INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

ANA CAROLINA PALOSCHI NOGUEIRA

JÚLIA CHAVES DE SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE UM ACESSÓRIO IMPRESSO EM 3D PARA O TESTE DIÁRIO DE ALINHAMENTO DOS LASERS EM ACELERADORES LINEARES

FLORIANÓPOLIS, 2026

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇOS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

ANA CAROLINA PALOSCHI NOGUEIRA
JÚLIA CHAVES DE SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE UM ACESSÓRIO IMPRESSO EM 3D PARA O TESTE DIÁRIO DE ALINHAMENTO DOS LASERS EM ACELERADORES LINEARES

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Radiologia.

Profª Orientadora: Dra. Juliana dos Santos Müller
Profª Coorientadora: Dra. Patrícia Fernanda Dorow

FLORIANÓPOLIS, 2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Ana Carolina Paloschi Nogueira, Júlia Chaves de Souza
DESENVOLVIMENTO DE UM ACESSÓRIO IMPRESSO EM 3D PARA
O TESTE DIÁRIO DE ALINHAMENTO DOS LASERS EM ACELERADORES LINEARES
/ Júlia Chaves de Souza Ana Carolina Paloschi
Nogueira; orientação de Juliana Dos Santos Müller
; coorientação de Patrícia Fernanda Dorow. -
Florianópolis, SC, 2026.
1 [illegible] p.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST
em Radiologia. Departamento Acadêmico de Saúde e
Serviços.
Inclui Referências.

1. Radioterapia. 2. Aceleradores Lineares. 3. Controle
de Qualidade. 4. Impressão 3D. 5. Saúde. I. Dos
Santos Müller , Juliana . II. Dorow, Patrícia Fernanda.
III. Instituto Federal de Santa Catarina. IV. DESENVOLVIMENTO
DE UM ACESSÓRIO IMPRESSO EM 3D PARA O TESTE
DIÁRIO DE ALINHAMENTO DOS LASERS EM ACELERADORES LINEARES.

DESENVOLVIMENTO DE UM ACESSÓRIO IMPRESSO EM 3D PARA O TESTE DIÁRIO DE ALINHAMENTO DOS LASERS EM ACELERADORES LINEARES

ANA CAROLINA PALOSCHI NOGUEIRA

JÚLIA CHAVES DE SOUZA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Radiologia e aprovado, na sua forma final, pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis 02 de julho de 2026.

Banca Examinadora:

Professora Dra. Juliana dos Santos Müller
Orientadora - IFSC

Professora Dra. Patrícia Fernanda Dorow
Coorientadora - IFSC

Professora Esp. Layla de Souza Coelho

Professor Me. Marco Antonio Bertoncini Andrade

AGRADECIMENTOS

Júlia Chaves de Souza: Minha profunda gratidão às pessoas mais importantes da minha vida: meus pais, Amilton e Márcia, meus irmãos, Lucas e Vinícius, e minha melhor amiga, Luiza. Vocês são meus maiores exemplos de amor e coragem. Obrigada por sempre me acolherem e estarem ao meu lado em cada passo.

Agradeço também aos meus amigos, a família que a vida me permitiu escolher, sendo grata todos os dias por ter vocês comigo, crescendo e dividindo novas e lindas memórias. Um agradecimento muito especial à minha amiga de vida e colega, Ana, sou extremamente grata por ter te conhecido e por ter compartilhado essa etapa tão importante ao seu lado.

O apoio e o amor de todos vocês me levaram a lugares que eu jamais imaginei alcançar. Ter vocês comigo é, sem dúvidas, a maior sorte que eu poderia ter na vida.

Ana Carolina Paloschi Nogueira: Agradeço primeiramente meus pais Daniela e Rogério, que antes de qualquer coisa, me ensinaram a ser uma boa pessoa. Agradeço ao meu irmão, Paulo Ricardo, por quem mantenho meu foco todos os dias e dou meu melhor para mostrar que tudo o que sonhamos pode sim se tornar realidade. Reconheço que ninguém chega a lugar algum sozinho, por isso, expresso minha profunda gratidão à todos os amigos e familiares que fizeram cada parte deste caminho ser um pouco mais leve. Também gostaria de agradecer profundamente à minha colega de pesquisa e amiga pessoal, Júlia Chaves de Souza pelo apoio, paciência e parceria durante todo o projeto. Que nossa amizade perdure muitos anos. Por fim, agradeço à vida que escolhi e tive a coragem de trilhar.

Agradecemos à nossa orientadora, Dra. Juliana dos Santos Muller, e à Profª. Coorientadora, Dra. Patrícia Fernanda Dorow, por toda a dedicação imensurável. Agradecemos por terem nos guiado da melhor forma possível ao longo deste percurso, compartilhando sua sabedoria, paciência e incentivo em cada etapa desenvolvida. Sem o suporte e o direcionamento de ambas, esta conquista não teria sido possível.

Gostaríamos de agradecer ao Centro de Pesquisas Oncológicas - CEPON, juntamente a todos os profissionais envolvidos, por todo acolhimento, estrutura e colaboração para realização deste projeto.

Agradecemos profunda e especialmente ao nosso professor Me. Marco Antônio Bertoncini Andrade pelo suporte, paciência e grande conhecimento, e agradecemos também a todos os integrantes do Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde (LabMAIS), , pelo apoio técnico e pela disponibilização dos equipamentos e materiais necessários. Ao Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, agradecemos a possibilidade de formação acadêmica de maneira gratuita e de qualidade.

Sem a colaboração e incentivo de cada um, este projeto não teria sido possível.

RESUMO

Introdução: O câncer representa um grande desafio principalmente para a saúde pública, com estimativas de novos casos no Brasil maiores que 780 mil entre 2026-2028. A radioterapia, modalidade fundamental no tratamento oncológico, depende de aceleradores lineares e de rigorosos protocolos de controle de qualidade para garantir a segurança e eficácia dos tratamentos. Entre esses protocolos, destaca-se o teste diário de alinhamento dos lasers, indispensável para o correto posicionamento do paciente e, consequentemente, para a precisão da dose administrada. Contudo, os acessórios utilizados nesses testes são, em sua maioria, importados e de alto custo, o que limita a autonomia dos serviços nacionais. **Objetivo:** Desenvolver um acessório impresso em 3D, de baixo custo e com reprodutibilidade dimensional, para a realização do teste diário de alinhamento dos lasers em aceleradores lineares em um hospital público de referência em oncologia. **Materiais e métodos:** O estudo caracterizou-se como exploratório, descritivo e de abordagem quantitativa. Conduzido sob os preceitos da Pesquisa Participativa de Base Comunitária, o desenvolvimento do acessório envolveu o planejamento, desenho técnico no *software Fusion 360* e produção de protótipos por manufatura aditiva (impressão 3D) em resina, no Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde (LabMAIS) do IFSC. Os protótipos foram submetidos a avaliações com a equipe de radioterapia do hospital parceiro, físicos médicos e tecnólogos, até a obtenção da versão final, denominada "CORA". O produto final foi então incorporado ao Procedimento Operacional Padrão (POP) da instituição. **Resultados:** Foram desenvolvidas cinco versões, com melhorias a cada uma delas, nas dimensões, espessura e sistema de marcação (substituição da régua impressa por uma fita milimetrada). A versão final "CORA" foi produzida com 51,9 g de resina em 12 horas e 37 minutos, garantindo viabilidade técnica e custo reduzido. O dispositivo demonstrou aplicabilidade clínica, permitindo a verificação visual do alinhamento dos lasers com tolerância de até 2 mm, conforme protocolos estabelecidos. **Conclusão:** O acessório impresso em 3D "CORA" mostrou-se uma solução inovadora, viável e de baixo custo para o controle de qualidade em radioterapia. Seu desenvolvimento supriu a demanda do hospital parceiro, promovendo a autonomia tecnológica nacional e demonstrou o potencial da manufatura aditiva para a inovação no Sistema Único de Saúde.

Palavras-chave: Radioterapia. Aceleradores lineares. Controle de qualidade. Impressão 3D. Saúde.

ABSTRACT

Introduction: Cancer represents a major challenge, especially for public health, with estimates of more than 780,000 new cases in Brazil between 2026–2028. Radiotherapy, an important modality in cancer treatment, relies on linear accelerators and strict quality control protocols to ensure the safety and effectiveness of treatments. Among these protocols, the daily laser alignment test stands out as indispensable for the correct positioning of the patient and, consequently, for the accuracy of the administered dose. However, the accessories used in these tests are mostly imported and costly, which limits the autonomy of national services. **Objective:** To develop a low-cost, dimensionally reproducible 3D-printed accessory for performing the daily laser alignment test in linear accelerators at a public oncology reference hospital. **Materials and methods:** The study was characterized as exploratory, descriptive, and quantitative. Conducted under the principles of Community-Based Participatory Research, the development of the accessory involved planning, technical design using Fusion 360 software, and production of prototypes through additive manufacturing (3D printing) in resin at the Laboratory of Additive Manufacturing and Innovation in Health (LabMAIS) at IFSC. The prototypes were evaluated by the radiotherapy team of the partner hospital, including medical physicists and technologists, until the final version, named “CORA,” was obtained. The final product was then incorporated into the institution’s Standard Operating Procedure. **Results:** Five versions were developed, with improvements in dimensions, thickness, and marking system (replacing the printed ruler with a millimeter tape). The final version “CORA” was produced with 51.9 g of resin in 12 hours and 37 minutes, ensuring technical feasibility and reduced cost. The device demonstrated clinical applicability, allowing visual verification of laser alignment with a tolerance of up to 2 mm, according to established protocols. **Conclusion:** The 3D-printed accessory “CORA” proved to be an innovative, feasible, and low-cost solution for quality control in radiotherapy. Its development met the demand of the partner hospital, promoted national technological autonomy, and demonstrated the potential of additive manufacturing for innovation within Brazil’s Unified Health System.

Keywords: Radiotherapy. Linear Accelerators. Quality Control. 3D Printing. Health Care.

