

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde

Compreensão e opinião de técnicos e tecnólogos em serviços de radioterapia sobre o uso de automação e inteligência artificial em processos de teleterapia.

CARLOS EDUARDO DA CUNHA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde na Área de Concentração:

Processos de Radiação na Saúde.

Orientadora:

Profa. Dra. Carla Daruich de Souza.

São Paulo

2024

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde

Compreensão e opinião de técnicos e tecnólogos em serviços de radioterapia sobre o uso de automação e inteligência artificial em processos de teleterapia.

Versão original

CARLOS EDUARDO DA CUNHA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde na Área de Concentração:

Processos de Radiação na Saúde.

Orientadora:

Profa. Dra. Carla Daruich de Souza.

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Como citar:

CUNHA, CE. ***Compreensão e opinião de técnicos e tecnólogos em serviços de radioterapia sobre o uso de automação e inteligência artificial em processos de teleterapia.*** 2024. 78f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP, com os dados fornecidos pelo autor.

CUNHA, CE

Compreensão e opinião de técnicos e tecnólogos em serviços de radioterapia sobre o uso de automação e inteligência artificial em processos de teleterapia. Carlos Eduardo da Cunha; orientadora Carla Daruich de Souza.-- São Paulo, 2024.

78f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde (Processos de Radiação na Saúde) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

1. Automação. 2. Inteligência artificial. 3. Radioterapia. 4. Percepção profissional. I. Daruich de Souza, Carla, orient. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Carlos Eduardo da Cunha.

Título: Compreensão e opinião de técnicos e tecnólogos em serviços de radioterapia sobre o uso de automação e inteligência artificial em processos de teleterapia.

Natureza do trabalho: Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde.

Instituição: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN.

Grau pretendido: Mestre.

Data de aprovação: 29/10/2024

Banca Examinadora

Prof. Dr.:Dib Karam Jr.

Instituição: USP- EACH

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr.: Samir Somessari

Instituição: IPEN

Julgamento: Aprovado

Profa. Dra.: Carla Daruich de Souza

Instituição: IPEN

Julgamento: Aprovado

DEDICATÓRIA

À memória de meus avós, Leonilda Antônia Moreno e Marcílio Antônio de Oliveira, que, com seus exemplos de amor, sabedoria e perseverança, sempre serão uma fonte de inspiração em minha vida.

E a todos os profissionais de radioterapia do Brasil, especialmente aos técnicos e tecnólogos que participaram desta pesquisa e àqueles que, diariamente, dedicam seu trabalho e esforço no combate ao câncer, proporcionando cuidado e esperança aos pacientes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder força, saúde e sabedoria ao longo desta jornada, iluminando meu caminho e dando serenidade para superar os desafios. Agradeço à minha família, minha esposa Cristiane e meu filho Guilherme, por todo o amor, paciência e compreensão. Aos meus pais, Geraldino e Maria Elisabete, e à minha tia Mauraci, por sempre acreditarem em mim e apoiarem meus estudos. Agradeço também à minha irmã, Carla Patrícia, e ao meu cunhado, Marcelo Rodrigo, pelo apoio constante, pelos sábios conselhos e pelo suporte emocional que tanto me fortaleceram ao longo deste percurso. Um agradecimento especial ao meu sobrinho, Marcelo Henrique, por sua colaboração com detalhes técnicos e pelo apoio durante a pesquisa.

Sou profundamente grato à minha orientadora, Dra. Carla Daruich de Souza, por suas aulas preciosas, paciência e constante apoio, que foram fundamentais para a realização desta pesquisa. Agradeço também aos professores do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) por suas contribuições enriquecedoras e por proporcionarem uma experiência de aprendizado única.

Aos meus colegas de turma, pelo companheirismo e apoio mútuo ao longo do curso. Aos meus gestores e colegas do Hospital AC Camargo Cancer Center, por ajustarem minha jornada de trabalho e pelo suporte com ideias, materiais de estudo e compartilhamento de experiências.

Agradeço ainda aos técnicos e tecnólogos em radiologia de todo o país que participaram do questionário de opinião e percepção, fundamentais para os resultados deste estudo. E ao Conselho Regional de Técnicos em Radiologia de São Paulo (CRTR-SP 5ª Região), pelo apoio na divulgação da pesquisa e incentivo à participação dos profissionais.

“...não pode haver sabedoria sem compaixão, o que para mim, significa que a ciência não tem valor se não for acompanhada de preocupação social”.

Fritjof Capra

RESUMO

CUNHA, E.C. *Compreensão e opinião de técnicos e tecnólogos em serviços de radioterapia sobre o uso de automação e inteligência artificial em processos de teleterapia*. 2024. 78f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

A presente dissertação pesquisou a compreensão e opinião de técnicos e tecnólogos que atuam em serviços de radioterapia sobre a automação e a inteligência artificial (IA). O uso da tecnologia cresce cada vez mais na área da saúde, especialmente na radioterapia, onde a precisão e a eficiência são cruciais para o tratamento de pacientes. O objetivo principal do trabalho é identificar as opiniões dos profissionais sobre a implementação dessas tecnologias, visando contribuir para a criação de uma cartilha educativa que aborde suas aplicações e benefícios que será disponibilizada para os profissionais através de um site. Foi aplicado um questionário online a técnicos e tecnólogos em radioterapia, obtendo 171 respostas válidas. O perfil dos participantes revelou que 49,1% tinham entre 30-40 anos, 53,8% eram do sexo feminino, 64,1% eram tecnólogos em radiologia com especialização em radioterapia, e 61,4% atuavam como técnicos em radioterapia, sendo que 55% trabalhavam em instituições privadas. Quanto ao conhecimento e interesse, mais de 55% conheciam parcialmente os conceitos de automação e IA, 83,9% gostariam de aprender mais sobre o tema, e 90,3% expressaram interesse em acessar uma cartilha digital sobre automação e IA em radioterapia. Em relação à percepção de risco e confiança, foi identificada uma associação significativa entre o conhecimento sobre IA e a percepção de risco à própria segurança ($p = 0,035$), com 61,4% confiando parcialmente em processos automatizados geridos por IA. A experiência profissional variou, com 32,7% entre 1-5 anos e 24,6% entre 6-10 anos. A maioria dos profissionais (90,6%) operava aceleradores lineares. Foi criada uma cartilha educativa abordando aplicações e benefícios da automação e IA em radioterapia, sendo disponibilizada gratuitamente através de um site. Esta iniciativa visa preencher as lacunas de conhecimento identificadas e promover a educação continuada entre os profissionais.

Palavras-chave: automação, inteligência artificial, radioterapia, percepção profissional, educação continuada.

ABSTRACT

CUNHA, CE. *Comprehension and opinion of technicians and technologists in radiotherapy services on the use of automation and artificial intelligence in teletherapy processes*. 2024. 78 pg. Dissertation (Professional Master's Degree in Radiation Technology in Health Sciences), Institute for Energy and Nuclear Research, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

This dissertation investigated the comprehension and opinion of technicians and technologists working in radiotherapy services regarding automation and artificial intelligence (AI). The use of technology is increasingly growing in healthcare, especially in radiotherapy, where precision and efficiency are crucial for patient treatment. The main objective of this work was to identify professionals' opinions on the implementation of these technologies, aiming to contribute to the creation of an educational booklet addressing their applications and benefits, which will be made available to professionals through a website. An online questionnaire was applied to radiotherapy technicians and technologists, obtaining 171 valid responses. The profile of participants revealed that 49.1% were between 30-40 years old, 53.8% were female, 64.1% were radiology technologists with specialization in radiotherapy, and 61.4% worked as radiotherapy technicians, with 55% working in private institutions. Regarding knowledge and interest, more than 55% partially knew the concepts of automation and AI, 83.9% would like to learn more about the topic, and 90.3% expressed interest in accessing a digital booklet on automation and AI in radiotherapy. Concerning risk perception and confidence, a significant association was identified between knowledge about AI and perception of risk to one's own safety ($p = 0.035$), with 61.4% partially trusting automated processes managed by AI. Professional experience varied, with 32.7% between 1-5 years and 24.6% between 6-10 years. The majority of professionals (90.6%) operated linear accelerators. An educational booklet addressing applications and benefits of automation and AI in radiotherapy was created and made available for free through a website. This initiative aims to fill the identified knowledge gaps and promote continuing education among professionals.

Keywords: automation, artificial intelligence, radiotherapy, professional perception, continuing education.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO	12
2.1. Objetivos Específicos	12
2.2 Justificativa	12
3 REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1 A inteligência artificial	14
3.2 A inteligência artificial na radioterapia.	16
3.3 Potencial do uso de IA na radioterapia no Brasil.	17
3.4 A importância das pesquisas de opinião e percepção dos profissionais.	19
4 METODOLOGIA	23
4.1 A coleta de dados	23
4.2 O questionário	24
4.3 A divulgação para a comunidade	26
4.4 Análise estatística utilizada.	27
4.5 A criação da cartilha e do site de divulgação.	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Dados sociodemográficos	29
5.2 Hipóteses de correlação de dados	32
5.3 Cartilha	45
5.4 O site	67
5.5 Discussão	70
6 CONCLUSÃO	74
REFERENCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Avanços tecnológicos constantemente trazem o aprimoramento e novas opções de diagnóstico e terapias para atender à crescente necessidade de cuidados em saúde. A velocidade com que estes avanços são introduzidos está aumentando e em particular, pessoas que trabalham em profissões voltadas para a tecnologia são constantemente confrontadas com inovações. Isto inclui tecnologias assistivas como *eHealth*, *mHealth*, registros e prontuários eletrônicos, *e-learning* impactando vários aspectos do cuidado, tais como, organização, comunicação entre profissionais, ou, entre profissionais e pacientes [1]. Os termos citados foram publicados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 2011 num livro de definições para tecnologias de cuidados em saúde suportadas por dispositivos móveis como telefones celulares e assistentes digitais pessoais (PDAs) e outros dispositivos [2]. Outros exemplos de avanços tecnológicos na saúde são os sistemas PACS (Picture Archiving and Communication System) e HIS (Sistema de Informação Hospitalar) [1].

Em particular, nos serviços de radioterapia, o cenário não é diferente, sendo outro campo em rápido desenvolvimento com um esforço constante para melhorar a qualidade e a eficiência do atendimento ao paciente. A radioterapia demanda urgência em torno do uso da tecnologia para aprimorar os cuidados e melhorar os resultados, assim como, criar eficiências através do uso de automação e inteligência artificial (IA) [3]. Estas últimas, já bem estabelecidas ou emergentes no fluxo de trabalho, considerando aspectos multidisciplinares na clínica da radioterapia que engloba por exemplo: o registro e a fusão de imagens^[4-5] nos portais de controle; contorno e delimitação dos volumes alvo e órgãos de risco; garantia da qualidade^[6]; funções de planejamento automático de tratamento que fornecem ferramentas para reduzir a quantidade de interação do usuário a fim de atingir planos complexos ótimos como a radioterapia de intensidade modulada (IMRT); arcoterapia volumétrica modulada (VMAT) onde o sistema de planejamento automatizado permite a redução do tempo para criar um plano de tratamento produzindo planos comparáveis ou melhores em comparação com o planejamento manual^[7].

Por todos estes exemplos, a automação e o uso de inteligência artificial atualmente estabelecidos, passaram a ser objeto de estudos de trabalhos recentemente publicados onde os autores investigaram a percepção dos profissionais que trabalham em serviços de radioterapia sobre a automação no planejamento desta modalidade de tratamento oncológico [3], ou ainda, a opinião de profissionais da radiologia, tecnólogos em medicina nuclear e radioterapeutas sobre o uso de tecnologia na área da saúde[1]. Trabalhos como estes são fundamentais para apontar as necessidades na capacitação da mão de obra especializada identificando as lacunas que levam às dificuldades destes profissionais na adaptação para este cenário atual e emergente do uso de automação e inteligência artificial nos centros de radioterapia do país. Existe a necessidade de avaliação e educação apontada num recente estudo sobre as demandas atuais de radioterapia no Sistema Único de Saúde (SUS) e estimativas para o de 2030 que informa que dados do *Directory Of Radiotherapy Centres* (DIRAC), banco de dados da Agência Internacional de Energia (IAEA), apontaram o déficit de serviços de radioterapia, equipamentos e mão de obra, inclusive no Brasil, enfatizando a capacitação de recursos humanos como ponto crucial do planejamento e gestão em radioterapia[8].

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo pesquisar e avaliar a compreensão e a opinião dos tecnólogos e técnicos em radioterapia operadores de aceleradores lineares ou tomógrafo dedicado, a respeito do uso da tecnologia voltada a automação e inteligência artificial nos processos que envolvem sua rotina de trabalho e criar uma cartilha educativa para esses profissionais que será disponibilizada em um site.

2.1. Objetivos Específicos

- **Identificar e analisar as compreensões:** Coletar e analisar as compreensões e opiniões de tecnólogos e técnicos em radioterapia sobre o uso de automação e inteligência artificial em suas práticas diárias, focando em seus benefícios e desafios.
- **Identificar lacunas:** Identificar lacunas nas competências e conhecimentos dos profissionais em relação às novas tecnologias, propondo uma intervenção específica para a educação continuada dos profissionais.
- **Desenvolver uma cartilha educativa:** Criar uma cartilha educativa baseada nas informações coletadas para os profissionais de radioterapia.
- **Criar um site de consulta:** Desenvolver um site que funcione como um portal de consulta, disponibilizando a cartilha e outros materiais relevantes sobre automação e inteligência artificial, acessíveis gratuitamente aos profissionais da área.

