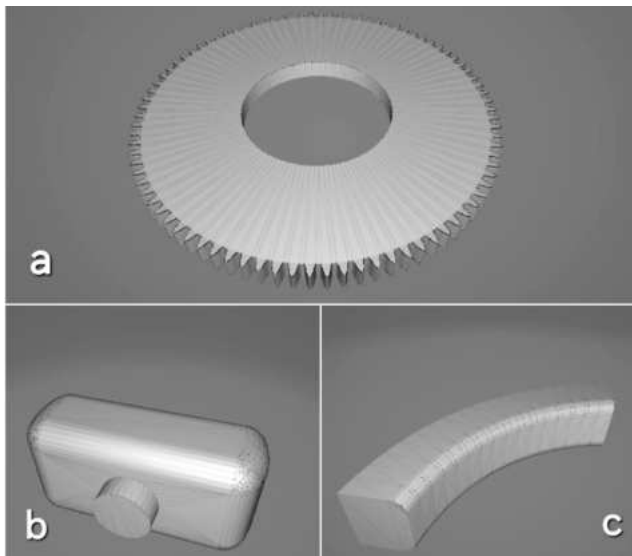


Figura 4. Visualización de la etapa de modelado de la parte interna del equipo de tomografía computarizada. El engranaje circular (a), el tubo de rayos X (b) y el detector (c) se imprimieron por separado.

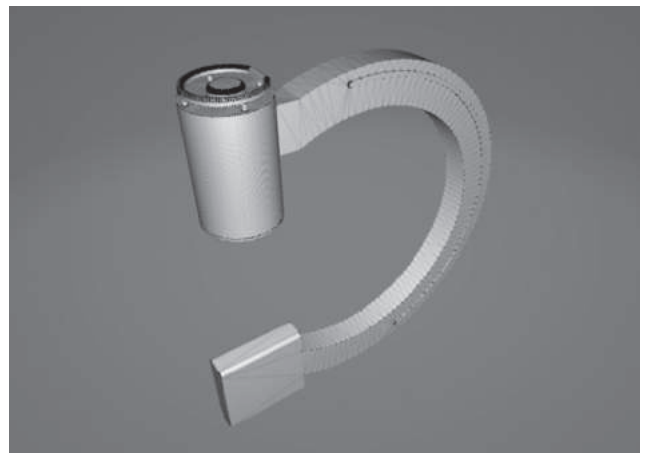


Figura 7. Visualización de la etapa de modelado del arco C.