LISTA DE FIGURAS

Fluxograma 1 - Etapas de produção do acessório..... 19
Figura 1 - Tabela de testes diários com tolerância.....21
Figura 2 - Protótipo 1 do cubo no software Fusion 360..... 22
Figura 3 - Protótipo 1 do cubo impresso em 3D.....23
Figura 4 - Protótipo 1 do cubo submetido a testes nos lasers..... 24
Figura 5 - Protótipo 2 do cubo no software Fusion 360..... 25
Figura 6 - Protótipo 2 do cubo impresso em 3D.....25
Figura 7 - Protótipo 3 do cubo no software Fusion 360..... 26
Figura 8 - Protótipo 3 do cubo impresso em 3D.....27
Figura 9 - Protótipo 4 do cubo no software Fusion 360..... 28
Figura 10 - Protótipo 4 do cubo impresso em 3D.....28
Figura 11 - Protótipo 5 do cubo no software Fusion 360..... 29
Figura 12 - Protótipo 5 do cubo impresso em 3D.....30
Figura 13 - Fita adesiva milimetrada no software CorelDRAW.....31
Figura 14 - Objeto simulador final CORA.....31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Insumos utilizados na produção do objeto simulador e seus protótipos…….…….. 32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO……..……..….11

1.1 Objetivos…….……..…...13

1.1.1 Objetivos Geral……...……..…….……...….13

1.1.2 Objetivos Específicos...……..…….……13

2 MANUSCRITO…….……..……14

3 INTRODUÇÃO……..…….……15

4 MATERIAIS E MÉTODOS…….……..……..18

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES…..……..20

5.1 Caracterização do Teste Diário dos Lasers …….....20

5.2 Produção do Acessório para Controle de Qualidade dos Laseres.....22

5.3 Procedimento operacional padrão para adaptação do Teste de Controle de Qualidade do Alinhamento dos Lasers 34

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS…….…….38

REFERÊNCIAS……40

1 INTRODUÇÃO

O câncer representa um dos maiores desafios de saúde pública da atualidade, tanto em escala global quanto nacional. As projeções do Instituto Nacional de Câncer indicam um crescimento no número de novos casos nos próximos anos, aumentando a demanda por serviços especializados de diagnóstico e tratamento. No Brasil, a estimativa para os anos de 2026 a 2028 foi de aproximadamente 781 mil novos casos, sendo cânceres de mama feminina e de próstata os de maior incidência, excluindo o câncer de pele (Martins, 2026). Nesse contexto, a radioterapia se posiciona como uma importante modalidade terapêutica no tratamento do câncer, exigindo infraestrutura tecnológica e especializada, juntamente com protocolos rigorosos de controle de qualidade para garantir a segurança dos tratamentos.

Os aceleradores lineares, principais equipamentos utilizados na radioterapia, demandam verificações constantes de seus parâmetros operacionais; segundo a TEC DOC - 1151 (INCA, 2000), a garantia da qualidade reduz significativamente os riscos de falhas no planejamento do tratamento e na administração da dose destinada ao paciente. Isto inclui testes de alinhamento dos lasers, indispensáveis para o funcionamento diário do equipamento, já que são por eles que são realizados o posicionamento dos pacientes tratados. Estes procedimentos asseguram que a dose de radiação seja administrada de forma correta, reduzindo riscos e aumentando a eficácia terapêutica. Conforme destacado em documento técnico nacional, “a garantia da qualidade minimiza os erros no planejamento de tratamento e administração da dose ao paciente, e portanto melhora os resultados da radioterapia, aumentando a taxa de remissões e diminuindo a taxa de complicações e recidivas” (INCA, 2000, p. 11). Entretanto, a execução desses testes depende de acessórios específicos, normalmente importados e de alto custo, o que limita a autonomia tecnológica do país.

Diante desse panorama, tecnologias inovadoras podem contribuir para o desenvolvimento de soluções mais acessíveis e adaptáveis às necessidades dos serviços de radioterapia. A impressão tridimensional (3D), também conhecida como manufatura aditiva, surge como uma alternativa para a produção de dispositivos personalizados, reproduzíveis e de baixo custo. Essa tecnologia permite o

desenvolvimento de acessórios adaptados às demandas específicas dos serviços, contribuindo para a redução de custos e autonomia tecnológica nacional. Conforme apontado, “a tecnologia de impressão 3D ganhou destaque significativo na radioterapia tumoral, oferecendo oportunidades sem precedentes para personalização e precisão” (Jiang *et al.*, 2024, p. 3). Além disso, estudos indicam que a impressão 3D oferece um método econômico para a fabricação de modelos e dispositivos personalizados utilizados no controle de qualidade em radioterapia (Jenkins; Xing, 2015).

Apesar das vantagens, o desenvolvimento de acessórios por meio de impressão 3D destinados ao uso em ambiente clínico exige protocolos rigorosos de validação, capazes de garantir equivalência funcional com dispositivos comerciais já existentes. Esses protocolos devem incluir avaliações de estabilidade dimensional sob irradiação e reprodutibilidade das medições ao longo do tempo, assegurando a confiabilidade dos acessórios desenvolvidos. Segundo Paxton (2023), equipes de pesquisa em impressão 3D de todo o mundo desenvolveram e relataram uma variedade de métodos de gestão da qualidade, focando no estabelecimento da precisão dimensional reprodutível das peças impressas em 3D, já que até o momento não existem padrões para o controle de qualidade dentro da manufatura aditiva.

A ausência ou limitação desses dispositivos pode dificultar a detecção de falhas, aumentar o risco de erros e comprometer a conformidade dos feixes de radiação utilizados no tratamento dos pacientes (Krauss, 2023). Por isso, o desenvolvimento de acessórios produzidos por manufatura aditiva pode contribuir significativamente na autonomia tecnológica nacional e na melhoria das rotinas de controle de qualidade nos serviços de radioterapia. Além de atender a uma demanda para aprimoramento e agilidade no teste diário dos *lasers* do hospital parceiro, que é referência em oncologia no estado de Santa Catarina, iniciativas desse tipo promovem inovação tecnológica aplicada à saúde e fortalecem a capacidade de resposta do Sistema Único de Saúde (SUS) frente ao avanço de ocorrências de casos de câncer e às exigências de precisão dos tratamentos.

Assim, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um acessório impresso em 3D destinado ao teste de alinhamento dos lasers em aceleradores

lineares, propondo uma solução inovadora e de baixo custo para o controle de qualidade na área da Radioterapia. Diante do aumento da incidência de câncer (INCA, 2025) e da crescente demanda por tratamentos precisos, a pesquisa busca oferecer uma alternativa que reduza a dependência de dispositivos importados e de custo elevado. A proposta envolve a elaboração do desenho técnico do dispositivo, a seleção de materiais adequados e a aplicação de protocolos de validação para avaliar sua aplicabilidade no controle de qualidade dos equipamentos, buscando uma alternativa de menor custo em comparação aos acessórios comerciais, além de contribuir para o avanço do conhecimento e da inovação tecnológica na área da Radioterapia.

Para fins de divulgação científica, este manuscrito será submetido à Revista Brazilian Journal of Radiation Technology Research.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um acessório impresso em 3D para o Teste Diário de Alinhamento dos Lasers em Aceleradores Lineares.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral do estudo, foram estabelecidos três objetivos específicos interrelacionados:

a) elaborar o desenho técnico do acessório, considerando os parâmetros de precisão e aplicabilidade requeridos no controle de qualidade de aceleradores lineares;
b) produzir o protótipo do acessório por meio de impressão 3D, assegurando a fidelidade dimensional e a adequação ao uso em ambiente clínico;
c) atualizar o Procedimento Operacional Padrão (POP) do hospital parceiro para o controle de qualidade do teste de alinhamento dos *lasers*.

2 MANUSCRITO

DESENVOLVIMENTO DE UM ACESSÓRIO IMPRESSO EM 3D PARA O TESTE DIÁRIO DE ALINHAMENTO DOS LASERS EM ACELERADORES LINEARES

Ana Carolina Paloschi Nogueira[1]
Júlia Chaves de Souza[2]
Patrícia Fernanda Dorow[3]
Juliana do Santos Müller[4]

RESUMO

Introdução: O câncer representa um grande desafio principalmente para a saúde pública, com estimativas de novos casos no Brasil maiores que 780 mil entre 2026-2028. A radioterapia, modalidade fundamental no tratamento oncológico, depende de aceleradores lineares e de rigorosos protocolos de controle de qualidade para garantir a segurança e eficácia dos tratamentos. Entre esses protocolos, destaca-se o teste diário de alinhamento dos lasers, indispensável para o correto posicionamento do paciente e, consequentemente, para a precisão da dose administrada. Contudo, os acessórios utilizados nesses testes são, em sua maioria, importados e de alto custo, o que limita a autonomia dos serviços nacionais. **Objetivo:** Desenvolver um acessório impresso em 3D, de baixo custo e com reprodutibilidade dimensional, para a realização do teste diário de alinhamento dos lasers em aceleradores lineares em um hospital público de referência em oncologia. **Materiais e Métodos:** O estudo caracterizou-se como exploratório, descritivo e de abordagem quantitativa. Conduzido sob os preceitos da Pesquisa Participativa de Base Comunitária, o desenvolvimento do acessório envolveu o planejamento, desenho técnico no *software Fusion 360* e produção de protótipos por manufatura aditiva (impressão 3D) em resina, no Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde (LabMAIS) do IFSC. Os protótipos foram submetidos a avaliações com a equipe de radioterapia do hospital parceiro, físicos médicos e tecnólogos, até a obtenção da versão final, denominada "CORA". O produto final foi então incorporado ao Procedimento Operacional Padrão (POP) da instituição. **Resultados:** Foram desenvolvidas cinco versões, com melhorias a cada uma delas, nas dimensões, espessura e sistema de marcação (substituição da régua impressa por uma fita milimetrada). A versão final "CORA" foi produzida com 51,9 g de resina em 12 horas e 37 minutos, garantindo viabilidade técnica e custo reduzido. O dispositivo demonstrou aplicabilidade clínica, permitindo a verificação visual do alinhamento dos lasers com tolerância de até 2 mm, conforme protocolos estabelecidos. **Conclusão:** O acessório impresso em 3D "CORA" mostrou-se uma solução inovadora, viável e de baixo custo para o controle de qualidade em radioterapia. Seu desenvolvimento supriu a demanda do hospital parceiro, promovendo a autonomia tecnológica nacional e demonstrou o potencial da manufatura aditiva para a inovação no Sistema Único de Saúde.

Palavras-Chave: Radioterapia. Aceleradores Lineares. Controle de Qualidade. Impressão 3D. Saúde.