2.2 Justificativa

A velocidade com que os desenvolvimentos tecnológicos são introduzidos na humanidade está aumentando, inclusive na área da saúde [1]. Em particular nos centros de oncologia que prestam serviços de tratamento radioterápico, pois, profissões voltadas para a tecnologia são constantemente confrontadas com inovações tecnológicas. Portanto, é de extrema importância coletar as percepções,

opiniões e experiências dos profissionais de saúde em relação à automação em suas práticas diárias no trabalho, sendo que, até o momento, são escassas as pesquisas voltadas para as considerações destes profissionais sobre estas tecnologias [9].

As contribuições pretendidas neste estudo são:

- **Impacto:** Identificar os principais pontos destacados pelos profissionais quanto ao uso de automação e inteligência artificial na rotina do trabalho, avaliar os resultados e criar uma cartilha educativa.
- **Aplicabilidade:** Identificação das lacunas que podem ser abordadas por intervenções capazes de apoiar os profissionais, incluindo a tomada de decisões pelos gestores do setor de radioterapia. Isso envolve ações de educação continuada e treinamento de pessoal nas tecnologias discutidas nesta pesquisa.
- **Inovação:** Conduzir um estudo de opinião de tecnólogos e técnicos de radioterapia operadores de aceleradores lineares ou tomógrafos dedicados sobre os avanços tecnológicos envolvendo a automação em suas rotinas de trabalho combatendo a escassez de estudos desta natureza no Brasil e auxiliando os profissionais na solução das demandas identificadas através da criação de um recurso tecnológico como uma cartilha digital e divulgá-la gratuitamente na forma de um *site* que possa servir de portal de consulta com materiais relevantes que atendam suas necessidades com relação ao assunto desta pesquisa.
- **Complexidade:** Obter a contribuição de profissionais tecnólogos e técnicos em radioterapia em participar da pesquisa. A análise estatística dos dados para a elaboração de uma intervenção pertinente que possa preencher as lacunas existentes nas demandas destes profissionais como as sugeridas no item (3) acima.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A inteligência artificial.

O artigo intitulado "*Computing Machinery and Intelligence*"^[10] publicado em 1950 na revista "*Mind*", uma publicação acadêmica trimestral de psicologia e filosofia, pelo autor britânico Alan Mathison Turing^[10] (1912-1954) um matemático, lógico, cientista da computação e criptoanalista, menciona que o ato de "pensar" é caracterizado pela habilidade de uma entidade em executar atividades que comumente associamos à inteligência humana, tais como aprender, raciocinar, resolver problemas e comunicar-se. Ele sustenta a ideia de que, caso uma máquina fosse capaz de desempenhar essas atividades de maneira indistinguível de um ser humano, poderíamos afirmar que a máquina está, de fato, pensando. Ainda neste artigo o autor propõe de maneira conceitual, aquilo que viria a ser conhecido como "O Teste de Turing" onde se concentrou na interação textual entre um juiz (humano), um outro ser humano e uma máquina, sem entrar em detalhes práticos específicos sobre como a implementação do teste poderia ocorrer. Pode-se inferir pelo texto do autor que, a ideia do teste é ter um juiz humano interagindo através de mensagens de texto com dois participantes ocultos, um humano e uma máquina e assim, se o juiz não puder determinar consistentemente qual é qual com base em suas respostas, considera-se que, a máquina passou no teste, demonstrando comportamento inteligente similar ao humano. Em essência, o teste busca avaliar a capacidade da máquina de imitar a inteligência humana durante uma interação textual, sem depender de características físicas.

O renomado dicionário britânico ^[11], anunciou em 31 de outubro de 2023 a sigla "AI" como a palavra do ano, referindo-se ao termo em inglês "*Artificial Intelligence*", ou, Inteligência Artificial em português (IA). O referido dicionário menciona que esta palavra se refere à "simulação de funções mentais humanas por meio de programas de computador", reconhecida como a próxima grande revolução tecnológica, a IA tem experimentado avanços rápidos e tem sido amplamente discutida ao longo do ano de 2023-2024.

O termo IA foi criado pelo cientista da computação John McCarthy que organizou em 1955 a Conferência de Dartmouth em Inteligência Artificial [12], juntamente com Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon, ocorrida no Dartmouth College. Essa conferência representou um marco significativo na consolidação da inteligência artificial como um campo de estudo formal e distintivo onde o termo "inteligência artificial" foi oficialmente adotado para descrever a aspiração de desenvolver máquinas capazes de imitar as atividades cognitivas humanas e realizar tarefas que geralmente exigem inteligência. O projeto reuniu um grupo de cientistas para explorar a possibilidade de criar máquinas que pudessem simular a inteligência humana, com foco em linguagem, resolução de problemas e autoaperfeiçoamento. Resultou em avanços significativos na área, incluindo a criação do primeiro programa de computador de jogos de xadrez e o desenvolvimento de técnicas de aprendizado de máquina (*machine learning*, do inglês). Além disso, estabeleceu as bases para a pesquisa em IA e inspirou muitos outros estudos e projetos na área. De acordo com os autores da conferência, em 1955 os computadores automáticos existentes não possuíam velocidade e capacidade de memória suficientes para simular muitas das funções mais complexas do cérebro humano. [12]. Portanto, é razoável dizer que, a concepção da IA visava emular as diversas facetas da inteligência, abrangendo aspectos humanos através da utilização de máquinas.

A área da IA é uma fronteira crucial do conhecimento na contemporaneidade, aplicável em diversos setores da vida humana. Seu entendimento correto e uso eficaz de suas técnicas dependem de um estudo apropriado da matemática, dada a profunda conexão do surgimento da IA com os desenvolvimentos matemáticos do século XX. Destacam-se, as Redes Neurais Artificiais (RNA) e as Máquinas de Vetor de Suporte (MVS) [13] de modo que, pode-se inferir que, a compreensão de tópicos como álgebra linear, cálculo, estatística e teoria da probabilidade são fundamentais para a parametrização adequada dos algoritmos por trás dessas técnicas. Para além da necessidade de domínio destas técnicas matemáticas e computacionais, preocupações relacionadas ao uso da IA num contexto ético e legal configuram preocupações corroboradas numa das edições do O Correio da UNESCO (2018) [14], a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, destacando que, os desafios éticos apresentados pela

IA são abundantes e, sem dúvida, continuarão a surgir no futuro, possivelmente com maior intensidade. Embora a pesquisa no campo técnico da IA esteja progredindo rapidamente, a dimensão ética não acompanhou esse avanço na mesma medida. Apesar de várias vozes na comunidade de pesquisa expressarem preocupação a respeito desse descompasso e de alguns países começarem a abordar a questão de maneira mais séria, ainda não existe um quadro regulatório estabelecido para orientar pesquisas éticas em escala global. [14]

3.2A inteligência artificial na radioterapia.

A Sociedade Americana do Câncer (*American Cancer Society*) [15] explica que a radioterapia utiliza partículas ou ondas de alta energia, como raios-x, raios gama, feixes de elétrons ou prótons, para destruir ou danificar as células cancerosas. Normalmente, as células crescem e se dividem para formar novas células, no entanto, as células cancerosas crescem e se dividem mais rapidamente do que a maioria das células normais. A radiação atua fazendo pequenas quebras no DNA (ácido desoxirribonucleico) dentro do núcleo das células. Essas rupturas impedem o crescimento e a divisão das células cancerosas, levando-as à morte. Células normais próximas também podem ser afetadas pela radiação, mas a maioria se recupera e volta a funcionar como deveria. [15]

A integração da IA em serviços de radioterapia tem evoluído gradualmente, sem um pioneiro ou ponto de partida específico identificável. Essa progressão, marcada pela aplicação de técnicas de IA no planejamento [3], adaptação em tempo real durante sessões de radioterapia e interpretação de imagens médicas que passaram por registro e fusão [4-5], resulta de contribuições diversificadas de pesquisadores e instituições ao longo do tempo. A otimização do tratamento, a identificação de áreas-alvo e órgãos saudáveis e a gestão e melhoria do fluxo de tratamento com a otimização do agendamento de radioterapia [16] são exemplos de áreas beneficiadas através do desenvolvimento de algoritmos de aprendizado de máquina e da melhoria da capacidade computacional. Há também potencial de aplicação nos procedimentos de garantia de qualidade (QA) aplicados a radioterapia através de sistemas baseados em IA tais como a auto-segmentação, registro de imagem, auto-planejamento, geração de sCT (sigla que se refere a imagens de tomografia computadorizada geradas sinteticamente por meio de

técnicas de inteligência artificial a partir de outras modalidades de imagem, como ressonância magnética (MRI) ou tomografia computadorizada cone-beam (CBCT) e aplicações também nos processos que garante a qualidade, QA (*quality assurance*) do paciente e QA da máquina. [17]

O suporte à tomada de decisão clínica usa software para analisar dados e ajudar em diagnósticos e tratamentos. A delimitação de tumores, especialmente para radioterapia de cabeça e pescoço, é complexa e demorada, levando em média 3 horas por paciente e resultando em contornos variáveis entre oncologistas. Uma ferramenta de contorno de IA, desenvolvida no Centro de Câncer da Universidade Sun Yat-sen na China, tem sido usada clinicamente desde 2019[18]. Com mais de 12.500 casos de planejamento de radiação realizados, a ferramenta automatiza o contorno de tumores com alto nível de precisão, embora os radioncologistas ainda precisem editar contornos automatizados com pequenos ajustes, economizando até 39,4% do tempo e reduzindo as variações intraobservador e interobservador em 36,4% e 54,5%, respectivamente. Embora os benefícios da assistência por IA sejam claros, a adoção dessa tecnologia pode enfrentar resistência, especialmente no setor de saúde, onde a mudança é uma constante. Há um misto de esperança e receio em relação a essas tecnologias, e esse medo pode se traduzir em resistência tanto dos profissionais de saúde quanto dos pacientes. Um medo específico que pode aumentar essa resistência é a preocupação de que ferramentas de IA substituam trabalhadores qualificados.[18]

3.3 Potencial do uso de IA na radioterapia no Brasil.

Os desafios enfrentados pela radioterapia no Brasil, especialmente no Sistema Público de Saúde, incluem longos tempos de espera devido à falta de capacidade e desigualdade na distribuição dos serviços oncológicos entre as regiões. Esses fatores resultam em diferenças significativas na prestação de cuidados, impactando negativamente os resultados do tratamento e a sobrevivência dos pacientes. A universalização da radioterapia assistida por IA poderia evitar milhares de mortes por câncer, como sugerem estudos que indicam que tal medida poderia salvar mais de 5.000 vidas nos tipos de câncer mais

prevalentes se apresentando como uma solução promissora para esses problemas. Modelos baseados em conhecimento, como o *RapidPlan* da *Varian Medical Systems* (ferramenta de automação utilizada no planejamento de tratamentos de radioterapia que emprega algoritmos de inteligência artificial para auxiliar na criação de planos de tratamento individualizados para pacientes com câncer), têm demonstrado reduzir os tempos de planejamento de tratamento em até 95%, liberando assim os profissionais que lidam com essa tarefa para outras atividades essenciais e aumentando a capacidade do serviço, além de oferecer planos de tratamento, com maior uniformidade e eficiência e diminuindo a variabilidade, beneficiando planejadores menos experientes auxiliando na escassez de profissionais, melhora do custo-efetividade. Assim, a IA pode oferecer um retorno substancial sobre o investimento e trazer benefícios duradouros na qualidade do cuidado oncológico no Brasil [19].

Assim, pode-se reunir um resumo das aplicações mais relevantes para este trabalho. Quanto ao uso da IA na radioterapia:

- **Segmentação de Imagens:** A IA pode ser utilizada para segmentar imagens médicas, como tomografias computadorizadas e ressonâncias magnéticas, para identificar com precisão órgãos e estruturas anatômicas. Isso ajuda na delimitação dos volumes-alvo e dos tecidos saudáveis, facilitando o planejamento do tratamento.
- **Otimização do Plano de Tratamento:** A IA pode auxiliar na otimização dos planos de tratamento de radioterapia, ajudando a encontrar soluções mais eficazes e personalizadas para cada paciente. Isso pode resultar em tratamentos mais precisos e com menor toxicidade para os tecidos saudáveis.
- **Previsão de Resultados:** Algoritmos de IA podem ser empregados para prever os resultados do tratamento com base em dados clínicos e radiológicos. Isso pode ajudar os profissionais de saúde a tomar decisões mais informadas e personalizadas para cada paciente.

- **Automação de Tarefas:** A IA pode automatizar tarefas rotineiras e repetitivas, liberando tempo para os profissionais de radioterapia se concentrarem em aspectos mais complexos e no cuidado direto aos pacientes. No entanto, juntamente com esses benefícios, a implementação da IA na radioterapia também apresenta desafios potenciais, tais como:
- **Compreensão e Aceitação:** Nem todos os profissionais de radioterapia podem estar familiarizados com os métodos e algoritmos complexos utilizados pela IA, o que pode levar a uma relutância em adotar essas tecnologias.
- **Barreiras Éticas e Legais:** Questões éticas, como a privacidade dos dados dos pacientes e a responsabilidade pela tomada de decisões clínicas baseadas em algoritmos de IA, precisam ser cuidadosamente consideradas e abordadas.
- **Disparidades de Acesso:** Países em desenvolvimento podem enfrentar desafios na adoção da IA devido a disparidades de acesso à tecnologia e recursos necessários para sua implementação [20].

3.4 A importância das pesquisas de opinião e percepção dos profissionais.

As pesquisas de opinião e percepção dos profissionais sobre o uso dessas inovações tecnológicas emergem como instrumentos cruciais para compreender os impactos e a aceitação dessas ferramentas.