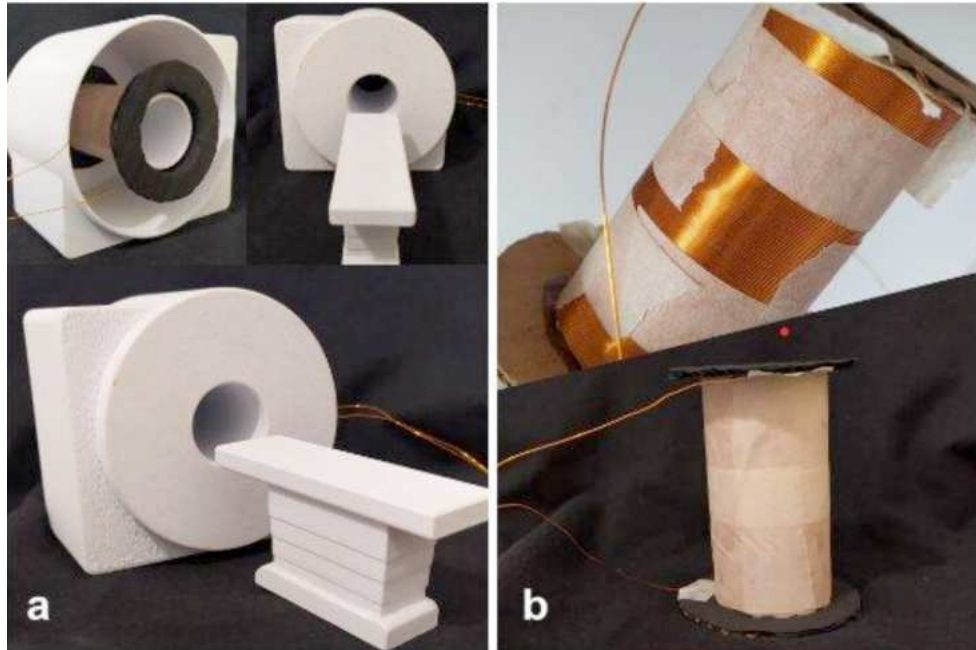


Figura 8. Modelo del equipo de resonancia magnética de campo cerrado impreso en 3D (a). Bobina solenoide para la producción del campo magnético (b).

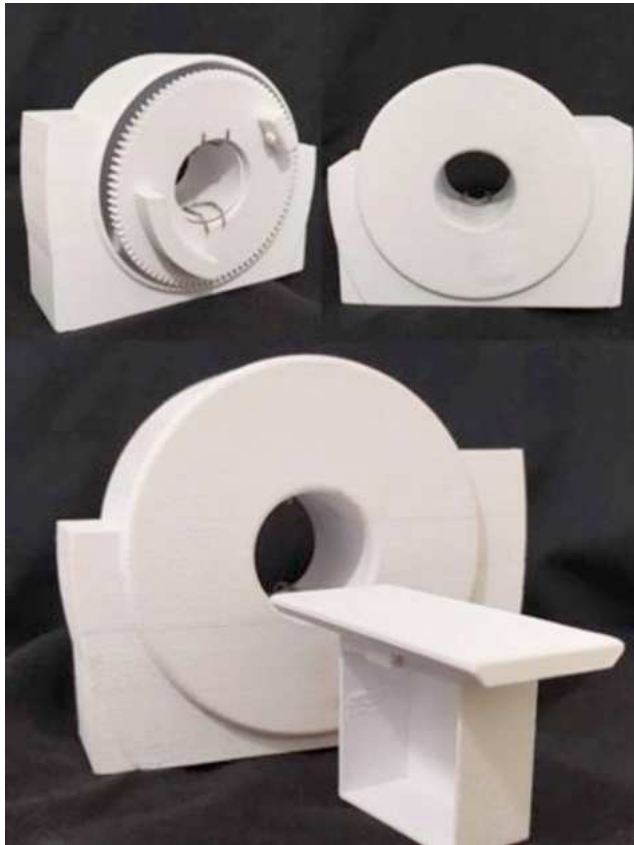


Figura 9. Modelo del equipo de tomografía computada impreso en 3D.



Figura 10. Modelo del equipo de resonancia magnética de campo abierto impreso en 3D.