3 INTRODUÇÃO

Os aceleradores lineares, principais equipamentos de radioterapia, demandam verificações constantes dos parâmetros operacionais, incluindo os testes de alinhamento dos lasers, que são indispensáveis para o seu funcionamento, já que o posicionamento dos pacientes é realizado através destes *lasers*. Estes protocolos de controle de qualidade asseguram que a dose de radiação seja administrada de forma correta, reduzindo riscos e aumentando a eficácia terapêutica. Segundo o INCA (2000, p. 11), “a garantia da qualidade minimiza os erros no planejamento de tratamento e administração da dose ao paciente, e portanto melhora os resultados da radioterapia, aumentando a taxa de remissões e diminuindo a taxa de complicações e recidivas.”

Dentro deste contexto, o tecnólogo em radioterapia apresenta grande relevância para assegurar a precisão e a segurança dos tratamentos oncológicos, sendo responsável por executar e validar rotinas diárias de controle de qualidade. No desenvolvimento do acessório impresso em 3D, o tecnólogo contribuiu não apenas na aplicação prática do protótipo em ambiente clínico, mas também na análise crítica de sua funcionalidade, propondo ajustes que assegurem fidelidade e aplicabilidade às especificações do serviço de radioterapia. Segundo a Tec-Doc 1151 (INCA, 2000), o tecnólogo em radioterapia é responsável por atividades relacionadas à execução do tratamento, operação das unidades de tratamento e planejamento terapêutico. Entre suas atribuições estão a administração do tratamento conforme prescrição clínica, o acompanhamento da evolução do paciente, a aplicação das normas de radioproteção, a detecção de falhas nos equipamentos, o auxílio nos procedimentos de garantia da qualidade e a colaboração nos aspectos técnicos da localização e simulação do tratamento (INCA, 2000).

O teste diário de controle de qualidade dos lasers de um acelerador linear em radioterapia é um procedimento simples, porém muito importante para garantir a precisão do posicionamento do paciente durante o tratamento. Segundo Furnari (2021), pequenos detalhes, como o posicionamento incorreto do papel milimetrado ou phantom, o desalinhamento da mesa, a leitura equivocada, ou até mesmo reflexos de luz no ambiente, podem induzir a interpretação errada do alinhamento

dos lasers. Ele consiste em verificar se os lasers de referência do equipamento e da sala estão corretamente alinhados com o isocentro do feixe de radiação, que é o ponto central onde os diferentes ângulos se encontram.

> Deve-se verificar se os lasers se cruzam no isocentro dentro da tolerância especificada, bem como o alinhamento do laser sagital, deslocando-se a mesa em sentido ascendente e descendente, em todo seu intervalo de trabalho; o laser não deve deslocar-se em relação à marca longitudinal, em um papel colocado sobre a mesa, em mais que 2 mm. Também deve ser verificado o alinhamento dos lasers laterais (transversais e coronais), para o qual se pode empregar uma folha de papel alvo, a qual se sustenta verticalmente e se move em sentido horizontal em toda a extensão da mesa; deve ser observado se os lasers contrapostos se interceptam dentro da tolerância especificada. Se houver um desajuste dos lasers ou das luzes de localização, deve-se posicionar primeiramente o isocentro mecânico por algum dos procedimentos anteriormente descritos. Feito isto, posiciona-se os lasers de maneira que se cruzem neste ponto. É ajustada então a horizontalidade e verticalidade dos lasers com as imagens que são projetadas nas paredes contrapostas, empregando-se nível de bolha e fios de prumo; é recomendável realizar marcas leves sobre estas paredes, as quais possam facilitar posteriormente o reajuste dos lasers. (INCA, 2000, p. 62)

Como supracitado, normalmente utiliza-se uma régua ou papel milimetrado, que é colocada no isocentro do acelerador de forma que permita observar se as linhas luminosas coincidem exatamente no ponto central. Caso haja deslocamento, a régua permite quantificar o desvio em milímetros. Porém, segundo Furnari (2021), pequenos detalhes, como o posicionamento incorreto do papel milimetrado ou phantom, o desalinhamento da mesa, a leitura equivocada, ou até mesmo reflexos de luz no ambiente, podem induzir a interpretação errada do alinhamento dos lasers.

Os resultados são registrados em uma planilha e comparados com tolerâncias pré-estabelecidas, normalmente de até 2 mm (Furnari, 2021). Esse controle diário é fundamental para assegurar que a dose prescrita seja entregue com precisão na região planejada, evitando erros de posicionamento que poderiam comprometer a eficácia do tratamento ou aumentar os riscos de irradiar tecidos saudáveis.

Este trabalho propôs o desenvolvimento de um acessório impresso em 3D para o teste de alinhamento dos lasers em aceleradores lineares. O protótipo foi desenhado no software Fusion 360 e produzido em impressora 3D no LabMAIS - Laboratório de Manufatura Aditiva, projeto vinculado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC). A aprovação foi realizada em hospital público referência em oncologia de Santa Catarina, com participação de físicos médicos e tecnólogos em radiologia. O objetivo foi oferecer uma alternativa para

realização do teste diário, com um equipamento de menor custo em comparação aos acessórios comerciais, viabilizando a autonomia tecnológica nacional e contribuindo para a inovação em radioterapia.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa caracterizou-se como exploratória e descritiva, com abordagem quantitativa. O estudo envolveu o planejamento, a elaboração e a impressão 3D de um acessório destinado ao teste diário de alinhamento dos lasers em aceleradores lineares. A pesquisa foi conduzida segundo os preceitos da Pesquisa Participativa de Base Comunitária (PPBC), em que a comunidade envolvida participa ativamente de todas as etapas, promovendo coaprendizagem e integração entre pesquisadores, profissionais e instituições. Esse método busca atender às necessidades reais da população em estudo, permitindo que as intervenções sejam direcionadas às demandas concretas dos serviços de saúde (Borges *et al.*, 2018). Em suma, o projeto foi desenvolvido atendendo à demanda de um hospital público de referência em oncologia em Santa Catarina.

Inicialmente, foi realizada uma revisão de literatura para compreender o funcionamento do acessório solicitado, suas características físicas e seu papel no controle de qualidade, fornecendo o embasamento técnico necessário para o desenvolvimento do modelo tridimensional. Com base nesse referencial, o acessório foi desenhado no software Fusion 360, permitindo a criação de alternativas para diferentes demandas do serviço. Cada versão foi impressa em resina, utilizando-se a tecnologia de manufatura aditiva disponível no Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde (LabMAIS) do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

Na etapa seguinte, os protótipos foram testados no controle de qualidade diário dos lasers dos aceleradores lineares. Essa fase foi conduzida em cooperação com a equipe de radioterapia do hospital parceiro, composta por físicos médicos, tecnólogos em radiologia e demais profissionais responsáveis pelo controle de qualidade. A cada testagem, melhorias sugeridas pela equipe técnica foram incorporadas até que se obtivesse a versão final do acessório, capaz de atender aos critérios definidos pelos físicos médicos do serviço.

Após a conclusão da versão final do acessório, foi realizada a atualização do Procedimento Operacional Padrão (POP) do hospital parceiro para o controle de qualidade do teste de alinhamento dos lasers em aceleradores lineares. Uma vez aprovado pela equipe multidisciplinar, o acessório foi reproduzido para cada um dos três aceleradores lineares existentes e doado à instituição que originou a demanda

para este projeto, localizada em Florianópolis, Santa Catarina. Para exemplificar o processo das etapas, foi elaborado o fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Etapas de produção do acessório



Fonte: Autores (2026).

Este trabalho de conclusão de curso contou com o apoio de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) exclusivamente como recurso auxiliar durante o processo de elaboração do manuscrito, sendo empregadas para revisão gramatical e ortográfica, aprimoramento da redação, organização textual, sugestões de estrutura e refinamento da clareza e fluidez da escrita. Em conformidade com a Orientação Técnica n.º 04/2025 do IFSC, a IA foi utilizada apenas como ferramenta de suporte, permanecendo sob responsabilidade exclusiva dos autores a concepção do estudo, a análise crítica dos resultados, a interpretação dos dados, a verificação da fidedignidade das informações, a validação das referências utilizadas e a redação final do manuscrito.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando os objetivos desta pesquisa, que envolveram caracterizar o teste de controle de qualidade diário de alinhamento dos lasers em aceleradores lineares, desenvolver um acessório impresso em 3D destinado ao controle de qualidade em radioterapia, avaliar sua funcionalidade e atualização do Procedimento Operacional Padrão (POP) do hospital parceiro, apresentam-se os resultados obtidos durante as etapas de modelagem, produção e análise do protótipo desenvolvido.

5.1 Caracterização do Teste Diário dos Lasers em AL

Segundo INCA (2000), o teste de controle de qualidade diário dos lasers em aceleradores lineares de radioterapia é indispensável para a precisão do posicionamento do paciente durante todo o tratamento, garantindo a reprodutibilidade terapêutica. O referido teste faz parte da análise diária do AL e consiste na verificação da localização dos lasers. Deve-se verificar se os lasers se cruzam no isocentro dentro da tolerância estabelecida. O alinhamento do laser sagital é avaliado movimentando a mesa para cima e para baixo em toda sua extensão, observando se o feixe permanece alinhado à marca longitudinal de referência, com desvio máximo de 2 mm. Também deve ser verificado o alinhamento dos lasers laterais, utilizando uma folha-alvo posicionada verticalmente e deslocada horizontalmente ao longo da mesa, confirmando que os feixes opostos se interceptam dentro da tolerância especificada. (INCA, 2000) Os resultados obtidos são registrados em planilhas e comparados com valores de tolerância pré-estabelecidos, geralmente de até 2 mm para máquinas sem IMRT, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Testes diários com tolerância

Quadro 2. Testes diários em acelerador

Procedimento	Tolerância (máquinas sem IMRT)	Tolerância (máquinas com IMRT)	Tolerância estereotática
Dosimetria			
Constância do fator output de fótons (todas as energias)	3%		
Constância do fator output de elétrons (semanalmente, com exceção de máquina com uma só energia ou necessidade de monitoração diária)			
Mecânicos			
Localização com lasers	2 mm	1,5 mm	1 mm
Indicador de distância SSD	2 mm	2 mm	2 mm
Indicador do tamanho do colimador	2 mm	2 mm	1 mm
Segurança			
Interlock de porta	Funcional		
Segurança do fechamento da porta	Funcional		
Monitor audiovisual	Funcional		
Trancamento por fora sala estereotática	NA	NA	Funcional
Monitor de área de radiação (se usado)	Funcional		
Indicador de emissão de feixe	Funcional		

NA = não avaliado

Fonte: Furnari (2015).