Neste contexto [1], conduziram um estudo qualitativo que investigou as opiniões e experiências de radiologistas sobre o uso da tecnologia em sua prática profissional e suas visões sobre o futuro da profissão. Foram recrutados participantes em cinco hospitais nos Países Baixos, abrangendo radiologistas, tecnólogos de medicina nuclear e radioterapeutas, totalizando 252 profissionais convidados a participar. As entrevistas semiestruturadas foram conduzidas durante o horário de trabalho entre fevereiro e maio de 2015. Os dados foram analisados de forma simultânea à coleta, agrupando códigos em temas e discutindo interpretações com pesquisadores sêniores. As conclusões do estudo

revelaram que os radiologistas consideram a tecnologia indispensável para seu trabalho diário, enfatizando a importância de que as inovações tecnológicas resultem em cuidados mais eficientes e eficazes para os pacientes. Eles valorizam os impactos positivos das inovações tecnológicas, como a comunicação mais eficaz por meio de sistemas como PACS, e apreciam os dispositivos tecnológicos que aliviam o esforço físico da profissão. No entanto, também foram identificadas barreiras, como a dependência excessiva da tecnologia e problemas técnicos que podem prejudicar o trabalho diário e expressaram a necessidade de educação e treinamento adequados para garantir o uso seguro e eficaz da tecnologia, destacando a importância de cursos e treinamentos facilitados pelos gestores dos departamentos [1].

Conforme [21] foi realizado um estudo abordando a perspectiva de técnicos em radiologia e radioterapeutas com relação à implementação da inteligência artificial (IA) em imagens médicas sob o objetivo de compreender as opiniões dos profissionais de saúde em relação à IA, focando em áreas-chave como mudanças de papel, prioridades clínicas para IA, benefícios para pacientes e educação. Foi feita uma pesquisa online distribuída nacionalmente na República da Irlanda, envolvendo 318 técnicos em radiologia e 77 radioterapeutas. O estudo utilizou métodos quantitativos e qualitativos, empregando estatísticas descritivas para analisar os resultados das questões fechadas e uma análise temática para as questões abertas. Os participantes foram questionados sobre sua compreensão da IA, prioridades de desenvolvimento, áreas onde a IA é considerada inadequada, uso atual da IA, impacto potencial nos papéis profissionais e impacto nos pacientes. Os resultados revelaram que a maioria dos participantes compreendia o termo IA, com destaque para áreas prioritárias de desenvolvimento, como garantia de qualidade, auditoria clínica, otimização da dose de radiação e melhoria dos fluxos de trabalho. Além disso, houve resistência em relação ao uso da IA em funções de contato direto com pacientes e interpretação final de imagens. A pesquisa também indicou que uma parcela significativa dos participantes já utiliza a IA clinicamente e a maioria acredita que a IA terá impactos positivos nos pacientes incluindo segurança. [21]

De acordo com [18], em um estudo conduzido na China, investigaram os fatores que influenciam a aceitação de tecnologias de contorno assistidas por

inteligência artificial (IA) por radioncologistas. O estudo teve como objetivo desenvolver e testar um modelo baseado na Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia (UTAUT), que é um modelo amplamente utilizado para explicar a intenção de uso de novas tecnologias e inclui fatores como expectativa de desempenho, expectativa de esforço, influência social e condições facilitadoras.

Neste estudo, foram adicionadas as variáveis de risco percebido e resistência. A amostra consistiu de 307 radioncologistas que completaram um questionário com 29 itens. Utilizou-se a modelagem de equações estruturais para avaliar os efeitos, significância e ajuste do modelo. Os resultados indicaram que a intenção comportamental foi significativamente afetada pela expectativa de desempenho, influência social e condições facilitadoras, enquanto a expectativa de esforço, risco percebido e resistência não tiveram efeitos significativos. Concluiu-se que a percepção geral dos médicos sobre a tecnologia assistida por IA foi alta e que a resistência tecnológica entre os oncologistas chineses foi baixa e não relacionada à intenção comportamental, sugerindo que nem todos os fatores do modelo UTAUT são aplicáveis à adoção de tecnologia de IA entre médicos neste contexto [18].

Estes estudos convergem na identificação de uma percepção positiva geral sobre o uso de tecnologias emergentes e ressaltam a importância da tecnologia na melhoria da eficiência e eficácia dos cuidados aos pacientes. Tanto [1] quanto [18] destacam uma alta aceitação da tecnologia, enquanto que [21] observam uma compreensão significativa da I.A. e uma visão positiva sobre seus benefícios clínicos. Uma divergência notada está na resistência ao uso de IA em funções específicas. Enquanto os técnicos em radiologia e radioterapeutas irlandeses mostram resistência ao uso da I.A. em contato direto com pacientes e na interpretação final de imagens, os oncologistas chineses demonstraram baixa resistência tecnológica em geral. No trabalho de [1] foram identificadas barreiras relacionadas à dependência excessiva da tecnologia e problemas técnicos, aspectos menos abordados nos outros dois estudos. Os três estudos evidenciam uma aceitação positiva das inovações tecnológicas na área da saúde, apesar de algumas resistências específicas e barreiras técnicas. A necessidade de treinamento contínuo e educação é uma conclusão unânime, destacando a importância de preparar os profissionais para a integração segura e eficaz dessas

tecnologias. As diferenças nas resistências identificadas entre os grupos estudados sugerem que a aceitação da tecnologia pode variar conforme o contexto cultural e as funções específicas dos profissionais. A adoção bem-sucedida dessas tecnologias dependerá de abordagens que considerem variáveis contextuais e com suporte adequado aos profissionais.

4 METODOLOGIA

4.1 A coleta de dados

Foi elaborado um questionário utilizando a ferramenta *online Google Forms* (Google) sob o título: “*Questionário sobre a percepção e opinião dos técnicos e tecnólogos que atuam em serviços de radioterapia sobre automação e inteligência artificial em processos de teleterapia*”, mostrado na figura 1. Contendo uma apresentação prévia acerca do propósito do questionário, com orientações sobre quem deveria responder (profissionais alvos da pesquisa), como participar da forma adequada. Segue abaixo o texto usado nesta apresentação:

“APRESENTAÇÃO: Este questionário faz parte da pesquisa de opinião pública desenvolvida para minha dissertação de mestrado profissional no IPEN e contribuirá para uma resposta tecnológica que ajudará em algumas demandas deste setor. Por favor, não pesquise previamente na internet as respostas, isso irá interferir na confiabilidade dos resultados da pesquisa, responda a partir do que já sabe ou mesmo do que ainda não sabe sobre o assunto, pois, isso é parte do propósito. Não responda mais de uma vez caso receba outras vezes este mesmo questionário. Não responda se você não atua na radioterapia. Suas respostas serão mantidas no anonimato. Desde já agradeço pela sua contribuição!.

Obs.: Questionário de acordo com o art.1º, parágrafo único, inciso I da Resolução nº 510 de 2016 da CNS, que dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em ciências humanas e sociais”.

Figura 1 – Captura de tela do questionário aplicado.

Questionário sobre a percepção e opinião dos técnicos e tecnólogos que atuam em serviços de radioterapia sobre automação e inteligência artificial em processos de teleterapia.

APRESENTAÇÃO:
Este questionário faz parte da **pesquisa de opinião pública** desenvolvida para minha dissertação de mestrado profissional no Ipen e contribuirá para uma resposta tecnológica que ajudará em algumas demandas deste setor. Por favor, **não pesquise previamente na internet as respostas**, isso irá interferir na confiabilidade dos resultados da pesquisa, **responda a partir do que já sabe ou mesmo do que ainda não sabe** sobre o assunto, pois, isso é parte do propósito.

Não responda mais de uma vez caso receba outras vezes este mesmo questionário. **Não responda se você não atua na radioterapia.** Suas respostas serão mantidas no anonimato. *Desde já agradeço pela sua contribuição!*

Obs.: Questionário de acordo com o art. 1º, parágrafo único, inciso I da Resolução nº 510 de 2016 da CNS, que dispõe sobre as normas

10- Na sua rotina de trabalho, dentro das suas atribuições como técnico ou tecnólogo em radioterapia, existem processos que utilizam Automação e/ou Inteligência Artificial (IA)?

Sim, automação
 Sim, Inteligência Artificial (IA).
 Sim, ambos (Automação e IA).
 Não existem tais processos.
 Não sei informar se existem tais processos.

11- Em sua rotina de trabalho você confia em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial?

Sim, confio totalmente.
 Sim, confio parcialmente.
 Não confio.
 Indiferente (tanto faz).
 Não sei opinar.

12- Você acredita que processos em sua rotina de trabalho que usem automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a necessidade de um operador humano?

Sim, acredito totalmente.
 Sim, acredito parcialmente.
 Não colocam em risco.
 Não sei opinar.

13- Em sua rotina de trabalho, você acredita que processos automatizados que usem inteligência artificial podem colocar em risco a sua segurança?

Sim, acredito totalmente.
 Sim, acredito parcialmente.
 Não colocam em risco.
 Não sei opinar.

Fonte: Autor da dissertação.

4.2O questionário

A seguir é apresentado o questionário:

1. Qual é a sua idade?

- Entre 23 e 30 anos.
 Entre 30 e 40 anos.
 Entre 40 e 50 anos.
 Acima dos 50 anos.

2. Qual é o seu sexo?

- Masculino.
 Feminino.
 Outro.

3. Qual é a sua formação?

- Técnico em Radiologia (sem especialização).
 Técnico em Radiologia (especialista em radioterapia).
 Tecnólogo em Radiologia (sem especialização).
 Tecnólogo em Radiologia (especialista em radioterapia).
 Outros.

4. Você trabalha profissionalmente em radioterapia como?

- Técnico em Radioterapia.
- Tecnólogo em Radioterapia.

5. Você trabalha na operação de qual equipamento?

- Acelerador Linear.
- Telecobaltoterapia.
- Tomógrafo dedicado a radioterapia.

6. Você trabalha em qual tipo de instituição?

- Pública.
- Privada (particular).
- Filantrópica.
- Outro.

7. A quanto tempo você trabalha no setor de radioterapia?

- De 3 meses a 1 ano.
- De 1 a 5 anos.
- De 6 a 10 anos.
- De 11 a 15 anos.
- A mais de 15 anos.

8. Você conhece a definição de automação?

- Sim, totalmente.
- Sim, parcialmente.
- Não conheço a definição.

9. Você conhece a definição de Inteligência Artificial (I.A.)?

- Sim, totalmente.
- Sim, parcialmente.
- Não conheço a definição.

10. Na sua rotina de trabalho, dentro das suas atribuições como técnico ou tecnólogo em radioterapia, existem processos que utilizam automação e/ou Inteligência Artificial (I.A.)?

- Sim, automação.
- Sim, inteligência artificial (I.A.).
- Sim, ambos (Automação e I.A.).
- Não existem tais processos.
- Não sei informar se existem tais processos.

11. Em sua rotina de trabalho você confiaria em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial?

- Sim, confiaria totalmente.
- Sim, confiaria parcialmente.
- Não confiaria.
- Indiferente (tanto faz).
- Não sei opinar.

12. Em sua rotina de trabalho, você acredita que processos automatizados que usam inteligência artificial podem colocar em risco a sua segurança?

- Sim, acredito totalmente.
- Sim, acredito parcialmente.
- Não colocam em risco.
- Não sei opinar.

13. Você acredita que processos em sua rotina de trabalho que usam automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a segurança do paciente?

- Sim, acredito totalmente.
- Sim, acredito parcialmente.
- Não colocam em risco.
- Não sei opinar.

14. Você gostaria de aprender mais sobre automação e I.A.?

- Sim, gostaria.
- Não gostaria.
- Indiferente (tanto faz).

15. Você gostaria de ter acesso a uma cartilha digital em alguma plataforma como um site para conhecer mais sobre automação e inteligência artificial aplicados à radioterapia?

- Sim, gostaria.
- Não gostaria.
- Indiferente (tanto faz).

Deixe abaixo seu *email* se quiser receber o resultado da pesquisa.

4.3A divulgação para a comunidade.

A divulgação do questionário se deu através da elaboração de uma arte na forma de *slide/pôster* em *Microsoft Powerpoint* publicado nas seguintes redes

sociais (do autor): *Facebook, Instagram, LinkedIn, WhatsApp*, incluindo um suporte do Conselho Regional dos Técnicos em Radiologia de São Paulo 5ª Região (CRTR-SP 5ª Região) que após contato por *email* solicitando a divulgação do questionário desta pesquisa nas redes sociais da entidade, foi prontamente atendido, sendo publicado o pôster digital (*post*) no *Instagram* (figura 2).

Figura 2 – Captura de tela da divulgação na página do CRTR-SP do Instagram.



Fonte: Autor da dissertação.

4.4 Análise estatística utilizada.

O teste de Qui Quadrado de Pearson é o teste estatístico usado para avaliar três tipos de comparações: teste de aderência, que estabelece se a distribuição de frequências observadas é diferente da distribuição teórica; teste de independência, que avalia observações não pareadas em duas variáveis são independentes entre si; teste de homogeneidade, que compara a distribuição de duas variáveis categóricas e verificam se são homogêneas entre si. Quando os valores esperados na tabela de contingência estão abaixo de 5 tornando o número de células pequeno, o teste de Qui Quadrado não é adequado. Nesse caso o teste utilizado é o exato de Fisher, que pode ser aplicado para todos os tamanhos amostrais e fornece o valor de *p* exato não exigindo técnica de aproximação, pois é baseado na distribuição hipergeométrica^[22]. Os resultados dos participantes da pesquisa foram descritos através de frequência absoluta (*n*) e relativa (%) visto que todas as variáveis são do tipo qualitativas. Foi aplicado o teste de Qui Quadrado em

todas as análises em virtude de serem duas variáveis qualitativas. A ideia do teste de associação é verificar se algum perfil de resposta da pergunta que está na linha se relaciona com algum perfil de resposta que está na coluna da tabela. Caso o valor p seja superior a 0,05 não há relação entre as duas variáveis avaliadas. Se o valor p for inferior a 0,05 é preciso a aplicação do pós-teste de Bonferroni que identificará onde está exatamente a diferença. Nesses casos, a diferença está destacada em negrito. O teste de Fisher (um caso especial do teste de Qui Quadrado), se aplica numa situação muito específica, onde a quantidade de opções de resposta de uma variável é idêntica a quantidade de opções de resposta da outra variável (matriz quadrada) e em uma das caselas exista uma amostra inferior a 5. Importante ressaltar que essa leitura é feita pelo próprio software e por essa razão, nas tabelas existe a generalização de escrita do teste Qui Quadrado [22]. Todas as análises foram realizadas no software SPSS versão 25 considerando um nível de significância de 5%.