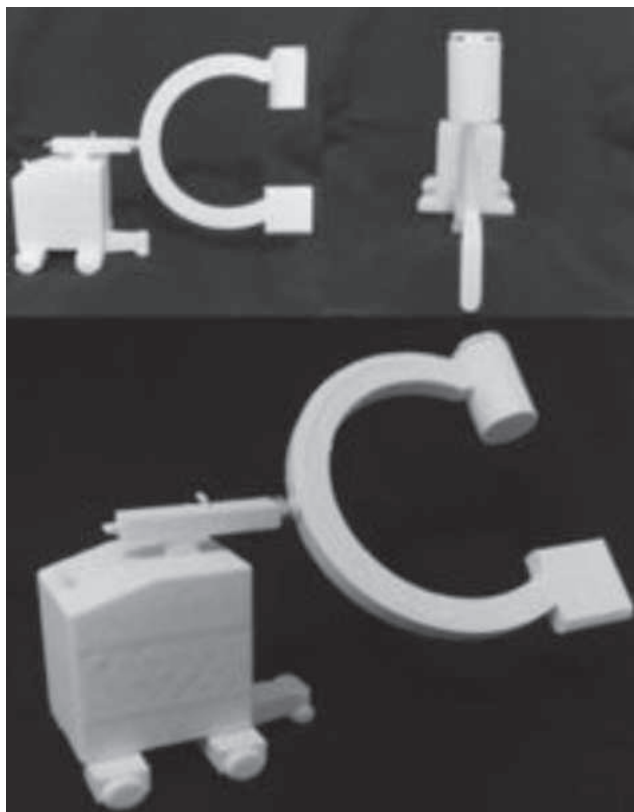


Figura 11. Modelo del equipo de arco en C impreso en 3D.

Después de la impresión de los simuladores fueron elaborados los sistemas de alimentación para el funcionamiento de los simuladores. El campo magnético del simulador del equipo de Resonancia magnética cerrado, fue construido a partir de una bobina, donde se utilizó alambre de cobre esmaltado de 26 AWG, que tiene un diámetro aproximado de 0,404 mm. Este sistema, por su vez, puede ser alimentado por un conjunto de baterías recargables o por una fuente de alimentación de banco. Para el simulador de campo abierto, se utilizó imanes de neodimio con diámetro de 15 mm y 5 mm de altura.

El simulador de arco en C fue construido con un brazo giratorio, que puede simular posibles angulaciones realizadas en un procedimiento intervencionista.

DISCUSIÓN

La formación de los profesionales de la salud, en particular, siempre ha sido objeto de debate, ya que la sociedad clama cada vez más por profesionales más críticos y resolutivos, es en este sentido

que las entidades educativas, junto con los docentes, han buscado introducir las llamadas metodologías activas, al contrario de lo que siempre se ha visto en las metodologías tradicionales, donde los docentes son vistos como el núcleo del aprendizaje, esta nueva metodología presenta una nueva perspectiva de la educación, donde los estudiantes se convierten en protagonistas de su propio conocimiento, siendo incentivados a desarrollar su lado práctico (Roman *et al.*, 2017).

Es evidente que, en estrategias de enseñanza como esta, al ser incorporada como parte fundamental del proceso de aprendizaje, los estudiantes tienden a exhibir un comportamiento más libre, ya que esta práctica permite una mayor interacción de los mismos y una cierta ruptura de dependencia creado por antiguo molde. De este modo, estos futuros profesionales ahora tienen la libertad de desarrollar soluciones prácticas y hasta tangibles para las determinadas situaciones y problemas presentados durante la carrera, y como resultado de todo este trabajo, los participantes pueden recibir el reconocimiento necesario, lo que acaba aún más con el involucramiento de los estudiantes durante el proceso (Macedo *et al.*, 2018).

Teniendo en cuenta los puntos comentados anteriormente, se puede señalar que la DSR es útil para resolver problemas relacionados con la práctica y al mismo tiempo desarrollar un aporte teórico a la disciplina estudiada, ya que es una solución que promueve el desarrollo de un artefacto de conocimiento y de investigación (Sibusiso *et al.*, 2021). Generalmente, la producción de un artefacto es aplicada para el desarrollo de softwares (Vaishnavi *et al.*, 2004). Sin embargo, Sibusiso *et al.* 2022 presentaron un estudio de caso evaluando el desarrollo de un artefacto aplicado a la enseñanza de la radiación en el área de medicina.

El foco de esta investigación, a su vez, fue la construcción de modelos físicos que pudieran simular los equipos de bioimagen presentes en ambientes clínicos y hospitalarios, por lo que la idea inicial fue construir un simulador simple, asertivo pero consistente con el modelo real. Teniendo esto en cuenta, se optó por la impresión 3D como la opción más viable para la estructura del prototipo, ya que se producirían objetos personalizados con características diferenciadoras como la ligereza y la resistencia. Sin embargo, durante la investigación se puede observar que trabajar con impresión 3D implica mucha

precaución y estudio, ya que las piezas a producir requieren de unos cuidados específicos, que implicarán, por ejemplo, adaptar la temperatura de la impresora al tipo de El filamento elegido, ya que en este caso utilizamos PLA que requiere una temperatura más baja que el filamento tipo ABS, y toda una serie de otros pequeños factores como este pueden influir en la calidad de la pieza final.