Se o desvio ultrapassar esse limite, o equipamento deve ser ajustado antes de ser utilizado em pacientes. Pequenos detalhes, como o posicionamento incorreto do papel milimetrado ou phantom, o desalinhamento da mesa, a leitura equivocada, ou até mesmo reflexos de luz no ambiente, podem induzir a interpretação errada do alinhamento dos lasers (Furnari, 2021). Esse controle diário é fundamental para assegurar que a dose prescrita seja entregue com precisão na região planejada, evitando erros de posicionamento, que poderiam comprometer a eficácia do tratamento ou aumentar os riscos de irradiar tecidos saudáveis.

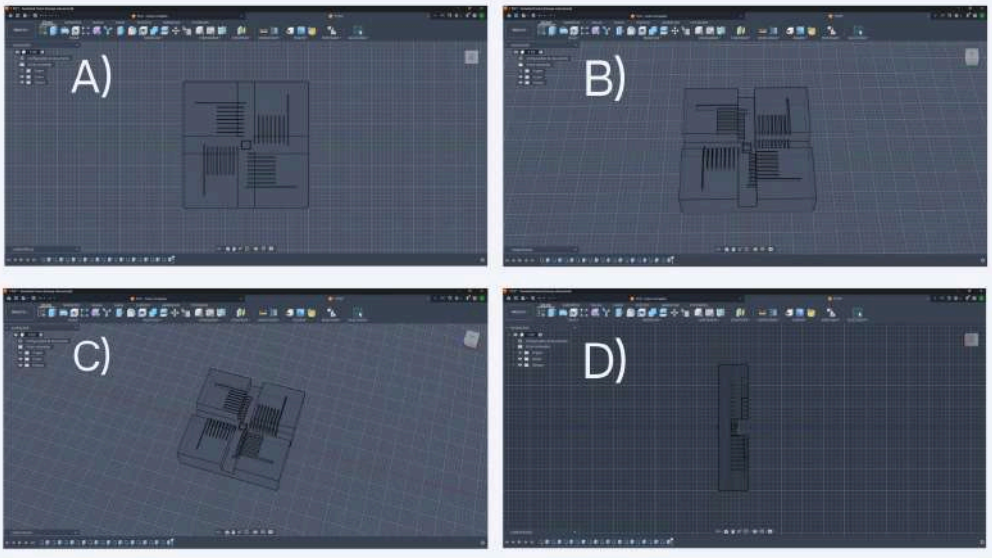
Diante da necessidade de métodos mais precisos, reprodutíveis e acessíveis para a realização dos controles de qualidade, a impressão 3D vêm se destacando como uma tecnologia inovadora dentro da radioterapia, pois permite o desenvolvimento de acessórios personalizados, de baixo custo e adaptados às necessidades clínicas específicas, principalmente com a realidade do atendimento via SUS. Segundo Silva *et al.* (2021), a manufatura aditiva representa uma ferramenta promissora dentro da medicina, ao permitir a criação de soluções adaptadas às necessidades individuais de cada paciente ou serviço. Essa tecnologia possibilita a rápida prototipagem de dispositivos para controle de qualidade, como os utilizados no alinhamento dos lasers em aceleradores lineares, garantindo maior precisão e reprodutibilidade nos tratamentos. Além de reduzir a dependência de

materiais importados, a manufatura aditiva fortalece a autonomia tecnológica nacional e promove inovação aplicada à saúde, viabilizando soluções acessíveis para serviços públicos de oncologia, ampliando a capacidade de resposta do Sistema Único de Saúde frente ao aumento da demanda por terapias oncológicas .

5.2 Produção do Acessório Para Controle de Qualidade dos Lasers

Na primeira etapa do processo de desenvolvimento do acessório impresso em 3D para o teste diário de alinhamento dos lasers em aceleradores lineares, foi confeccionado um protótipo em escala reduzida, e somente uma face do cubo, com dimensões de 2,5 x 2,5 cm e profundidade de 1 cm. A impressora utilizada para essa etapa foi a *LD006* da *Creality*, levando aproximadamente 2 horas para a impressão completa e utilizando cerca de 30 g da resina. Este modelo experimental possuía uma régua milimétrica com traços de diferentes espessuras (0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm), permitindo avaliar qual das marcações seria melhor visualizada e sua capacidade de mensuração de possíveis desvios no alinhamento dos lasers, como pode-se verificar nas Figuras 2 e 3.

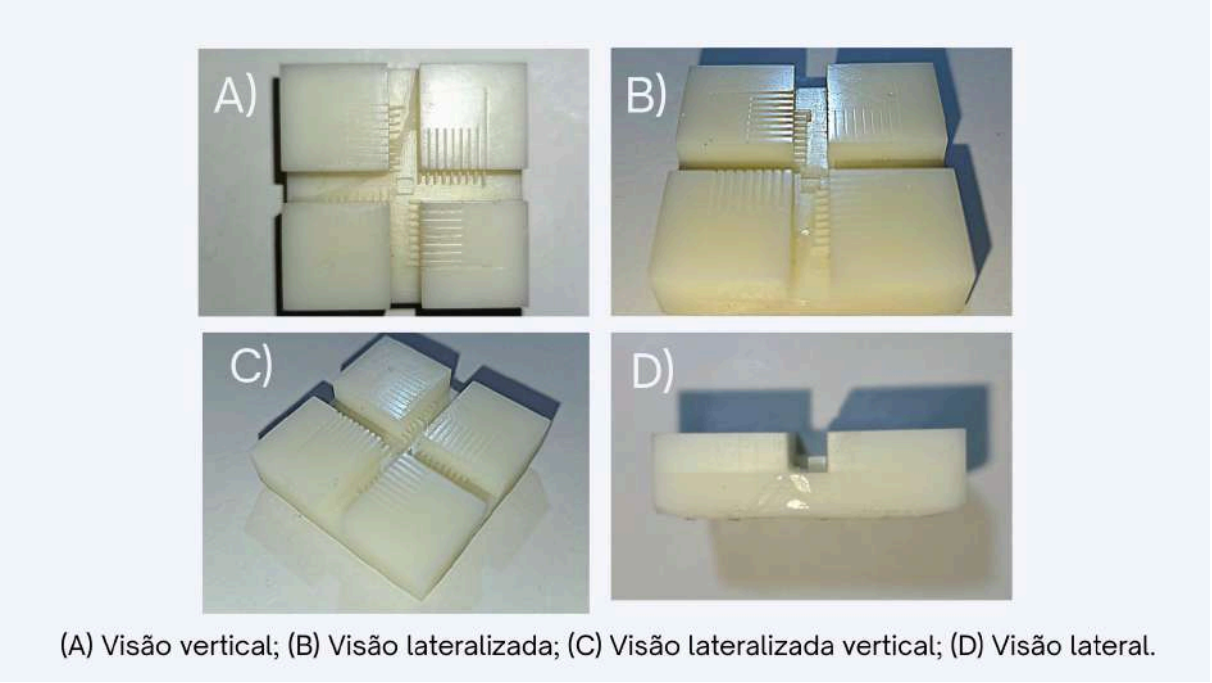
Figura 2 - Protótipo 1 do cubo no software Fusion 360.



(A) Visão vertical; (B) Visão lateralizada; (C) Visão lateralizada vertical; (D) Visão lateral.

Fonte: Autores (2026).

Figura 3 - Protótipo 1 do cubo impresso em 3D.



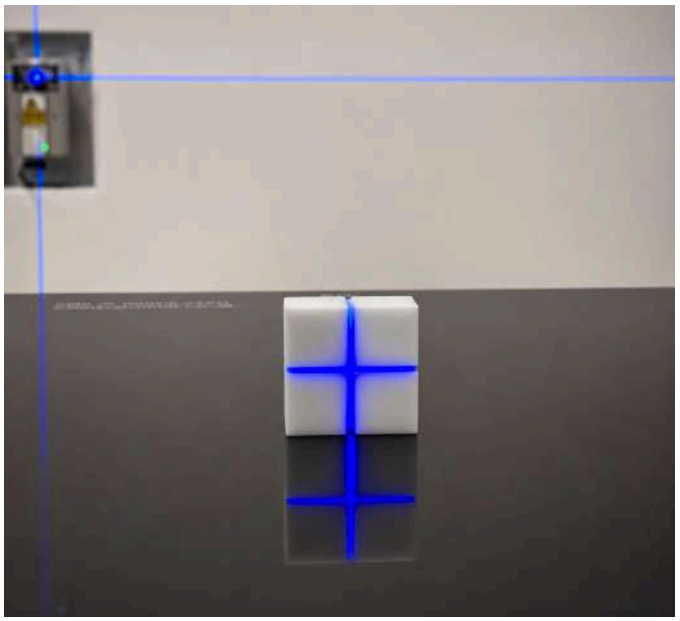
(A) Visão vertical; (B) Visão lateralizada; (C) Visão lateralizada vertical; (D) Visão lateral.

Fonte: Autores (2026).

O protótipo desenvolvido foi submetido à avaliação do centro de oncologia parceiro, onde sua aplicabilidade prática e conformidade com os requisitos dos protocolos de controle de qualidade em radioterapia foram analisadas por tecnólogos em radiologia e físicos médicos.

A partir da avaliação realizada, verificou-se que a utilização de uma régua milimetrada com traços de menor espessura poderia comprometer a visualização durante a execução do teste, uma vez que este é realizado em ambiente com iluminação reduzida ou apagada. Tal condição poderia dificultar a identificação de desvios e, consequentemente, interferir na precisão da avaliação, como pode-se observar na Figura 4.