O teste de *Fisher* foi aplicado nas associações abaixo, nas demais situações, utilizou-se o teste Qui Quadrado em sua forma original:

- “Acredita que processos automatizados que usam inteligência artificial podem colocar em risco a própria segurança” **versus** Idade.;
- “Acredita que processos em sua rotina de trabalho que usam automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a segurança do paciente” **versus** Idade.;
- “Confiança nos processos automatizados e geridos por uma IA e a idade dos respondentes **versus** Idade”.;
- “Acredita que processos automatizados que usam inteligência artificial podem colocar em risco a sua segurança” **versus** “Em sua rotina de trabalho você confiaria em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial”.;
- “Acredita que processos em sua rotina de trabalho que usam automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a segurança do paciente” **versus** “Em sua rotina de trabalho você confiaria em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial”.

4.5A criação da cartilha e do *site* de divulgação.

Após a análise, foi criada uma cartilha digital utilizando o software PowerPointTM suportada pelo website criado na plataforma gratuita *site123*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados sociodemográficos

Participaram da pesquisa 175 profissionais. Após a aplicação dos critérios de exclusão (os que não possuíam a formação e/ou experiência para o escopo desta pesquisa), o número total caiu para 171 respondentes. A maioria está na faixa etária entre 30 e 40 anos (49,1%), sendo 53,8% do sexo feminino (tabela 1).

Tabela 1 - Dados descritivos (n = 171)

	n	%
Idade		
Entre 23 e 30 anos	32	18,7
Entre 30 e 40 anos	84	49,1
Entre 40 e 50 anos	46	26,9
Acima dos 50 anos	9	5,3
Sexo		
Feminino	92	53,8
Masculino	79	46,2

Fonte: autor da dissertação.

Uma parcela significativa dos profissionais participantes possui nível superior de escolaridade sendo tecnólogos em radiologia, com especialização em radioterapia (64,1%). Apenas 38,6% afirmam estar atualmente atuando no mercado de trabalho nessa categoria, enquanto 61,4% estão trabalhando como técnicos em radioterapia de nível médio. Isso sugere uma possível discrepância entre a qualificação e a função desempenhada, indicando que profissionais de nível superior estão atuando como técnicos de nível médio. Pouco mais da metade dos respondentes (55%) está empregada em empresas privadas conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Formação, forma de atuação no mercado de trabalho, tipo de instituição.

	n	%
Formação (n = 171)		
Tecnólogo em Radiologia (especialista em radioterapia)	109	63,7
Técnico em Radiologia (especialista em radioterapia)	41	23,9
Técnico em Radiologia (sem especialização)	12	7,1
Tecnólogo em Radiologia (sem especialização)	9	5,3
Trabalha profissionalmente em radioterapia como		
Técnico em Radioterapia	105	61,4
Tecnólogo em Radioterapia	66	38,6
Trabalha em qual tipo de Instituição		
Privada (particular)	94	55,0
Pública	41	24,0
Filantrópica	29	17,0
Outro	7	4,0

Fonte: autor da dissertação.

A ampla maioria (90,6%) opera aceleradores lineares, enquanto o restante (9,4%) trabalha com tomógrafos dedicados à radioterapia (tabela 3).

Tabela 3 – Tipo de equipamentos que os profissionais operam no trabalho.

	n	%
Trabalha na operação de qual equipamento		
Acelerador Linear	155	90,6
Tomógrafo dedicado a radioterapia	16	9,4

Fonte: Autor da dissertação.

Quando perguntado aos profissionais se estes conheciam o conceito ou termo “automação” e “inteligência artificial” a maioria (acima dos 55%) afirmou que sim, que ao menos conheciam parcialmente estas definições. Entre os que afirmam não conhecer estas definições o percentual variou entre 6,4% e 7,0% respectivamente.

Os que afirmaram conhecer plenamente as definições atingiram percentuais entre 34,5% (definição de IA) e 38% (definição de automação), conforme tabela 4.

Tabela 4 – Conhecimento da definição de automação e Inteligência Artificial.

	n	%
Conhece a definição de automação		
Sim, totalmente	65	38,0
Sim, parcialmente	95	55,6
Não conheço a definição	11	6,4
Conhece a definição de Inteligência Artificial (IA)		
Sim, totalmente	59	34,5
Sim, parcialmente	100	58,5
Não conheço a definição	12	7,0

Fonte: autor da dissertação.

Observa-se que, 32,7% dos participantes têm entre 1 e 5 anos de experiência no setor de radioterapia, em comparação com 24,6% que possuem entre 6 e 10 anos de experiência. Somando os percentuais dos participantes com mais experiência, ou seja, aqueles que atuam há mais de 5 anos na radioterapia, tem-se 87,7%, em contraste com a minoria de 12,3% dos participantes com menos experiência (1 ano ou menos) conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de experiência trabalhando no setor de radioterapia.

	n	%
Tempo que trabalha no setor de radioterapia		
De 3 meses a 1 ano	21	12,3
De 1 a 5 anos	56	32,7
De 6 a 10 anos	42	24,6
De 11 a 15 anos	32	18,7
A mais de 15 anos	20	11,7

Fonte: autor da dissertação.

Estes dados se revelam particularmente interessantes quando confrontados com o expressivo percentual (83,9%) de profissionais respondentes que manifestaram interesse em aprimorar seus conhecimentos sobre automação e IA conforme a tabela 6. Sobretudo, considerando que esta parcela converge com o percentual daqueles com uma trajetória mais longa no mercado (tabela 5) sugerindo um compromisso com a atualização e uma disposição para acompanhar a evolução tecnológica nos processos ligados à administração de tratamentos radioterápicos que se beneficiam da automação e IA. Fato que se

confirmou e foi ainda mais expressivo em termos percentuais quando os participantes responderam se gostariam de ter acesso a uma cartilha digital em alguma plataforma, como um site, para aprender mais sobre automação e IA aplicadas à radioterapia, alcançando 90,3% dos respondentes, resultado que valida os objetivos propostos neste trabalho (tabela 6 e 7).

Tabela 6 – Profissionais que gostariam de aprender mais sobre automação e IA

	n	%
Gostaria de aprender mais sobre automação e IA (n = 31)		
Não gostaria	5	16,1
Sim, gostaria	26	83,9

Fonte: autor da dissertação.

Tabela 7 – Profissionais que queriam ter acesso a uma cartilha digital em um site.

	n	%
Gostaria de ter acesso a uma cartilha digital em alguma plataforma como um site para conhecer mais sobre automação e inteligência artificial aplicados à radioterapia (n = 31)		
Indiferente (tanto faz)	1	3,2
Não gostaria	2	6,5
Sim, gostaria	28	90,3

Fonte: autor da dissertação.

5.2 Hipóteses de correlação de dados

A **primeira hipótese** investiga se os profissionais mais jovens entre os respondentes demonstram maior interesse em aprender sobre automação e IA decorrendo-se da ideia de que estes, podem estar mais abertos a novas tecnologias e tendem a buscar conhecimento e adaptação a novos métodos de trabalho. O resultado da análise afirma que a hipótese inicial não foi confirmada. De fato, os dados indicam que os participantes mais jovens não estão necessariamente mais inclinados a querer aprender sobre esses tópicos. Pelo contrário, há uma distribuição notável de respostas entre diferentes faixas etárias. Ao se observar a tabela 8, nota-se que, a maior porcentagem de profissionais que desejam aprender sobre automação e IA está na faixa etária entre 30 e 40 anos

(50%), enquanto a menor porcentagem está entre os participantes com menos de 30 anos (7,7%). Surpreendentemente, a faixa etária mais jovem parece ter a menor proporção de profissionais que expressam interesse em aprender sobre essas tecnologias.

Tabela 8 – Idade versus querer aprender mais.

<i>Gostaria de aprender mais sobre automação e IA</i>			
<i>Idade</i>	Não gostaria	Sim, gostaria	valor p*
Entre 23 e 30 anos	2 (40%)	2 (7,7%)	
Entre 30 e 40 anos	2 (40%)	13 (50%)	
Entre 40 e 50 anos	0 (0%)	11 (42,3%)	0,013
Acima de 50 anos	1 (20%)	0 (0%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

O teste do Qui Quadrado realizado para avaliar a associação entre a idade e o desejo de aprender sobre automação e IA também reforça essa conclusão, indicando que a relação entre essas variáveis não foi confirmada ($p = 0,013$). Esses resultados sugerem que fatores além da idade podem influenciar o interesse dos profissionais em aprender sobre automação e IA. Possíveis variáveis a serem consideradas podem incluir nível de educação, experiência profissional, exposição prévia a tecnologias relacionadas, entre outros.

Estas análises têm implicações importantes para o desenvolvimento de programas de educação e treinamento em radioterapia. Os formuladores de políticas e os líderes da indústria e serviços neste segmento, devem considerar essas nuances ao projetar estratégias para promover a adoção e a integração bem-sucedidas de tecnologias emergentes.

A **segunda hipótese** avaliada foi se pessoas com mais experiência profissional podem demonstrar menor inclinação para buscar aprendizado adicional. Essa tendência pode ser atribuída à percepção de que suas experiências já proporcionaram um conhecimento suficiente para desempenhar bem as suas atribuições. Realizou-se teste de Qui Quadrado para investigar tal associação (Tabela 9).

Os resultados indicaram uma significância estatística $p = 0,000$ entre o desejo de aprender mais, especificamente acessando uma cartilha digital em um

website, e o nível de experiência intermediária dos participantes (6 a 10 anos de experiência). Esses achados apontaram que os profissionais com experiência intermediária são os mais propensos a expressar interesse em buscar aprendizado adicional por meio de recursos digitais. Tal fenômeno pode ser atribuído à percepção desses profissionais de que seu nível atual de conhecimento pode não ser suficiente para lidar com as demandas emergentes do mercado, bem como, à disposição em adotar novas tecnologias para aprimorar suas habilidades profissionais.

Embora profissionais com maior experiência possam sentir-se confortáveis com suas competências existentes, aqueles com experiência intermediária no universo pesquisado, tendem a reconhecer a importância do aprendizado contínuo para se manterem atualizados e competitivos em seus campos de atuação.

Tabela 9 – Experiência versus querer conhecer mais.

Gostaria de ter acesso a uma cartilha digital em alguma plataforma como um site para conhecer mais sobre automação e inteligência artificial aplicados à radioterapia

<i>Tempo que trabalha no setor de radioterapia</i>	Não gostaria	Sim, gostaria	Indiferente (tanto faz)	valor p*
De 3 meses a 1 ano	1 (50%)	3 (10,6%)	0 (0%)	
De 1 a 5 anos	0 (0%)	7 (25%)	0 (0%)	
De 6 a 10 anos	0 (0%)	12 (42,9%)	0 (0%)	0,000
De 11 a 15 anos	1 (50%)	6 (21,4%)	0 (0%)	
A mais de 15 anos	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Na **terceira hipótese** foi avaliado se profissionais mais jovens possuem menos apreensão em relação aos riscos à sua segurança no trabalho decorrentes da implementação de processos automatizados utilizando IA (Tabela 10).

Tabela 10 – Idade versus medo do risco a própria segurança.

<i>Acredita que processos automatizados que usam inteligência artificial podem colocar em risco a própria segurança</i>					
<i>Idade</i>	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
Entre 23 e 30 anos	1 (9,1%)	13 (16,7%)	17 (24,6%)	1 (7,7%)	0,300
Entre 30 e 40 anos	8 (72,7%)	36 (46,2%)	35 (50,7%)	5 (38,5%)	
Entre 40 e 50 anos	2 (18,2%)	25 (32,1%)	14 (20,3%)	5 (38,5%)	
Acima dos 50 anos	0 (0%)	4 (5,1%)	3 (4,3%)	2 (15,4%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

O teste do Qui Quadrado aplicado indica que não houve associação estatisticamente significativa entre idade e crença de que esses processos possam colocar em risco a segurança dos profissionais ($p = 0,300$). Os resultados sugerem que a percepção de risco relacionada à implementação de processos automatizados utilizando IA não é fortemente influenciada pela idade dos profissionais sendo importante considerar uma variedade de outros fatores além da idade ao desenvolver estratégias para mitigar preocupações com segurança.

A **quarta hipótese** investiga se profissionais mais jovens demonstram menor apreensão em relação aos riscos à segurança do paciente decorrentes da implementação de processos automatizados que fazem uso de IA. Essa suposição se baseia na premissa de que indivíduos mais jovens podem ter maior familiaridade e confiança em tecnologias emergentes, o que pode influenciar sua percepção dos riscos associados à automação na prática clínica. Foi conduzido teste de Qui Quadrado para avaliar essa relação e os resultados revelaram que não há uma associação significativa entre a idade dos profissionais e sua percepção de risco em relação à segurança do paciente ($p = 0,260$), conforme mostrado na tabela 11. Esses resultados sugerem que, no contexto específico de tratamento radioterápico com automação e uso de IA, tanto profissionais mais jovens quanto mais experientes podem ter uma compreensão similar dos riscos envolvidos. Programas de educação e treinamento que abordem a segurança do paciente relacionados implementação dessas tecnologias devem ser direcionados para todas as faixas etárias destes profissionais.