Debido a este estudio detallado, hubo que realizar una cantidad considerable de pruebas, y en consecuencia muchas piezas acabaron fallando por errores físicos, lo que acabó provocando que el proyecto se entregará en un plazo de tiempo de producción de una sola pieza era el promedio de 4 a 10 horas y la mayoría de las veces muchos de estos defectos sólo eran visibles en los últimos minutos de impresión, esto terminó provocando una inmensa pérdida de tiempo debido a la interrupción tardía del proceso y generando un desperdicio considerable de filamentos, por lo que para completar estos prototipos fue necesario utilizar dos rollos de 1kg de filamento por cada pieza.

Inicialmente estos simuladores fueron desarrollados con el objetivo principal de ayudar a los estudiantes del Instituto Federal a acceder al funcionamiento de equipos en los sectores de bio-imagen de forma práctica y muy sensorial, sin necesidad de salir del ambiente educativo, pero con el tiempo estas herramientas de hecho, pueden representar la creación de nuevas posibilidades para una enseñanza más dinámica e inclusiva, es decir, una investigación interdisciplinaria aún más detallada, además de la creación de simuladores para otras áreas de la radiología mediante la impresión 3D, que ha demostrado ser revolucionaria en la fabricación.

Limitaciones

La posibilidad de una correlación entre la impresión 3D y la medicina es algo que, de hecho, es nuevo, pero se ha explorado constantemente, pero todavía faltan más estudios en esta área. La dificultad de encontrar estudios con intereses similares a este se convirtió en uno de los principales factores limitantes para el desarrollo de esta investigación.

CONCLUSIONES

Por lo tanto, se puede concluir que la creación de estos simuladores didácticos es de gran

valor para mejorar la enseñanza teórico-práctica durante la formación de los futuros profesionales de la radiología médica, ya que promueve la inclusión del estudiante en todo el proceso de aprendizaje y principalmente en el creativo, aclarando así todas las dudas durante el proceso de desarrollo del conocimiento a través de la construcción práctica.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) a través del Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC). Gracias también por el apoyo del laboratorio de imágenes médicas (LABIMM), ubicado en el Instituto Federal da Bahia.

ABSTRACT: The equipment used in medical radiology has complex and advanced operating systems, and since the understanding of these radiological technologies is essential for the training of radiology technologists and, subsequently, for their future integration into the job market, it becomes necessary to use educational tools to improve technical-scientific knowledge. Bearing this in mind, and knowing that it is not always possible to monitor the operation of these devices closely due to the existence of restrictive policies on technical visits in some services, it becomes extremely relevant to build small, low-cost simulators built using 3D printers. This work aims to develop didactic simulators using the 3D printing technique so that it allows the simulation of the operation of imaging equipment used for diagnostic purposes. **Material and Method:** This is an experimental and descriptive study on developing medical imaging equipment prototypes available in the bioimaging sector for didactic purposes. The 3D parts were digitally modelled and printed on a 3D printer using the filament composed of polylactic acid (PLA), resulting in the following models: closed-field and open-field magnetic resonance equipment, computed tomography equipment and C-arm fluoroscopy equipment. With the completion of this stage, the operational circuits were executed. **Conclusion:** The simulators proved to be an exceptional complement to the literature, where students and teachers could interact with something tangible on a smaller scale but with an operational similarity compared to commercial equipment.

KEYWORDS: 3D printing, Interactive simulator, Radiology.