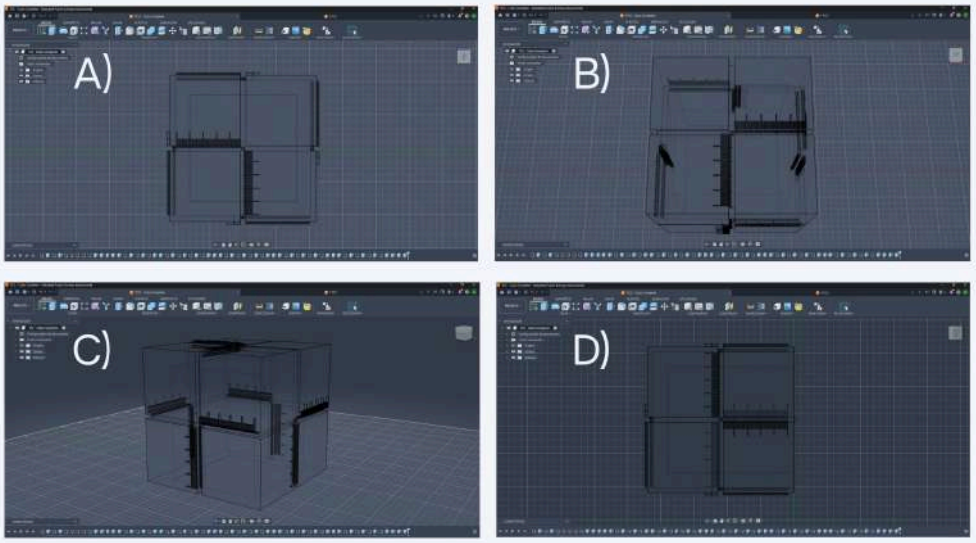
Figura 4 - Protótipo 1 do cubo submetido a testes nos lasers.



Fonte: Autores (2026).

Com base nessas considerações, definiu-se que a versão subsequente do acessório deveria apresentar dimensões de 11 × 11 cm, proporcionando melhor posicionamento, maior área de visualização das marcações e compatibilidade com as limitações dimensionais da impressora *LD006* da *Creality,* disponibilizada pelo laboratório parceiro. Além disso, foi feita uma abertura na face inferior do protótipo, deixando-o com paredes com espessura de 8 mm. A função dessa abertura seria diminuir a quantidade de material, seu peso, custo e tempo de impressão, aumentando as chances de reprodução. Adicionalmente, estabeleceu-se a adoção de traços com espessura de 0,4 mm na régua milimetrada, por serem considerados adequados para garantir simultaneamente boa visibilidade durante a leitura e precisão na verificação das tolerâncias previstas para o alinhamento dos lasers. As Figuras 5 e 6 exemplificam o desenvolvimento do protótipo 2.

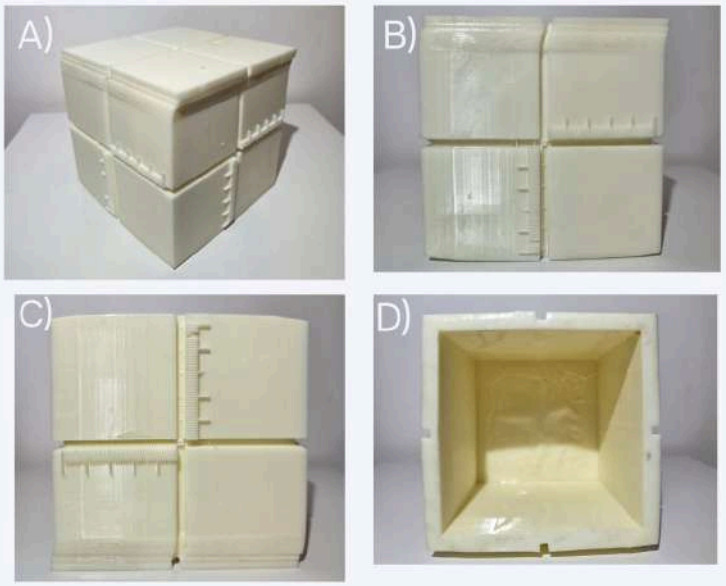
Figura 5 - Protótipo 2 do cubo no software Fusion 360.



(A) Visão vertical; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateralizada vertical; (D) Visão lateral direita.

Fonte: Autores (2026).

Figura 6 - Protótipo 2 do cubo impresso em 3D.



(A) Visão vertical lateralizada; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateral direita vertical; (D) Visão inferior.

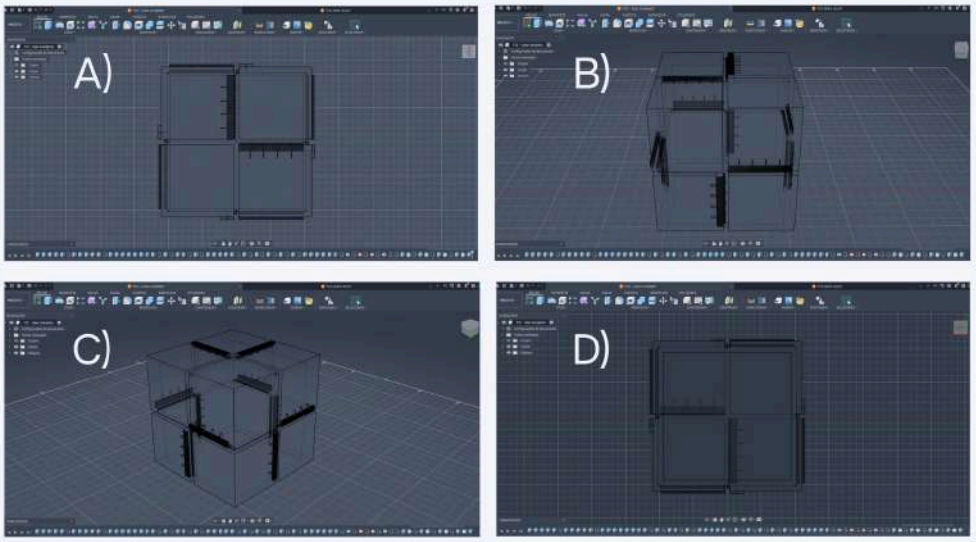
Fonte: Autores (2026).

A impressão do segundo protótipo demandou aproximadamente 10h30min para ser concluída, utilizando cerca de 795 g da resina. O objeto foi encaminhado novamente ao centro de oncologia parceiro, apresentando imperfeições de

impressão causadas pela impressora utilizada, por não conseguir sustentar o peso total da estrutura. Diante disso, o cubo foi submetido aos mesmos métodos de avaliação do primeiro modelo. Ao concluir esse acompanhamento com tecnólogos em radiologia e físicos médicos, algumas modificações foram incorporadas na elaboração do acessório.

Dentre as novas atualizações, a abertura na face inferior foi ampliada, resultando em paredes com 6mm de espessura. Também foram adicionados pequenos orifícios no centro do cubo e na extremidade de cada fissura para acrescentar pequenas esferas de material radiopaco, otimizando a localização dos lasers no teste diário. Por fim, o protótipo apresentava um desnivelamento na sua base, o que demandou maior atenção por parte do laboratório para a confecção do terceiro protótipo, como ilustram as Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Protótipo 3 do cubo no software Fusion 360.



(A) Visão vertical; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateralizada vertical; (D) Visão lateral direita.

Fonte: Autores (2026).

Figura 8 - Protótipo 3 do cubo impresso em 3D.



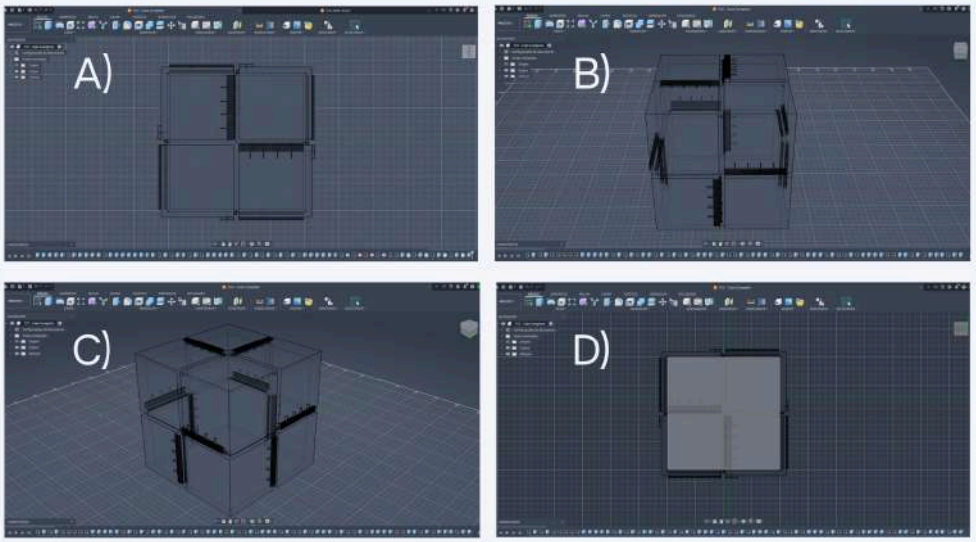
(A) Visão vertical lateralizada; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateral direita vertical; (D) Visão inferior.

Fonte: Autores (2026).

Diante das modificações implementadas e das imperfeições identificadas na etapa anterior, ocorreu a substituição do equipamento utilizado. Para a nova etapa, utilizamos o modelo *Saturn 4* da *Elegoo*, com um tempo de impressão total de aproximadamente 9h20min, utilizando cerca de 712g da resina. Apesar dessa nova alternativa, o acessório ainda apresentou uma pequena falha na face superior. Isso ocorreu porque o equipamento escolhido não foi capaz de suportar o peso da estrutura nessa região, mesmo com a adição de diversos suportes na parte oca do cubo. Diante da persistência desse problema, optou-se por reduzir a espessura da face superior para 6 mm, seguindo o padrão das demais paredes da estrutura.

A base do cubo ainda manteve uma leve irregularidade. Para solucionar o problema, foi adicionada uma margem de 2 mm para um corte retilíneo posterior, garantindo que a base ficasse perfeitamente alinhada. Além disso, os orifícios ficaram de tamanhos insuficientes, quase imperceptíveis na impressão do terceiro protótipo. Portanto, surgiu a necessidade de ampliar o diâmetro dessas aberturas diretamente no software. O tempo de impressão total do protótipo 4 foi de aproximadamente 9h50min, utilizando cerca de 755g da resina O resultado disso é mostrado nas Figura 9 e 10.