Tabela 11 – Idade versus medo do risco à segurança do paciente devido ao uso de automação e IA

<i>Acredita que processos em sua rotina de trabalho que usam automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a segurança do paciente</i>					
<i>Idade</i>	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
Entre 23 e 30 anos	4 (21,1%)	13 (15,3%)	12 (21,4%)	3 (27,3%)	0,260
Entre 30 e 40 anos	12 (63,2%)	38 (44,7%)	30 (53,6%)	4 (36,4%)	
Entre 40 e 50 anos	3 (15,8%)	29 (34,1%)	12 (21,4%)	2 (18,2%)	
Acima dos 50 anos	0 (0%)	5 (5,9%)	2 (3,6%)	2 (18,2%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Na **quinta hipótese**, propõe-se uma relação entre o tempo de experiência dos profissionais alvo deste estudo e o medo em relação à segurança pessoal diante do uso de automação e IA sugerindo que profissionais com maior experiência possam demonstrar maior receio. Os dados da tabela 12 revelaram esta percepção.

Tabela 12 - Tempo de experiência vs medo do risco à própria segurança devido ao uso de automação e IA

<i>Acredita que processos automatizados que usam inteligência artificial podem colocar em risco a sua segurança</i>					
<i>Tempo que trabalha no setor de radioterapia</i>	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
De 3 meses a 1 ano	1 (9,1%)	8 (10,3%)	11 (15,9%)	1 (7,7%)	0,109
De 1 a 5 anos	5 (45,5%)	23 (29,5%)	24 (34,8%)	4 (30,8%)	
De 6 a 10 anos	4 (36,4%)	13 (16,7%)	22 (31,9%)	3 (23,1%)	
De 11 a 15 anos	1 (9,1%)	22 (28,2%)	7 (10,1%)	2 (15,4%)	
A mais de 15 anos	0(0%)	12 (15,4%)	5 (7,2%)	3 (23,1%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Ao analisar os resultados do teste do Qui Quadrado observou-se que o valor p foi 0,109, de modo que, este valor, quando comparado com um nível de significância padrão de 0,05, não atinge um limiar estatisticamente significativo. Em outras palavras, não há evidências suficientes para afirmar que existe tal associação, portanto, independentemente do tempo de experiência no setor de radioterapia, os trabalhadores têm uma percepção semelhante sobre os riscos envolvidos. Isso pode indicar que a preocupação com a segurança está mais relacionada à natureza das tecnologias em si e às garantias de segurança que acompanham sua implementação, do que à experiência individual dos profissionais.

Na **sexta hipótese** investigou-se se existe uma possível associação entre o tempo de experiência de trabalho dos profissionais respondentes e o medo percebido em relação ao risco à segurança do paciente, particularmente em relação ao uso de automação e IA nos processos que envolvem o planejamento e a entrega dos tratamentos radioterápicos.

Supõe-se que, profissionais com mais anos de experiência possam demonstrar maior preocupação com a segurança do paciente, considerando os possíveis impactos e desafios associados à implementação de tais tecnologias.

Com base nos resultados do teste do Qui Quadrado, observou-se que, não há uma associação significativa entre o tempo de trabalho no setor de radioterapia e esta percepção, sendo $p = 0,104$. Isso sugere que, independentemente da experiência dos profissionais, a percepção de risco não varia significativamente. Esses resultados indicam que o nível de preocupação pode ser uniforme entre os profissionais, independentemente de seu tempo de serviço (tabela 13).

Tabela 13 - Tempo de experiência vs medo do risco à segurança do paciente pelo uso de automação e IA

Acredita que processos em sua rotina de trabalho que usam automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a segurança do paciente

<i>Tempo que trabalha no setor de radioterapia</i>	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
De 3 meses a 1 ano	5 (26,3%)	7 (8,2%)	8 (14,3%)	1 (9,1%)	
De 1 a 5 anos	8 (42,1%)	26 (30,6%)	19 (33,9%)	3 (27,3%)	
De 6 a 10 anos	4 (21,1%)	16 (18,8%)	19 (33,9%)	3 (27,3%)	0,104
De 11 a 15 anos	1 (5,3%)	23 (27,1%)	6 (10,7%)	2 (18,2%)	
A mais de 15 anos	1 (5,3%)	13 (15,3%)	4 (7,1%)	2 (18,2%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

A **sétima hipótese** investiga se existe a possibilidade de uma relação inversa entre o conhecimento sobre automação e IA e o medo percebido em relação ao risco à própria segurança entre os profissionais respondentes. Sugere-se que os que afirmam possuir conhecimento sobre a definição de IA possam demonstrar menor medo em relação aos potenciais riscos associados a processos automatizados que utilizam essas tecnologias em seu ambiente de trabalho. Os resultados estão na tabela 14 abaixo.

Tabela 14 – conhece a definição vs medo do risco à própria segurança devido ao uso de automação e IA

Acredita que processos automatizados que usam inteligência artificial podem colocar em risco a sua segurança

<i>Conhece a definição de Inteligência Artificial (IA)</i>	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
Não conheço	2 (18,2%)	4 (5,1%)	3 (4,3%)	3 (23,1%)	
Sim, parcialmente	3 (27,3%)	50 (64,1%)	39 (56,5%)	8 (61,5%)	0,035
Sim, totalmente	6 (54,5%)	24 (30,8%)	27 (39,2%)	2 (15,4%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Observa-se uma associação significativa entre o conhecimento sobre a definição de IA e a percepção de risco à própria segurança em relação aos processos automatizados que a utilizam ($p = 0,035$). Especificamente, os resultados sugerem que os profissionais que afirmam conhecer completamente a definição de IA têm uma tendência a expressar menos medo em relação aos riscos associados.

Na **oitava hipótese** foi avaliada a possibilidade de uma relação entre o conhecimento sobre a definição de IA e o medo percebido em relação ao risco à segurança do paciente. Supõe-se que profissionais que afirmam possuir esse conhecimento possam demonstrar menor medo em relação aos potenciais riscos à segurança do paciente. O resultado está na tabela 15.

Tabela 15 – conhece a definição vs medo do risco à segurança do paciente pelo uso de automação e IA

<i>Acredita que processos em sua rotina de trabalho que usam automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a segurança do paciente</i>					
<i>Conhece a definição de Inteligência Artificial (IA)</i>	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
Não conheço	2 (10,5%)	3 (3,5%)	3 (5,4%)	4 (36,4%)	
Sim, parcialmente	8 (42,1%)	57 (67,1%)	29 (51,8%)	6 (54,5%)	0,001
Sim, totalmente	9 (47,4%)	25 (29,4%)	24 (42,8%)	1 (9,1%)	

*Teste Qui Quadrado
Fonte: autor da dissertação.

Os resultados do teste do Qui Quadrado confirmam associação estatisticamente significativa ($p = 0,001$) entre o conhecimento sobre a definição de IA e o medo percebido em relação ao risco à segurança do paciente. Profissionais que relataram ter um entendimento completo da definição de IA mostraram uma tendência a expressar menor medo em relação aos possíveis riscos envolvidos. A **nona hipótese** supõe que existe uma relação entre a idade dos profissionais respondentes e a confiança em processos automatizados geridos e decididos por uma IA. A hipótese sugere que profissionais mais jovens possam demonstrar uma maior confiança nesses processos, enquanto profissionais mais velhos possam

expressar menor confiança, refletindo possíveis diferenças de percepção e familiaridade com tecnologias emergentes como a IA. Resultado na tabela 16.

Tabela 16 – Confiança nos processos automatizados e geridos por uma IA e a idade dos respondentes.

<i>Idade</i>					
<i>Em sua rotina de trabalho você confiaria em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial?</i>	Entre 23 e 30 anos	Entre 30 e 40 anos	Entre 40 e 50 anos	Acima dos 50 anos	valor p*
Não confiaria	5 (15,6%)	11 (13,1%)	8 (17,4%)	1 (11,1%)	0,19 0
Sim, confiaria parcialmente	21 (65,6%)	54 (64,3%)	26 (56,5%)	3 (33,3%)	
Sim, confiaria totalmente	1 (3,1%)	15 (17,9%)	8 (17,4%)	3 (33,3%)	
Não sei opinar	5 (15,6%)	4 (4,8%)	4 (8,7%)	2 (22,2%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Não houve uma relação significativa entre essas variáveis, conforme indicado pelo teste do Qui Quadrado ($p = 0,190$). Embora haja variações nos percentuais de confiança em processos automatizados entre diferentes faixas etárias, essa variação não alcança um nível de significância estatística. Os dados mostram que a maioria dos respondentes em todas as faixas etárias expressa confiança parcial nos processos automatizados geridos por uma IA, seguido por aqueles que não têm certeza de sua opinião. Por outro lado, o percentual de respondentes que confiam totalmente nos processos automatizados é menor em todas as faixas etárias. Esses resultados sugerem que a idade dos técnicos e tecnólogos em radioterapia pode não ser um fator determinante na confiança em processos automatizados geridos por uma IA sendo que outros fatores, podem desempenhar um papel mais significativo na formação da opinião desses profissionais.

A **décima hipótese** avaliou se os entrevistados com mais experiência profissional confiariam mais em processos automatizados geridos e decididos por uma IA. Os resultados estão na tabela 17.

Tabela 17 – Confiança nos processos automatizados e geridos por uma IA e a experiência profissional

<i>Em sua rotina de trabalho você confiaria em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial?</i>	Tempo que trabalha no setor de radioterapia					valor p*
	De 3 meses a 1 ano	De 1 ano a 5 anos	De 6 a 10 anos	De 11 a 15 anos	A mais de 15 anos	
Não confiaria	3 (14,3%)	9 (16,1%)	6 (14,3%)	4 (12,5%)	3 (15%)	0,98
Sim, confiaria parcialmente	13 (61,9%)	35 (62,5%)	23 (54,8%)	22 (68,8%)	11 (55%)	
Sim, confiaria totalmente	3 (14,3%)	8 (14,3%)	8 (19%)	5 (15,6%)	3 (15%)	
Não sei opinar	2 (9,5%)	4 (7,1%)	5 (11,9%)	1 (3,1%)	3 (15%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Os resultados do teste do Qui Quadrado mostram que não existe uma relação significativa entre a confiança nos processos automatizados geridos e decididos por uma IA e o tempo de trabalho no setor de radioterapia, conforme indicado pelo valor p associado de 0,983. Os dados revelam que não há diferenças substanciais na distribuição da confiança nos processos automatizados entre as diferentes faixas de experiência profissional. A maioria dos respondentes em todas as faixas de tempo de trabalho expressa uma confiança parcial nos processos automatizados geridos por uma IA, seguida por aqueles que não têm certeza de sua opinião. Por outro lado, o percentual de respondentes que confiam totalmente nos processos automatizados é relativamente menor em todas as faixas de experiência profissional. Esses resultados sugerem que a confiança nos processos automatizados não parece estar diretamente relacionada à experiência profissional.

A **décima primeira hipótese** avalia se existe uma relação entre a confiança dos profissionais em processos automatizados geridos por uma IA e a percepção de risco à própria segurança. A hipótese sugere que profissionais que confiam mais em tais processos, tendem a perceber menos riscos, em contra partida, àqueles que expressam menor confiança possuem uma percepção de risco à segurança mais acentuada. Os resultados da tabela 18 mostram uma associação significativa entre a confiança em processos automatizados geridos por uma IA e a percepção

de risco à própria segurança, com um valor **p** associado de 0,000.

Tabela 18 – Confiança nos processos automatizados e geridos por uma IA medo do risco a sua segurança.

<i>Acredita que processos automatizados que usam inteligência artificial podem colocar em risco a sua segurança</i>					
<i>Em sua rotina de trabalho</i>					
<i>você confiaria em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial?</i>	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
Não confiaria	5 (45,5%)	15 (19,2%)	4 (5,8%)	1 (7,7%)	0,000
Sim, confiaria parcialmente	3 (27,3%)	55 (70,5%)	40 (58%)	6 (46,2%)	
Sim, confiaria totalmente	3 (27,3%)	6 (7,7%)	17 (24,6%)	1 (7,7%)	
Não sei opinar	0 (0%)	2(2,6%)	8 (11,6%)	5 (38,5%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Essa descoberta sugere uma relação inversa entre a confiança nos processos automatizados e a percepção de risco à segurança. Isso pode ter implicações importantes para a aceitação e implementação de tecnologias automatizadas, destacando a importância da confiança dos profissionais na eficácia e segurança desses processos.

A **décima segunda hipótese** supõe que existe uma relação entre a confiança dos profissionais em processos automatizados geridos por uma IA e a percepção de risco à segurança do paciente associado a esses processos.

A hipótese sugere que profissionais que confiam mais nos processos automatizados tendem a perceber menos riscos à segurança do paciente, enquanto aqueles que expressam menos confiança possuem uma percepção de risco à segurança do paciente mais acentuada. Os resultados estão na tabela 19.

Tabela 19 – Confiança nos processos automatizados e geridos por uma IA medo do risco a segurança do paciente.