REFERENCIAS

Bieniosek, M.F.; Lee, B.J.; Levin, C.S. Technical Note: Characterization of Custom 3D Printed Multimodality

- Imaging Phantoms. *Med. Phys*, 42,(10): 5913-8, 2015. doi: 10.1118/1.4930803.
- Branco, Héctor Stuani. Estudo da Atenuação de Radiação Ionizante por Filamentos Utilizados em Impressoras 3D. Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Linhares de Oliveira. 2020. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Radiologia, Departamento de Tecnologia em Saúde e Biologia, Instituto Federal da Bahia, Salvador, 2020.
- Technology and Its Application in Medical Materials. *Frontiers in Pharmacology*, 11: 122, 2020. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00122>.
- Farooqi, K.M.; Saeed, O.; Zaidi, A.; Sanz, J.; Nielsen, J.C.; Hsu, D.T.; Jorde, U.P. 3D Printing to Guide Ventricular Assist Device Placement in Adults With Congenital Heart Disease and Heart Failure. *JACC Heart Fail.*, 4(4): 301-11, 2016. doi: 10.1016/j.jchf.2016.01.012.
- Garcia, J.; Yang, Z.; Mongrain, R.; Leask, R.; Lachapelle, K. 3D printing materials and their use in medical education: a review of current technology and trends for the future. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn*. 4(1): 27-40, 2018. doi: 10.1136/bmjstel-2017-000234.
- Liaw, C.Y.; Guvendiren, M. Current and emerging applications of 3D printing in medicine. *Biofabrication*. 7;9(2): 024102, 2017. doi: 10.1088/1758-5090/aa7279.
- Macedo, K.D.S.; Acosta, B.S.; Silva, E.B.; Souza, N.S.; Colome, C.L.; Dames de Silva, K.K. Metodologias Ativas de Aprendizagem: Caminhos Possíveis para Inovação no Ensino em Saúde. *Escola Anna Nery*, 22: 3, 2018. <https://doi.org/10.1590/2177-9465-EAN-2017-0435>.
- Mdletshe, Sibusiso *et al.* Design Science Research Application in Medical Radiation Science Education: A Case Study On The Evaluation of a Developed Artifact. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*. 54(1): 206-21, 2022.
- Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde, Departamento de Gestão da Educação na Saúde. Técnico em Radiologia: Diretrizes e Orientações para a Formação. Brasília: Ministério da Saúde, 48: 2011.
- Roman, C.; Ellwanger, J.; Becker G.; Donelli da Silva, A.; Bezerra, C.; Manforoi, W. Metodologias Ativas de Ensino-Aprendizagem no Processo De Ensino em Saúde no Brasil: Uma Revisão Narrativa. *Clin Biomed Res*. 37: 4, 2017.
- Sibusiso Mdletshe, Marcus Oliveira and Bhekisipho Twala. Enhancing Medical Radiation Science Education Through a Design Science Research Methodology. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 1-7, 2021.
- Vaishnavi, V.; Kuechler, W.; Petter, S. Design Science Research in Information Systems; last updated Available from: 2004. <http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>.
- Weber, S. Comparing Key Characteristics of Design Science Research as an Approach and Paradigm. In: Proceedings Of The Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS). Available from: <http://www.pacis-net.org/file/2012/PACIS2012-175.pdf>. 2012
- Yang, L.; Grottkau, B.; He, Z.; Ye, C. Three Dimensional Printing Technology and Materials for Treatment of Elbow Fractures. *International Orthopaedics*, 41,(11): 2381-2387, 2017.
- Ye, Z.; Dun, A.; Jiang, H.; Nie, C.; Zhao, S.; Wang, T.; Zhai, J. The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med Educ*. 20(1): 335, 2020. doi: 10.1186/s12909-020-02242-x.

Autor de correspondencia:

Marcus Vinicius Linhares de Oliveira
correo: marcusoliveira@ifba.edu.br
Departamento de Tecnología y
Biología de la Salud,
Instituto Federal da Bahia - IFBA,
Salvador, BA, Brazil.

Recibido: 13 de Marzo, 2024

Aceptado: 13 de Junio, 2024