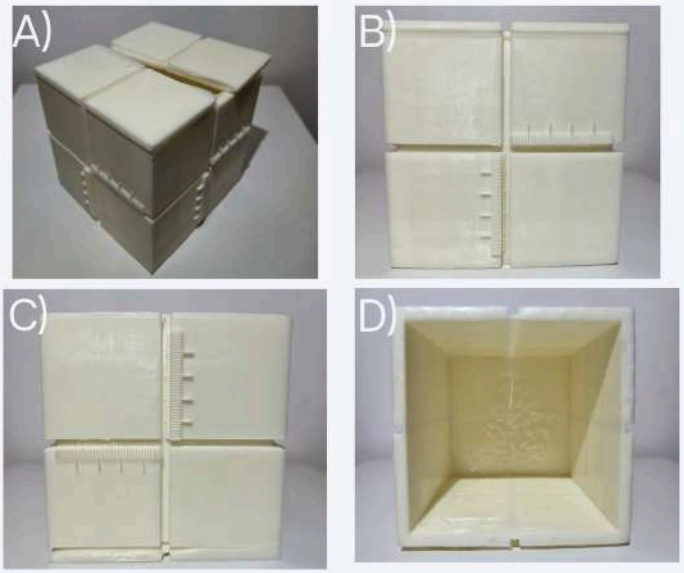
Figura 9 - Protótipo 4 do cubo no software Fusion 360.



(A) Visão superior; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateralizada vertical; (D) Visão inferior.

Fonte: Autores (2026).

Figura 10 - Protótipo 4 do cubo impresso em 3D.



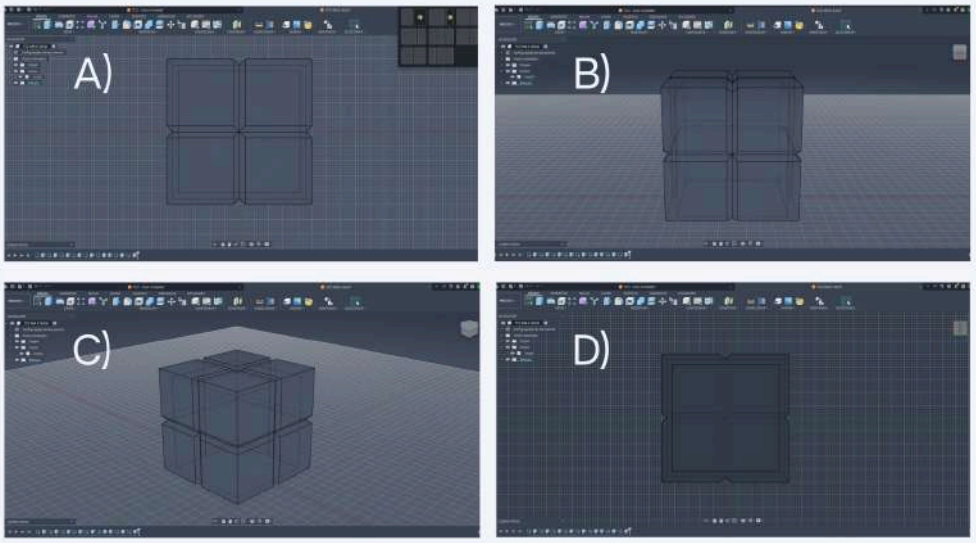
(A) Visão vertical lateralizada; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateral direita vertical; (D) Visão inferior.

Fonte: Autores (2026).

Após as falhas identificadas na impressão do quarto protótipo, realizamos uma nova rodada de discussões com o físico médico responsável e com a equipe do laboratório parceiro. A partir dessas análises, foi decidido reduzir as dimensões do

cubo para 5 × 5 cm, tornando-o mais leve e compatível com a capacidade estrutural das impressoras disponíveis. Além disso, a fissura central foi redesenhada em formato de “V”, o que facilitou a visualização do alinhamento dos lasers. Outra modificação importante foi a substituição da régua milimetrada impressa diretamente no cubo por uma fita milimetrada na cor preta, garantindo maior precisão na leitura dos desvios. Esta fita foi feita sob medida e enviada para impressão uma gráfica. O resultado das modificações na impressão 3D podem ser verificadas nas Figuras 11 e 12.

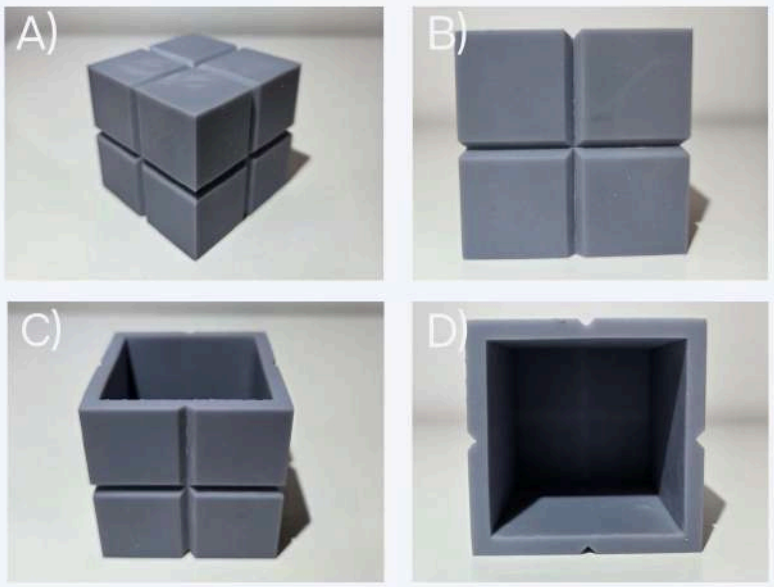
Figura 11 - Protótipo 5 do cubo no software Fusion 360.



(A) Visão superior; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateralizada vertical; (D) Visão inferior.

Fonte: Autores (2026).

Figura 12 - Protótipo 5 do cubo impresso em 3D.

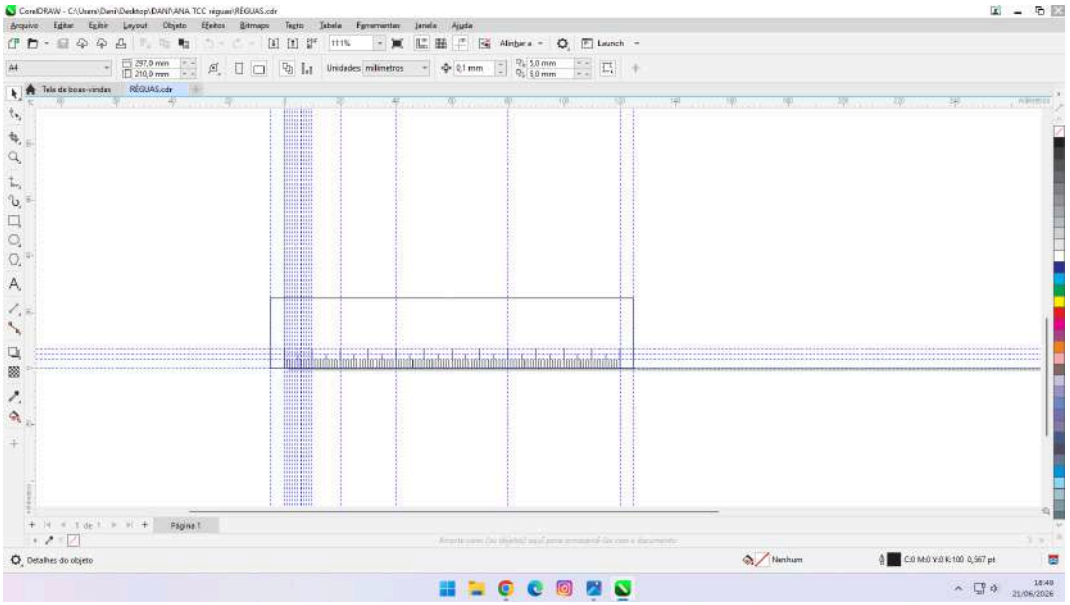


(A) Visão vertical lateralizada; (B) Visão lateral esquerda; (C) Visão lateral direita vertical; (D) Visão inferior.

Fonte: Autores (2026).

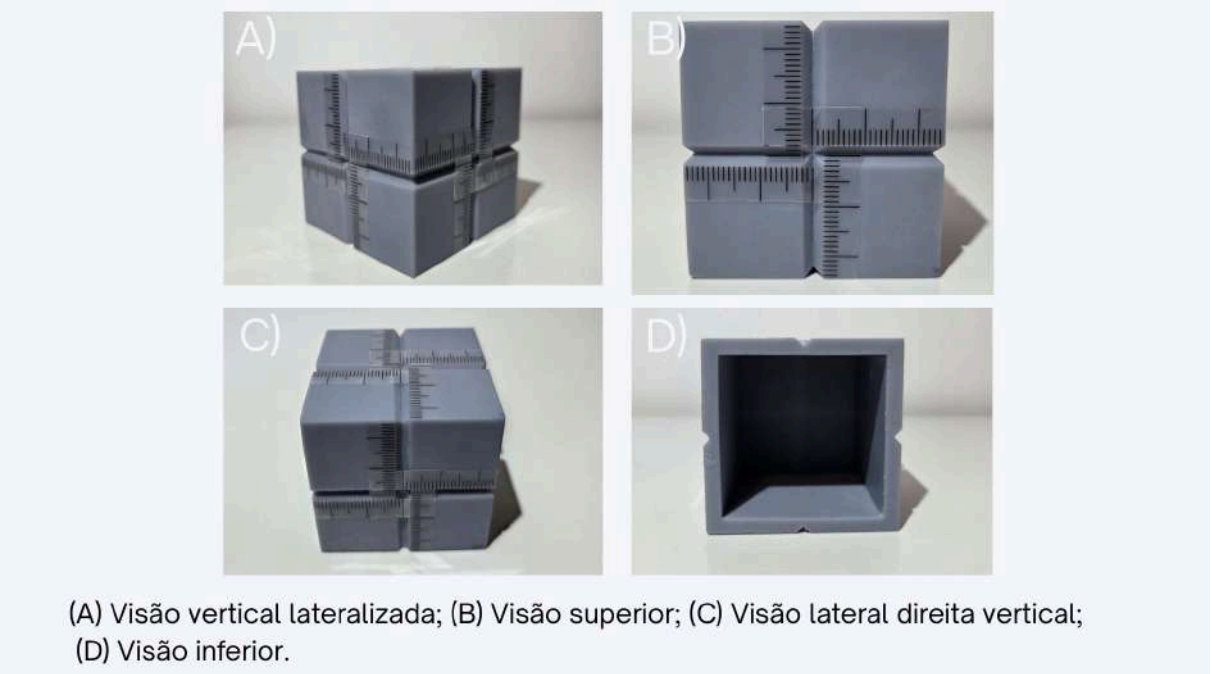
O protótipo do cubo final foi batizado “CORA” (Center of Radiation Alignment, ou seja, Centro de Alinhamento de Radiação). A impressão foi realizada em 12 horas e 40 minutos, utilizando 51,9 g de resina *ABS-Like* da marca *Elegoo*, numa impressora da marca *Creality,* chamada *Halot Mage 8K*, o que garantiu precisão e fidelidade dimensional necessária. Como finalização, foi criada a fita milimetrada no software CorelDRAW, posteriormente enviada para uma gráfica, assegurando padronização e confiabilidade nas medições e posteriormente, fixada no protótipo CORA, como ilustram as Figura 13 e 14.