Acredita que processos em sua rotina de trabalho que usam automação e/ou inteligência artificial colocam em risco a segurança do paciente					
<i>Em sua rotina de trabalho você confiaria em processos automatizados geridos e decididos por uma Inteligência Artificial?</i>					
	Sim, acredito totalmente	Sim, acredito parcialmente	Não colocam em risco	Não sei opinar	valor p*
Não confiaria	8 (42,1%)	14 (16,5%)	2 (3,6%)	1 (9,1%)	
Sim, confiaria parcialmente	7 (36,8%)	60 (70,6%)	34 (60,7%)	3 (27,3%)	0,000
Sim, confiaria totalmente	3 (15,8%)	7 (8,2%)	17 (30,4%)	0 (0%)	
Não sei opinar	1 (5,3%)	4 (4,7%)	3 (5,4%)	7 (63,6%)	

*Teste Qui Quadrado

Fonte: autor da dissertação.

Observa-se uma associação significativa entre a confiança em processos automatizados geridos por uma IA e a percepção de risco à segurança do paciente em relação a estes processos, com um valor p associado de 0,000. Os resultados sugerem uma relação inversa entre a confiança nos processos automatizados e a percepção de risco à segurança do paciente, indicando que os profissionais que confiam mais nos processos automatizados tendem a ter menos medo em relação aos riscos à segurança do paciente. A tabela 20 resume os resultados do trabalho.

Tabela 20 – Resumo dos resultados do trabalho.

Aspecto	Resultado
Perfil dos participantes	- 171 respondentes válidos - 49,1% entre 30-40 anos - 53,8% sexo feminino
Formação e atuação	- 64,1% tecnólogos em radiologia com especialização em radioterapia - 61,4% atuam como técnicos em radioterapia - 55% em instituições privadas
Equipamentos operados	- 90,6% operam aceleradores lineares
Conhecimento sobre automação e IA	- >55% conhecem parcialmente os conceitos - 34,5-38% conhecem totalmente
Experiência profissional	- 32,7% entre 1-5 anos - 24,6% entre 6-10 anos
Interesse em aprender mais	- 83,9% gostariam de aprender mais sobre automação e IA - 90,3% gostariam de acessar uma cartilha digital sobre o tema
Percepção de risco	- Não houve associação significativa entre idade/experiência e percepção de risco à própria segurança ou do paciente
Confiança em processos automatizados	- Não houve associação significativa entre idade/experiência e confiança - Houve associação significativa entre confiança e percepção de risco (própria e do paciente)
Idade vs. interesse em aprender	Não confirmada. Maior interesse na faixa 30-40 anos (50%)
Experiência vs. interesse em aprender	Significativo para experiência intermediária (6-10 anos)
Idade vs. percepção de risco à própria segurança	Não houve associação significativa
Idade vs. percepção de risco à segurança do paciente	Não houve associação significativa
Experiência vs. percepção de risco à própria segurança	Não houve associação significativa
Experiência vs. percepção de risco à segurança do paciente	Não houve associação significativa
Conhecimento sobre IA vs. percepção de risco à própria segurança	Associação significativa. Maior conhecimento, menor percepção de risco
Conhecimento sobre IA vs. percepção de risco à segurança do paciente	Associação significativa. Maior conhecimento, menor percepção de risco
Idade vs. confiança em processos automatizados	Não houve associação significativa
Experiência vs. confiança em processos automatizados	Não houve associação significativa
Confiança em processos automatizados vs. percepção de risco à própria segurança	Associação significativa. Maior confiança, menor percepção de risco
Confiança em processos automatizados vs. percepção de risco à segurança do paciente	Associação significativa. Maior confiança, menor percepção de risco

Fonte: autor da dissertação.

5.3 Cartilha

A seguir, apresentamos o sumário da cartilha, seguido pelas imagens da versão final do documento.

SUMÁRIO

Introdução à Inteligência Artificial (IA)

- Definição de IA e sua aplicação em diversos setores.
- Breve visão geral dos conceitos fundamentais de IA.

Utilização da IA na Radioterapia

- Como a IA está sendo integrada nos processos de tratamento em radioterapia.
- Exemplos de algoritmos e técnicas de IA utilizados na otimização de planos de tratamento e detecção de anomalias.
- Exemplos reais

Perspectivas Futuras do Uso de IA na Radioterapia


- Tendências e previsões para o desenvolvimento futuro da IA na área de radioterapia.
- Potenciais impactos na prática clínica e nos resultados dos pacientes.

Novas Pesquisas e Inovações em IA e Radioterapia

- Visão geral das pesquisas recentes e em andamento relacionadas à IA e radioterapia.
- Destaques de novas tecnologias e abordagens promissoras.

O Novo Papel do Tecnólogo em Radiologia Especialista em Radioterapia

- Adaptações necessárias para os profissionais de radioterapia diante da crescente integração da IA.
- Desafios e oportunidades para os tecnólogos em radioterapia neste contexto em evolução.




ipen
Instituto de pesquisas
energéticas e nucleares

Cartilha

Inteligência Artificial em Radioterapia

Para Técnicos e Tecnólogos



Autores: Tnl. Esp. Carlos Eduardo da Cunha
Dra. Carla Daruich de Souza

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
São Paulo/SP – Brasil 2024



ipen
Instituto de pesquisas
energéticas e nucleares

Apresentação

Informações sobre os autores:



Carlos Eduardo da Cunha
Tecnólogo em Radiologia – FASM
Especialista em Radioterapia – EEP HCFMUSP
Aluno do Mestrado Profissional Em Tecnologia
das Radiações Em Ciências da Saúde – IPEN



Carla Daruich de Souza
Física Médica - UNESP
Doutora em Tecnologia Nuclear Aplicações - IPEN
Orientadora do Mestrado Profissional de Tecnologia
das Radiações na Saúde - IPEN

Esta cartilha foi criada para informar sobre o fascinante uso da inteligência artificial em radioterapia. Com um foco especial em técnicos e tecnólogos em radiologia, nosso objetivo é apresentar de forma clara e acessível as aplicações, benefícios e desafios dessa tecnologia inovadora. Esperamos que você encontre aqui informações valiosas que ajudem a expandir seu conhecimento sobre esse tema tão relevante e em crescimento na área da saúde. Aproveite a leitura!

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
São Paulo/SP – Brasil 2024

SUMÁRIO

1 Introdução à Inteligência Artificial (IA)

- Definição de IA e sua aplicação em diversos setores.
- Breve visão geral dos conceitos fundamentais de IA.

2 Utilização da IA na Radioterapia

- Como a IA está sendo integrada nos processos de tratamento em radioterapia.
- Exemplos de algoritmos e técnicas de IA utilizados na otimização de planos de tratamento e detecção de anomalias.
- Exemplos reais

3 Perspectivas Futuras do Uso de IA na Radioterapia

- Tendências e previsões para o desenvolvimento futuro da IA na área de radioterapia.
- Potenciais impactos na prática clínica e nos resultados dos pacientes.

4 Novas Pesquisas e Inovações em IA e Radioterapia

- Visão geral das pesquisas recentes e em andamento relacionadas à IA e radioterapia.
- Destaques de novas tecnologias e abordagens promissoras.

5 O Novo Papel do Tecnólogo em Radiologia Especialista em Radioterapia

- Adaptações necessárias para os profissionais de radioterapia diante da crescente integração da IA.
- Desafios e oportunidades para os tecnólogos em radioterapia neste contexto em evolução.

6 Conclusões

7 Referências

1. INTRODUÇÃO

1 Introdução à Inteligência Artificial (IA)

- Definição de IA e sua aplicação em diversos setores:

Você sabia que o termo “inteligência artificial” (IA) foi cunhado pela primeira vez em 1956 por **John McCarthy**, um dos pioneiros na área?



McCarthy definiu **IA** como “a ciência e tecnologia de desenvolvimento de máquinas inteligentes”. Desde então, a definição de inteligência artificial (IA) refere-se à **capacidade das máquinas de realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana**. Isso inclui habilidades como; aprendizado, raciocínio, resolução de problemas, reconhecimento de padrões e tomada de decisões.

Pois bem, a IA é uma tecnologia revolucionária que capacita as máquinas a realizar tarefas que anteriormente exigiriam intervenção humana.

Em sua essência, a IA permite que sistemas computacionais imitem o comportamento humano, realizando atividades de forma autônoma.

Sua aplicação abrange uma ampla gama de setores, destacando-se em áreas como **saúde, finanças, varejo, transporte e manufatura.**

Na **área da saúde**, a IA tem sido fundamental no auxílio ao diagnóstico médico, análise de imagens médicas, desenvolvimento de tratamentos personalizados e previsão de surtos de doenças.



No **setor financeiro**, ela é empregada na detecção de fraudes, análise de riscos, previsão de tendências de mercado e gestão de investimentos.

Já no varejo, a IA personaliza recomendações de produtos, otimiza preços, prevê demanda e melhora a experiência do cliente por meio de assistentes virtuais.



4



Além disso, a IA desempenha um papel crucial na indústria de **transporte**, com sistemas de navegação autônomos, gerenciamento de tráfego e manutenção preditiva de veículos.

Na manufatura, ela é empregada em processos de automação, controle de qualidade e otimização de cadeias de suprimentos. Note que, em todas essas áreas, a IA não apenas automatiza processos e otimiza operações, mas também, oferece uma percepção valiosa a partir de grandes volumes de dados.



A colaboração entre IA e seres humanos é fundamental complementando suas habilidades. **Juntos, humanos e IA resolvem problemas de forma mais eficiente** evidenciando o potencial transformador dessa tecnologia em diversos setores da sociedade.



5

- **Breve visão geral dos conceitos fundamentais de IA:**

Dentro da inteligência artificial, uma área emocionante é o **aprendizado da máquina**. Nessa seção, vamos explorar como os computadores podem aprender e melhorar com exemplos de dados, assim como ensinar truques a um animal de estimação.

Sabe quando você ensina seu animal de estimação a fazer truques?



Bem, no mundo da inteligência artificial (IA), existe algo chamado aprendizado de máquina, que é um pouco parecido. Imagine que você está ensinando seu cachorro a buscar um brinquedo. No início, você mostra o brinquedo para ele várias vezes e o incentiva a pegá-lo. Depois de um tempo, ele aprende a associar o brinquedo à ação de buscar.

6

O aprendizado de máquina funciona de forma semelhante, mas em vez de um cachorro, temos **algoritmos de computador** que são treinados com muitos exemplos de dados, como fotos de cachorros, e são **incentivados a identificar padrões**, como características que distinguem um cachorro de um gato.

Algoritmo

1 é uma sequência finita de ações executáveis que visam obter uma solução para um determinado tipo de problema.

Com o tempo, esses algoritmos se tornam melhores em reconhecer cachorros nas fotos, assim como seu cachorro aprendeu a buscar o brinquedo.

Eles podem até mesmo fazer previsões ou tomar decisões com base nessas informações, como identificar qual raça de cachorro está na foto. **Incrível, não é mesmo?**

Machine Learning (IA)



7



Hora de uma explicação mais formal!

Agora que você entendeu a ideia básica, uma explicação mais formal diria que esses modelos são treinados com conjuntos de dados que usam algoritmos de otimização que ajustam os parâmetros para minimizar o erro entre as previsões e os dados reais.

Se agora você está pensando no que é um algoritmo?



Bem, aqui vai a resposta: um algoritmo é basicamente um conjunto de instruções do tipo passo a passo que guia o computador em uma determinada tarefa.



Além disso, os sistemas de aprendizado de máquina podem ser implementados em várias plataformas, por exemplo bibliotecas de código aberto que são conjuntos de ferramentas gratuitas de softwares ou programas de computador para serem usadas por qualquer pessoa.

8



Elas são como caixas de ferramentas para programadores, fornecendo funcionalidades prontas para serem utilizadas em seus projetos. Essas bibliotecas são desenvolvidas por uma comunidade de programadores

Estão disponíveis para todos, o que facilita a criação de diferentes tipos de programas até frameworks que são um conjunto de ferramentas e bibliotecas que fornecem uma infraestrutura para desenvolver e implantar modelos de aprendizado de máquina de forma mais eficiente.



9

2 Utilização da IA na Radioterapia

- Como a IA está sendo integrada nos processos de tratamento em radioterapia?



A radioterapia é uma das principais armas na luta contra o câncer, está passando por uma revolução silenciosa com a ajuda da inteligência artificial (IA).

Mas o que exatamente a IA traz de tão especial para o mundo da radioterapia?
Vamos explorar juntos!

A integração da IA nos processos de tratamento em radioterapia está ocorrendo em diversas frentes para melhorar a precisão, eficiência e segurança dos procedimentos.

10

Aqui vão 6 exemplos de aplicações possíveis:

Exemplo 1 Planos de Tratamento Personalizados:

Imagine que cada paciente é único, como uma impressão digital.



A IA ajuda os médicos e físicos-médicos a criarem planos de radioterapia sob medida para cada pessoa analisando imagens detalhadas, como tomografias e ressonâncias magnéticas, para identificar onde está o tumor e quais partes do corpo precisam ser protegidas.



Assim, a dose de radiação é direcionada precisamente para o tumor, minimizando os danos aos tecidos saudáveis ao redor.



Um exemplo é a empresa Brainlab, em parceria com a Therapanacea, que tem integrado soluções baseadas em inteligência artificial (IA) para otimizar o contorno de órgãos em risco (OARs - Organs at Risk) e linfonodos. O uso de IA permite o delineamento rápido e confiável de mais de 200 estruturas, reduzindo as tarefas manuais e garantindo um contorno padronizado e consistente.

11

• Pesquisas apontam as vantagens dessas tecnologias:

Recentemente, Chan et al. (2022) reuniram dados de múltiplos centros para aplicar o sistema automatizado MC-PRIMA (Medical Care - Planning & Radiotherapy Intelligent Multi-modality Automation).

Este estudo, que incluiu 24 centros e 5 metástases, **apresentou melhorias na qualidade dos planos** e uma redução significativa na variabilidade.

Os planos gerados pelo método MBM (Multi-Baseline Method) tiveram pontuação equivalente ou superior aos sistemas de planejamento tradicionais (TPS - Treatment Planning Systems)

Chan (2023) realizou um estudo multicêntrico que demonstrou que o planejamento automatizado **ajuda a padronizar a qualidade dos planos** de SRS, tanto no Reino Unido quanto em instituições internacionais. **Isso mostra que a automação não só melhora a coerência dos resultados, mas também mantém ou eleva a qualidade do atendimento.**



12

Exemplo 2 - Ajustes em Tempo Real durante o Tratamento:

Às vezes, os tumores podem se mover um pouco, especialmente quando o paciente respira.

A IA entra em ação aqui também.

Durante o tratamento, ela monitora constantemente as imagens e faz ajustes instantâneos para garantir que a radiação atinja o alvo certo, mesmo que o tumor se mova um pouco.

Um exemplo disso, é a solução da empresa Visionrt que oferece uma ferramenta de rastreamento de movimentos com resposta instantânea.



<https://visionrt.com/applications-for-sgrt/sbrt/>

O sistema **AlignRT** da **Visionrt** pode ajudar a mitigar esses riscos com rastreamento do paciente em tempo real e pausa automática da radiação.

O movimento do tumor pode resultar em grandes volumes de alvo evitáveis e irradiação inaceitável do volume normal do tecido.

Exemplo 3 - Detecção de Problemas durante o Tratamento:

Como um assistente atento, a IA observa de perto o tratamento e verifica se tudo está correndo conforme o planejado. Ela analisa os dados em tempo real para detectar qualquer problema ou erro que possa surgir, garantindo que o paciente receba o tratamento necessário da maneira mais segura possível.

13

Exemplo 4 - Ajuda para os Médicos na Decisão do Tratamento:

Os médicos têm muito a considerar ao decidir o melhor plano de tratamento para cada paciente. A IA entra em cena mais uma vez, fornecendo informações extras e visões com base em dados clínicos e científicos como uma predição ou estimativa do resultado futuro.



Com base nos dados do paciente, como tipo de tumor, estágio da doença e características genéticas, ela pode prever como o tumor responderá ao tratamento de radioterapia.



Isso ajuda os médicos a personalizar ainda mais o plano de tratamento para aumentar as chances de sucesso.

Já a **Tempus** utiliza IA para analisar grandes conjuntos de dados genômicos e clínicos de pacientes com câncer. Essa abordagem permite a identificação de padrões específicos, possibilitando tratamentos mais personalizados e eficazes.



Fonte: <https://www.tempus.com/about-us/tempus-tech/>



Fonte: <https://www.philips.com.br>

A **Philips Healthcare**, com sua divisão de inovação em saúde, implementou soluções de monitoramento remoto que utilizam IA para analisar dados vitais, como pressão arterial e níveis de glicose. Essa abordagem permitiu um acompanhamento contínuo de pacientes com doenças crônicas, resultando em uma redução significativa de readmissões hospitalares e uma melhor gestão de condições de saúde a longo prazo.

14



Fonte: https://www.tempus.com/?srsltid=AfmBOooDaBy52eNeQuk55Vf1R86xWAFYRPLp1r5f2B8VkvURkweND_k

15

Exemplo 5 – Monitoramento Remoto do Paciente:

Às vezes, os pacientes podem experimentar efeitos colaterais inesperados durante o tratamento. A IA pode ajudar os médicos a monitorar remotamente os pacientes, analisando dados de sintomas relatados e imagens médicas. Isso permite uma intervenção precoce caso surjam problemas, garantindo que os pacientes recebam o suporte necessário.



O aplicativo **WeCancer** é uma ferramenta voltada para pacientes com câncer, que permite o monitoramento remoto de sua saúde. Ele registra dados pessoais, medicamentos, sintomas e atividades cotidianas, além de indicadores de saúde física e emocional.

A equipe médica pode acompanhar a evolução do tratamento através de gráficos.

O paciente recebe lembretes para tomar medicamentos, pode acessar conteúdos informativos sobre o câncer, registrar sintomas e atividades físicas, além de controlar sua agenda de consultas e exames. Também é possível tirar dúvidas com a equipe de saúde via chat em horário comercial.

Fonte: <https://wecancer.com.br>

Exemplo 6 – Aprimoramento da Educação e Treinamento:

A IA também desempenha um papel importante na educação e treinamento de profissionais de radioterapia. Ela fornece simulações realistas e casos de estudo interativos, permitindo que os estudantes e profissionais pratiquem técnicas e procedimentos em um ambiente seguro e controlado.

LINACVR: VR Simulation for Radiation Therapy Education

Haydn Bannister, Ben Selwyn-Smith, Amy L. Wilson, Daniel Medeiros, Rafael dos Anjos, Craig Anslow, and Brian Robinson
School of Engineering and Computer Science
Victoria University of Wellington, New Zealand
{craig.anslow,brian.robinson}@vuw.ac.nz

Aidan Leong and Paul Kane
Department of Radiation Therapy
University of Otago, Wellington, New Zealand
{aidan.leong,paul.kane}@otago.ac.nz



Figure 1: Educator in LINACVR (using HTC Vive). Controllers being used to view the gantry, and interacting to move the couch and position the patient model.

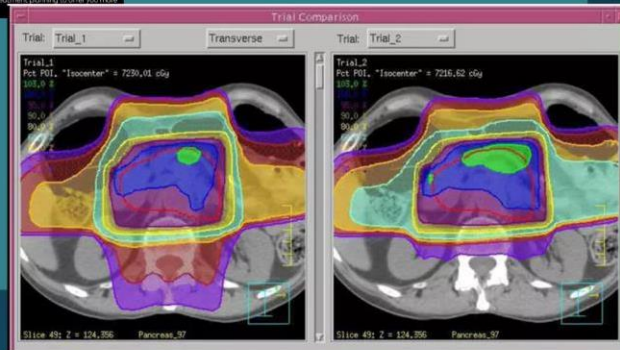
O estudo intitulado "LINACVR: VR Simulation for Radiation Therapy Education" explora a aplicação de simulações em realidade virtual (VR) na formação de profissionais de radioterapia, destacando como essa tecnologia pode enriquecer a educação ao permitir que os alunos pratiquem técnicas de tratamento em um ambiente seguro e controlado.

Os autores discutem o desenvolvimento de uma plataforma de simulação que replica o funcionamento de um acelerador linear (LINAC), oferecendo uma experiência de aprendizado imersiva que pode melhorar a compreensão dos procedimentos clínicos e aumentar a confiança dos estudantes.

Os resultados sugerem que a integração da VR no currículo de radioterapia pode contribuir significativamente para a formação de profissionais mais competentes e preparados para os desafios da prática clínica (Bannister et al., 2024).

Há também **softwares** que permitem a simulação de tratamentos de radioterapia, onde os usuários podem praticar a definição de campos de tratamento, calcular doses e avaliar planos de radioterapia.

Exemplos incluem o Eclipse da Varian e o Pinnacle3 da Philips.



Fonte: <https://www.varian.com/pt-br/products/radiotherapy/treatment-planning/eclipse>

Fonte: <https://www.philips.com.br/healthcare/product/HCNOC-TN135/pinnacle3-sistema-planejamento-radioterapia>

Exemplos de algoritmos e técnicas de IA utilizados na otimização de planos de tratamento na detecção de anomalias.



Você já parou para pensar como a inteligência artificial (IA) pode ajudar a garantir a segurança e eficácia dos tratamentos de radioterapia?

A seguir vamos explicar de uma maneira mais simples!

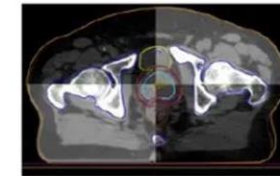
18

Aprendizado de Máquina Supervisionado: Imagine que você está tirando uma foto e, ao revelá-la, percebe que algo está errado. É como se a IA fosse um amigo que examina a foto com você e aponta qualquer coisa fora do lugar.

Checkerboard fusion of KV single
– spine treatment.



Checkerboard fusion of CBCT
and reference data – prostate
treatment.



Fonte: <https://www.abdosimetristas.com.br/igrt/>

No tratamento de radioterapia, a IA pode analisar imagens de verificação do tratamento e registros de doses de radiação para detectar qualquer problema, como o paciente não estar na posição correta ou erros na entrega da dose de radiação.

Geralmente a **imagem pré-tratamento** é adquirida e **comparada** com uma **imagem de referência** onde é feita a **análise da posição anatômica dos ossos e de partes moles**. Essa análise tem o intuito **quantificar qualquer variação** em milímetros da **posição dos órgãos** da imagem adquirida com a imagem de referência (que é a imagem do planejamento).

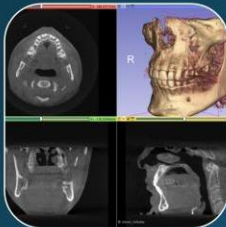
19

Redes Neurais Convolucionais (CNN):

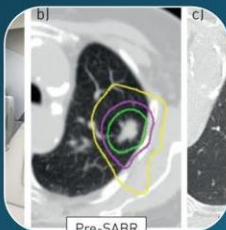
Agora, pense em um programa de reconhecimento de rostos em redes sociais



A IA é treinada para identificar rostos em fotos e marcá-los automaticamente



Da mesma forma, as CNNs são usadas na radioterapia para analisar imagens médicas, como tomografias ou ressonâncias magnéticas, e identificar qualquer anomalia ou mudança na anatomia do paciente durante o tratamento



Um exemplo prático disso seria durante a sessão de tratamento, se o paciente se mexer um pouco ou a máquina de tratamento encontrar alguma dificuldade, a IA pode detectar essas mudanças e alertar os profissionais de saúde para que possam tomar medidas corretivas imediatas, garantindo que o tratamento seja entregue com precisão e segurança

20

3 Perspectivas Futuras do Uso de IA na Radioterapia

- Tendências e previsões para o desenvolvimento futuro da IA na área de radioterapia:

Nos últimos anos, a inteligência artificial (IA) tem se destacado na área da saúde, e a radioterapia é uma das áreas contempladas nestes avanços.



Um artigo publicado por Chan et al. (2020) na revista *Frontiers in Artificial Intelligence* explora como a IA e o aprendizado de máquina (machine learning - ML) estão sendo integrados ao controle de qualidade (QA - sigla do inglês quality assurance) na radioterapia, além de suas possíveis aplicações futuras.



O QA em radioterapia é essencial para garantir que os equipamentos funcionem corretamente e que os tratamentos sejam administrados com precisão. Atualmente, esse processo muitas vezes requer verificações e instalações de acessórios manualmente, o que pode ser demorado.



Contudo, a IA está ajudando a automatizar e aprimorar o QA. Chan et al. (2020) destacam que o aprendizado de máquina pode prever taxas de aprovação de QA e analisar o desempenho de máquinas de radioterapia, como aceleradores lineares, ao longo do tempo. Um exemplo prático citado no artigo é o uso de IA para prever a simetria de feixes de radiação em aceleradores lineares, algo crucial para a precisão do tratamento.



Um modelo de aprendizado de máquina foi treinado para analisar dados de controle de qualidade diários de cinco anos e prever o desempenho do acelerador com uma precisão maior do que técnicas tradicionais (LI apud CHAN et al., 2020).

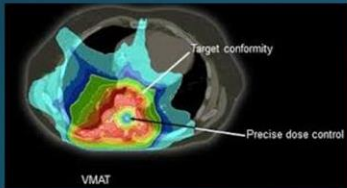
21



Com a automação via IA, técnicos e tecnólogos terão menos necessidade de realizar verificações manuais. A IA poderá prever quando uma máquina precisará de manutenção ou ajuste, garantindo que os tratamentos ocorram de forma mais segura e eficiente, minimizando erros e reduzindo o tempo de inatividade dos equipamentos.

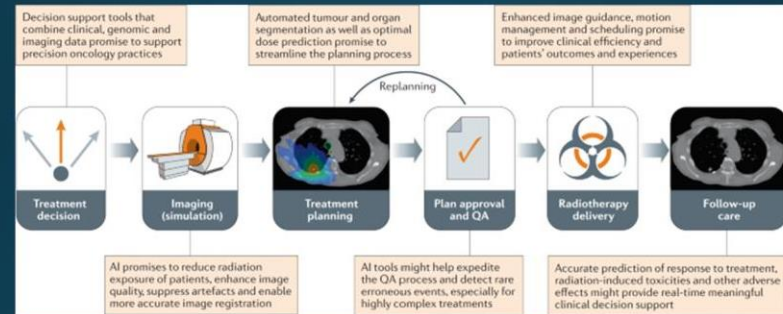
• **Potenciais impactos na prática clínica e nos resultados dos pacientes:**

Outro grande benefício da IA na radioterapia é a capacidade de prever resultados clínicos. Chan et al. (2020) citam que o aprendizado de máquina pode ser utilizado para prever a precisão dos tratamentos e as taxas de aprovação de QA com base em dados anteriores.



Por exemplo, em VMAT (Terapia de Arco Modulado Volumétrico), modelos de aprendizado de máquina foram treinados para prever discrepâncias no posicionamento das lâminas do colimador multilâmina (MLC) durante a aplicação do tratamento, ajudando a garantir que a dose de radiação seja administrada corretamente (OSMAN apud CHAN et al., 2020).

No futuro, sistemas de IA poderão prever a resposta de cada paciente à radioterapia com base em dados de tratamentos anteriores e características individuais.



<https://www.nature.com/articles/s41571-020-0417-8>

Isso permitirá que os profissionais de saúde ajustem os parâmetros do tratamento de forma mais personalizada, aumentando a precisão e diminuindo os efeitos colaterais.