Figura 13 - Fita adesiva milimetrada no software CorelDRAW.



Fonte: Autores (2026).

Figura 14 - Objeto simulador final CORA.



(A) Visão vertical lateralizada; (B) Visão superior; (C) Visão lateral direita vertical; (D) Visão inferior.

Fonte: Autores (2026).

Como conclusão, o objeto simulador “CORA” não apenas demonstrou viabilidade técnica e aplicabilidade clínica, mas também se mostrou uma solução

inovadora e de baixo custo, capaz de reduzir a dependência de dispositivos importados e fortalecer a autonomia tecnológica nacional. Sua produção demonstrou o potencial da impressão 3D como ferramenta estratégica para a saúde, permitindo que serviços públicos como o SUS tenham acesso a dispositivos personalizados e acessíveis. Dentre as inúmeras vantagens da impressão 3D, destacam-se a rapidez e o baixo custo de produção quando comparada à fabricação industrial tradicional (Krith *et al*., 2010; Lino *et al*., 2001). Este apontamento foi confirmado nesta pesquisa, conforme demonstrado na Tabela 1, que apresenta os custos dos insumos utilizados para a produção do CORA.

Tabela 1 – Insumos utilizados na produção do protótipo.

Protótipos	Quantidade de Resina	Valor	Tempo de Impressão	Tempo de Teste
1	30 g	R$5,40	2 h	15 min
2	795 g	R$143,10	10 h 30 min	15 min
3	712 g	R$128,16	9 h 20 min	15 min
4	755 g	R$135,90	9 h 50 min	15 min
5	51,9 g	R$9,34	12 h 40 min	15 min
Valor Total				R$421,90
Tempo Total				45h 35min

Fonte: Autores (2026).

Conforme os registros da tabela de protótipos, o desenvolvimento do acessório impresso em 3D envolveu diferentes tempos de execução e consumo de material até chegar a sua versão final; contabilizou-se o tempo de verificação e testagem do objeto simulador juntamente com os profissionais do hospital parceiro e adotamos como o tempo total de 15 minutos para cada teste. O valor da resina utilizada do acessório CORA corresponde a uma média de R$180,00 por kg. Somando os tempos de impressão dos protótipos com valores definidos, obtém-se um total de aproximadamente 45 horas e 35 minutos de execução; quanto ao material, foram utilizados cerca de 2,344 kg de resina, somando o valor total de R$421,90.

O valor final do protótipo definitivo, denominado CORA, foi inicialmente calculado em aproximadamente R$9,34, correspondente ao uso de 51,9 g de resina durante 12 horas e 40 minutos de impressão. No entanto, para a versão final

incorporada ao Procedimento Operacional Padrão, houve ainda o acréscimo de R$5,00 referente à impressão da régua milimetrada utilizada como parte integrante do objeto. Assim, o custo total do protótipo final ficou em torno de R$ 14,34, somando-se o valor da resina e o investimento adicional na régua milimetrada.

Os resultados obtidos neste estudo também evidenciaram a relevância do controle de qualidade em radioterapia e a atuação integrada dos profissionais da equipe multiprofissional, em especial do tecnólogo em radiologia, para a garantia da segurança e da eficácia dos tratamentos. De acordo com a CNEN NN 6.10 (2014) e as Diretrizes Curriculares do Conselho Nacional de Técnicos e Tecnólogos em Radiologia (2018), compete a esse profissional executar e validar rotinas de controle de qualidade dos aceleradores lineares, incluindo o teste de alinhamento dos lasers. Sua atuação é fundamental para assegurar a precisão do posicionamento dos pacientes, a reprodutibilidade dos tratamentos e a conformidade com os protocolos nacionais e internacionais. Além da execução técnica dos testes, o tecnólogo em radiologia desempenha um papel crítico na análise dos resultados, na identificação de não conformidades e na comunicação com os demais profissionais da equipe multiprofissional, especialmente físicos médicos, radio-oncologistas e engenheiros clínicos, contribuindo para a tomada de decisões e para a implementação de ações corretivas. Dessa forma, sua atuação fortalece a qualidade assistencial, a segurança radiológica e a cultura de melhoria contínua nos serviços de radioterapia

Por fim, no campo das inovações tecnológicas, observa-se que a radioterapia tem incorporado cada vez mais ferramentas digitais e dispositivos de verificação que reduzem erros humanos e aumentam a confiabilidade dos procedimentos. A impressão 3D, por sua vez, representa uma grande ferramenta na radioterapia, possibilitando a fabricação de formas complexas com precisão e flexibilidade, oferecendo vantagens para a radioterapia, como a produção de acessórios adaptados às especificidades anatômicas de cada paciente, a criação de *phantoms* de baixo custo e a personalização de instrumentos usados em testes de controle de qualidade dos aceleradores lineares (Duarte, 2019; Santos, 2021; Avelino, 2013). O dispositivo impresso em 3D demonstrou viabilidade técnica e aplicabilidade clínica, além de reduzir custos operacionais em comparação aos acessórios comerciais. Essa solução fortalece a autonomia tecnológica nacional, promove inovação aplicada à saúde e amplia a capacidade de resposta dos serviços

públicos de oncologia. Segundo Knop *et al*. (2018), a manufatura aditiva vem crescendo nos últimos anos por seu fácil acesso, baixo custo e aplicabilidade em diversas áreas profissionais

5.3 Procedimento Operacional Padrão para adaptação do Teste de Controle de Qualidade do Alinhamento dos Lasers

Nome do teste: Teste de alinhamento dos lasers de posicionamento

Objetivo: Verificar a precisão do alinhamento dos lasers de posicionamento (sagital, transversal e coronal) em relação ao isocentro mecânico do acelerador linear. Este teste tem como finalidade assegurar que os sistemas de posicionamento utilizados na radioterapia mantenham a exatidão necessária para o correto posicionamento dos pacientes, contribuindo para a precisão do tratamento e para a segurança dos procedimentos radioterápicos.

Frequência mínima: diário

Instrumental

- Cubo para controle de qualidade dos lasers impresso em 3D;



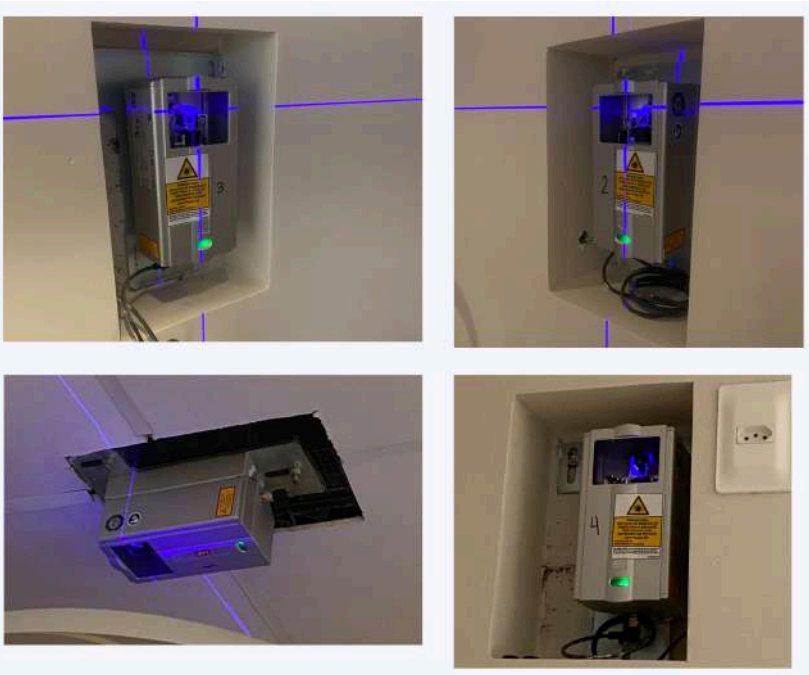
Fonte: Autores (2026).

- Mesa de tratamento do acelerador linear;



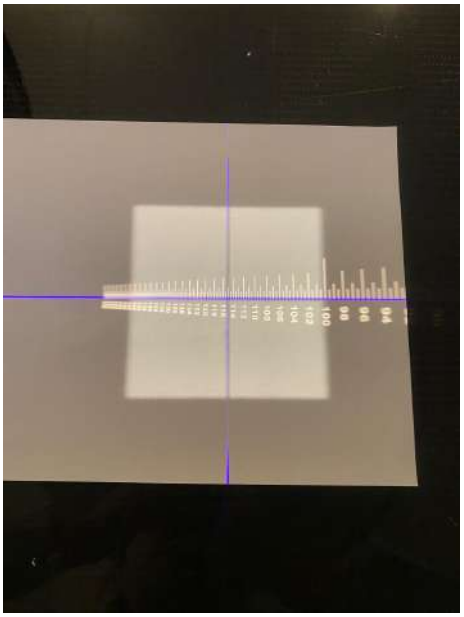
Fonte: Autores (2026).

- Sistema de lasers de posicionamento da sala de tratamento;



Fonte: Autores (2026).

- Telêmetro ou sistema de verificação da distância foco-superfície (quando aplicável).



Fonte: Autores (2026).

Metodologia

1ª Etapa: Posicionar o acelerador linear com o gantry em 0° e a mesa de tratamento na posição isocêntrica.

2ª Etapa: Ajustar a distância foco-superfície (DFS) para 100 cm utilizando o telêmetro ou o sistema de referência adotado pelo serviço.

3ª Etapa: Apagar as luzes da sala de tratamento para facilitar a visualização dos feixes luminosos dos lasers.

4ª Etapa: Posicionar o cubo impresso em 3D (CORA) sobre a mesa de tratamento, alinhando-o inicialmente ao isocentro mecânico da sala.

5ª Etapa: Verificar a coincidência dos lasers sagital, transversal e coronal com as marcações de referência presentes no cubo. Os feixes luminosos devem

coincidir com as linhas centrais e cruzar-se exatamente no ponto correspondente ao isocentro do dispositivo.

6ª Etapa: Avaliar o alinhamento do laser sagital deslocando a mesa nos sentidos longitudinal ascendente e descendente ao longo de toda sua amplitude de movimentação. Durante esse procedimento, observar se o feixe permanece coincidente com a marca de referência presente no cubo.

7ª Etapa: Avaliar os lasers laterais (coronais e transversais), verificando se os feixes opostos permanecem coincidentes com as respectivas marcações do cubo e se sua intersecção ocorre no ponto central de referência.

Interpretação dos Resultados

A análise deve ser realizada por inspeção visual, observando-se a coincidência entre os feixes luminosos dos lasers e as marcações de referência presentes no cubo impresso em 3D (CORA). Os lasers devem cruzar-se no isocentro do dispositivo dentro da tolerância estabelecida pelo protocolo institucional de controle de qualidade. Durante a movimentação da mesa, o desvio do laser sagital em relação à marca longitudinal de referência não deve exceder 2 mm (dependendo da tecnologia associada ao acelerador linear). Da mesma forma, os lasers laterais devem permanecer alinhados e interceptar-se no ponto central de referência dentro da tolerância especificada. Caso sejam observados desvios superiores aos limites aceitáveis, o resultado deverá ser registrado no relatório de controle de qualidade e a equipe de física médica deverá ser comunicada para avaliação e adoção das medidas corretivas necessárias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo caracterizou-se como uma pesquisa exploratória descritiva, de abordagem quantitativa, voltada ao desenvolvimento e avaliação de um acessório impresso em 3D, destinado ao teste diário de alinhamento dos lasers de aceleradores lineares.

Para elaboração do protótipo, foi utilizado o *software Fusion 360,* e para sua fita milimétrica, o software CorelDRAW. Já para produção do mesmo foi utilizada a tecnologia de impressão 3D tridimensional, disponível no Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde (LabMAIS), do IFSC. Para verificação e aplicabilidade do acessório, foi comparado seu desempenho com os procedimentos já empregados no controle de qualidade diário de aceleradores lineares do hospital de referência parceiro, em Florianópolis - SC.

Apesar dos resultados positivos obtidos, este estudo apresentou algumas limitações que devem ser consideradas. A principal delas foi a restrição de recursos financeiros, que limitou a aquisição de materiais. Além disso, as impressoras 3D utilizadas apresentaram restrições quanto ao tamanho e à complexidade estrutural, o que diminuiu a possibilidade de desenvolvimento de modelos mais robustos e com maior versatilidade. Para projetos futuros, sugerimos o aprimoramento do objeto simulador “CORA” já desenvolvido, incorporando melhorias como a criação de versões capazes de realizar não apenas o teste de alinhamento dos lasers, mas também outros testes diários como, por exemplo, o teste de campo de luz do gantry, com uma única peça. Essas evoluções podem aumentar a aplicabilidade do acessório.

Por fim, considerando os objetivos da pesquisa, os resultados obtidos evidenciam a viabilidade da proposta. O acessório desenvolvido mostrou-se capaz de reproduzir as condições necessárias para a verificação do alinhamento dos *lasers*, permitindo a avaliação de forma prática e confiável para o controle diário dos aceleradores lineares do hospital parceiro. A utilização do objeto simulador como referência possibilitou mensurar desvios com tolerâncias adequadas às exigências clínicas, garantindo que o posicionamento do paciente seja executado com segurança. Além disso, o protótipo apresentou fidelidade dimensional e resistência satisfatória, confirmando que a manufatura aditiva pode ser uma alternativa eficiente e de baixo custo em comparação aos acessórios comerciais importados, reforçando

o potencial da impressão 3D como ferramenta para inovação tecnológica aplicada ao controle de qualidade em radioterapia, contribuindo para maior autonomia dos serviços nacionais e para a padronização dos testes mecânicos diários em aceleradores lineares.

REFERÊNCIAS

AVELINO, Samuel Ramalho. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema baseado em impressora 3d para confecção de blocos compensadores em radioterapia de intensidade modulada** - IMRT. 2013. xix, 95 f., il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica)—Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/14393. Acesso em: 28 fev. 2026.

BORGES, Magali Carvalho; TIMM, Noé Ricardo; ALVA-SÁNCHEZ, Mirko Salomón. Estudo Comparativo entre Métodos de Controle de Qualidade de Radioterapia de Intensidade Modulada. **Revista Brasileira de Física Médica,** v. 12, n. 1, p. 16-21, 2018. DOI: https://doi.org/10.29384/rbfm.2018.v12.n1.p16-21. Disponível em: https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/450. Acesso em: 25 fev. 2026.

INCA. TEC DOC - 1151: **aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia**. Rio de Janeiro: INCA, 2000a. Disponível em: https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//tecdoc-1151_-_aspectos_fisicos_da_garantia_da_qualidade_em_radioterapia.pdf. Acesso em: 25 jan. 2026.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *Norma CNEN NN 6.10:* **Requisitos de Proteção Radiológica e Segurança para Serviços de Radioterapia.** Rio de Janeiro: CNEN, 2014. Disponível em: <https://www.saude.df.gov.br/documents/37101/62415/Norma+CNEN+NN+6.10_Requisitos+de+Prote%C3%A7%C3%A3o+Radiol%C3%B3gica+e+Seguran%C3%A7a+para+Servi%C3%A7os+de+Radioterapia.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *TECDOC-1151:* **Aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia.** Rio de Janeiro: CNEN, 2000. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//tecdoc-1151_-_aspectos_fisicos_da_garantia_da_qualidade_em_radioterapia.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2026.

CONSELHO NACIONAL DE TÉCNICOS EM RADIOLOGIA (CONTER). **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso Superior de Tecnologia em Radiologia.** Brasília: CONTER, 2024. Disponível em: <https://conter.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/DCNsTecnologo.pdf>. Acesso em: 30 maio 2026.

DUARTE, Jessica Alexandra Bento. **Impressão 3D de máscaras de imobilização para terapêutica** : análise radiológica, mecânica e financeira. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, 2019. Dissertação de mestrado. Disponível em: https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/11592. Acesso em: 26 abr. 2026.

FURNARI, Laura. **Controle de Qualidade em Radioterapia**. São Paulo: Crayon Editorial, 2021.

FURNARI, L. Controle de qualidade em radioterapia. **Revista Brasileira de Física Médica**, 2015. DOI: 10.29384/rbfm.2009.v3.n1.p77-90. Disponível em: https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/37. Acesso em: 27 abr. 2026.

INCA. **Curso para técnicos em radioterapia**. Rio de Janeiro: INCA, 2000b. Disponível em: https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files/media/document/pqrt_man_tec_rdtrp.pdf. Acesso em: 30 abr. 2026

INCA. **Radioterapia: aspectos técnicos e de qualidade.** Revista Brasileira de Cancerologia, Rio de Janeiro, v. 68, n. 1, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/5587/4309>. Acesso em: 27 maio 2026

JENKINS, C.; XING, L. **Projeto e fabricação de simuladores personalizados impressos em 3D para pesquisa em radioterapia e garantia de qualidade**. ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE FÍSICOS EM MEDICINA. *57ª reunião anual da Associação Americana de Físicos em Medicina*. [S.l.], 2015. Disponível em: https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1118/1.4924136. Acesso em: 7 jun. 2026.

JIANG, Chao *et al*. **A aplicação da tecnologia de impressão 3D na radioterapia tumoral na era da medicina de precisão.** [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352940724003135. Acesso em: 7 jun. 2026.

KNOP, David Nery Henriques et al. ASPECTOS TÉCNICOS E CONTRIBUIÇÕES NA GRADUAÇÃO: o surgimento de uma impressora 3D. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**: CONTECC, Maceió, 21 ago. 2018. Disponível em: https://peteletrica.com/wp-content/uploads/2021/08/Artigo-Impressora-3D-Contecc-2018.pdf. Acesso em: 10 mar. 2026.

KRAUSS, Robert F. *et al*. **AAPM Medical Physics Practice Guideline 8.b: Linear accelerator performance tests**. *AAPM Reports & Documents*, [s.l.], 2023. Disponível em: https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1002/acm2.14160?utm_source=consensus . Acesso em: 30 abr. 2026.

KRITH, J. P. *et al.* **Part and material properties in selective laser melting of metals. In Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining.** 2010. Prototipagem Rápida. Porto, FEUP. 2001 Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jan-Humbeeck/publication/266036449_Part_and_material_properties_in_selective_laser_melting_of_metals/links/54b399ca0cf2318f0f954de8/Part-and-material-properties-in-selective-laser-melting-of-metals.pdf. Acesso em: 30 maio 2026.

MARTINS, L. F. L. et al. Perfil epidemiológico da incidência de câncer no Brasil e regiões: estimativas para o triênio 2026-2028. *Revista Brasileira de Cancerologia*,

Rio de Janeiro, v. 72, n. 2, e-025587, 2026. Disponível em: https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/5587. Acesso em: 15 maio 2026.

PAXTON, Naomi C. *Navigating the intersection of 3D printing, software regulation and quality control for point-of-care manufacturing of personalized anatomical models*. **3D Printing in Medicine**, v. 9, n. 1, 2023. Disponível em:https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s41205-023-00175-x.pdf. Acesso em: 22 maio 2026.

SANTOS, Larissa Cristina Silva dos. **Modelagem de bolus individualizados para produção por impressora 3D e uso em radioterapia**. 2021. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43289. Acesso em: 28 fev. 2026.

SILVA, J. A. et al. **Estudo Comparativo entre Métodos de Controle de Qualidade de Radioterapia de Intensidade Modulada.** Revista Brasileira de Física Médica, 2021. Disponível em: <https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/450>. Acesso em: 15 mar. 2026.

SILVA, Leonardol. Uma revisão abrangente sobre a fabricação aditiva de dispositivos médicos. **Springer Nature**. 04 de maio de 2021. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-021-00188-0#Sec2. Acesso em: 15 mar. 2026.