4 Novas Pesquisas e Inovações em IA e Radioterapia

- Visão geral das pesquisas recentes e em andamento relacionadas à IA e radioterapia

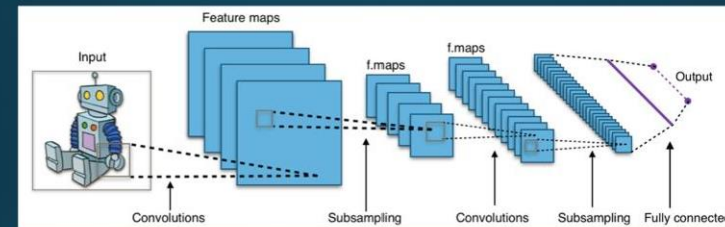


O planejamento de tratamentos de radioterapia é uma tarefa complexa, normalmente realizada por médicos, físicos-médicos e dosimetristas, que ajustam os parâmetros para garantir que a radiação atinja o tumor de forma precisa, enquanto protege os tecidos saudáveis.

A IA já está sendo usada para melhorar o planejamento de tratamento, e Chan et al. (2020) oferecem exemplos práticos dessa aplicação.

24

Um exemplo citado é o uso de redes neurais convolucionais (CNNs) para prever as taxas de aprovação de QA em tratamentos de IMRT (Radioterapia de Intensidade Modulada).



As CNNs analisam os mapas de fluência (distribuições de radiação planejadas) diretamente, sem a necessidade de intervenção humana para projetar as características do feixe. Esse modelo de IA foi comparado a um modelo de regressão de Poisson tradicional, mostrando que a CNN foi capaz de fazer previsões tão boas quanto os métodos anteriores, mas de forma muito mais rápida e eficiente (INTERIAN apud CHAN et al., 2020).

25

- **Destaques de novas tecnologias e abordagens promissoras:**

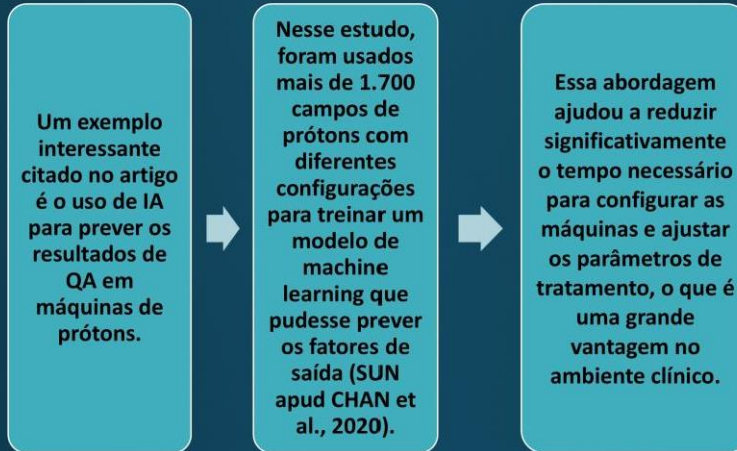
Chan et al. (2020) também destacam a necessidade de validação multiinstitucional dos modelos de IA.

Para garantir que um modelo funcione bem em várias clínicas e contextos, é importante testar suas previsões em diferentes tipos de máquinas e fluxos de trabalho.



Isso ajuda a **criar padrões de qualidade** que podem ser aplicados em diferentes locais.

26



27

5. O Novo Papel do Tecnólogo em Radiologia Especialista em Radioterapia

- Adaptações necessárias para os profissionais de radioterapia diante da crescente integração da IA.



Embora a IA possa auxiliar em algumas etapas do processo de radioterapia, como o planejamento e configuração dos tratamentos,



há aspectos do trabalho do técnico de radioterapia que exigem habilidades humanas e sensibilidade,



como a interação com os pacientes e a capacidade de resposta a situações imprevistas.

28

A integração da IA no setor pode complementar o trabalho desses profissionais, mas não substituir completamente sua presença e papel essencial no cuidado aos pacientes oncológicos tais como:

Preparação e Ajuste dos Equipamentos:

O tecnólogo de radioterapia é responsável por preparar e ajustar os equipamentos, carregar o plano de tratamento, posicionar acessórios para cada sessão de tratamento.

Embora a IA possa auxiliar na automatização de alguns processos, como a configuração inicial dos equipamentos, a supervisão e verificação contínua durante o tratamento requerem a presença e intervenção humana.



Posicionamento e Imobilização dos Pacientes:

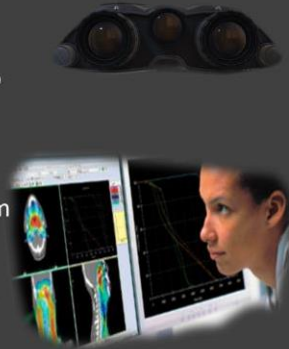
O tecnólogo de radioterapia também é responsável por posicionar e imobilizar os pacientes durante o tratamento, garantindo que eles estejam na posição correta e permaneçam imóveis durante a administração da radiação. Embora a IA possa ajudar na análise de imagens e no planejamento do posicionamento, a interação e comunicação com o paciente exigem habilidades humanas e sensibilidade.



29

Monitoramento e Resposta a Eventuais Problemas:

Durante o tratamento, o técnico de radioterapia monitora de perto o paciente e os equipamentos, respondendo a quaisquer problemas que possam surgir, como movimentos inesperados do paciente ou falhas nos equipamentos. Essa capacidade de avaliação e tomada de decisão em tempo real é difícil de ser replicada por uma IA.



Porém, o profissional **precisa estar atento** aos ventos destas mudanças e perceber que enquanto a IA assume tarefas antes realizadas por humanos, como a interpretação de imagens médicas e o planejamento de tratamentos, os tecnólogos em radioterapia enfrentam a necessidade de se adaptar e desenvolver novas habilidades para trabalhar em colaboração com sistemas de IA.

Isso exige um equilíbrio delicado entre a confiança na tecnologia e a manutenção do cuidado centrado no paciente.

Suporte e Orientação aos Pacientes:

Além das tarefas técnicas, o tecnólogo de radioterapia desempenha um papel crucial no suporte e orientação aos pacientes, oferecendo conforto emocional, esclarecendo dúvidas e fornecendo informações sobre o procedimento. A empatia e o cuidado humano são aspectos essenciais do atendimento ao paciente que não podem ser substituídos por uma IA.



Vamos falar sobre algumas coisas importantes que precisamos entender sobre isso:

Novos Trabalhos na Área da Saúde: Com a IA ajudando em muitas tarefas, como planejamento de tratamentos, os tecnólogos em radioterapia precisam aprender novas habilidades. É como se tivéssemos novas ferramentas no nosso kit de trabalho e precisamos aprender como usá-las da melhor forma para ajudar nossos pacientes.



32

Mudanças no Trabalho



Com a IA fazendo algumas tarefas automaticamente, alguns trabalhos podem mudar. Por exemplo, algumas pessoas podem não precisar mais fazer certas tarefas, mas surgirão novos procedimentos e trabalhos em áreas relacionadas à IA, como concerto e programação.



Em resumo, embora a IA possa auxiliar em algumas etapas do processo de radioterapia, como o planejamento e configuração dos tratamentos, há aspectos do trabalho do técnico de radioterapia que exigem habilidades humanas e sensibilidade, como a interação com os pacientes e a capacidade de resposta a situações imprevistas.



É como se fosse uma dança: alguns passos mudam, mas a música continua tocando. A integração da IA no setor pode complementar o trabalho desses profissionais, mas não substituir completamente sua presença e papel essencial no cuidado aos pacientes oncológicos.

33

6 Conclusões



Devemos ter medo da IA e automação?

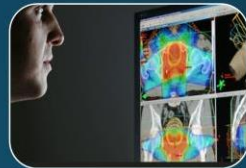
A resposta não é simplesmente "sim" ou "não". É importante abordar essa questão com uma perspectiva equilibrada e informada. Em primeiro lugar, é crucial entender que a IA e a automação não são destinadas a substituir completamente os profissionais de radioterapia, mas sim a complementar e aprimorar suas habilidades. **Aqui estão alguns pontos importantes a considerar:**



Melhoria na precisão e eficiência: A IA pode ajudar a reduzir erros humanos e aumentar a precisão dos tratamentos, o que beneficia diretamente os pacientes.



Novas oportunidades de carreira: A integração da IA cria novas áreas de especialização, como gerenciamento de sistemas de IA e interpretação de dados avançados.



Foco em tarefas de maior valor: Com a automação de tarefas repetitivas, os profissionais podem dedicar mais tempo a aspectos que requerem julgamento humano, empatia e cuidado personalizado.

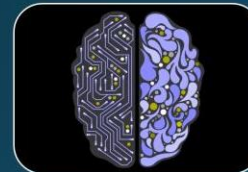


Aprendizado contínuo: A evolução tecnológica incentiva o aprendizado contínuo, mantendo os profissionais atualizados e relevantes.

34



Melhores resultados para os pacientes: A combinação de expertise humana com a precisão da IA pode levar a melhores resultados de tratamento e qualidade de vida para os pacientes. No entanto, é natural ter algumas preocupações:



Questões éticas e de responsabilidade: É importante estabelecer diretrizes claras sobre o uso da IA e quem é responsável por decisões e resultados.



Necessidade de adaptação: Os profissionais precisarão se adaptar e aprender novas habilidades, o que pode ser desafiador.



Dependência tecnológica: É crucial manter um equilíbrio entre o uso da tecnologia e a manutenção das habilidades humanas essenciais.

35

Em conclusão

Em vez de medo, é mais produtivo adotar uma atitude de curiosidade, adaptabilidade e aprendizado contínuo.

A IA e a automação são ferramentas poderosas que, quando usadas corretamente, podem melhorar significativamente a qualidade do atendimento ao paciente e a eficiência do trabalho em radioterapia.

O futuro da radioterapia **não é sobre máquinas substituindo humanos**, mas sobre uma **parceria eficaz entre profissionais qualificados e tecnologia avançada**.

Ao abraçar essas mudanças com uma mentalidade aberta e proativa, os profissionais de radioterapia podem se posicionar na vanguarda de uma nova era de cuidados oncológicos, oferecendo tratamentos mais precisos, personalizados e eficazes para seus pacientes.



7. REFERÊNCIAS

Aarts S, Cornelis F, Zevenboom Y, Brokken P, van de Griend N, Spoorenberg M, et al. The opinions of radiographers, nuclear medicine technologists and radiation therapists regarding technology in health care: a qualitative study. *J Med Radiat Sci.* 2017;64(1):3-9.

Agresti A. An introduction to categorical data analysis. 2nd ed. Gainesville (FL): Department of Statistics, University of Florida; 1996.

American Cancer Society. Radiation therapy for cancer [Internet]. Available from: <https://www.cancer.org/cancer/managing-cancer/treatment-types/radiation/basics.html>. Accessed: November 27th, 2023.

Batumalai V, Jameson MG, King O, Walker R, Slater C, Dundas K, et al. Cautiously optimistic: a survey of radiation oncology professionals' perceptions of automation in radiotherapy planning. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol.* 2020;16:58-64.

Casseta Júnior FR, Teixeira FO. Artificial intelligence technology for radiation oncology understaff mitigation and cost-effective treatment planning. *Rev Fac Ciên Med Sorocaba.* 2022;24(1/4):161-7.

Chan MF, Witztum A, Valdes G. Integração de IA e aprendizado de máquina em controle de qualidade de radioterapia. *Front Artif Intell.* 2020;577620.

Chan MKH, Gevaert T, Kadoya N, Dorr J, Leung R, Alheet S, et al. Multi-center planning study of radiosurgery for intracranial metastases through Automation (MC-PRIMA) by crowdsourcing prior web-based plan challenge study. *Phys Med.* 2022 Mar;95:73-82. doi: 10.1016/j.ejmp.2022.01.011.

Chan MKH. A sub-analysis of multi-center planning radiosurgery for intracranial metastases through automation (MC-PRIMA) comparing UK and international centers. *Med Eng Phys.* 2023 Jul;117:103996. doi: 10.1016/j.medengphy.2023.103996.

Claessens M, Oria CS, Brouwer CL, Ziemer BP, Scholey JE, Lin H, et al. Quality assurance for AI-based applications in radiation therapy. *Semin Radiat Oncol*. 2022;32(4):421-31.

Collins Dictionary. IA [Internet]. Available from: <https://www.collinsdictionary.com/woty>. Accessed: November 26th, 2023.

de Araújo LP, de Sá NM, Atty AT de M. Necessidades atuais de radioterapia no SUS e estimativas para o ano de 2030. *Rev Bras Cancerol* [Internet]. 2016;62(1):35-42. Available from: <https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/177>. Portuguese.

Eaton DJ, Lee J, Paddick I. Stereotactic radiosurgery for multiple brain metastases: Results of multicenter benchmark planning studies. *Pract Radiat Oncol*. 2018 Jul-Aug;8(4):e212-e220. doi: 10.1016/j.prro.2017.12.011.

Emiliozzi CZdS. Aplicação de aprendizado de máquina para melhoria do fluxo de tratamento de radioterapia [dissertation]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares; 2023. doi: 10.11606/D.85.2023.tde-12072023-120018. Portuguese.

Hansen CR, Bertelsen A, Hazell I, Zukauskaitė R, Gyldenkerne N, Johansen J, et al. Automatic treatment planning improves the clinical quality of head and neck cancer treatment plans. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2016;1:2-8.

Holdsworth C, Kukluk J, Molodowitch C, Czerminska M, Hancox C, Cormack RA, et al. Computerized system for safety verification of external beam radiation therapy planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2017;98(3):691-8.

Jarrett D, Stride E, Vallis K, Gooding MJ. Applications and limitations of machine learning in radiation oncology. *Br J Cancer*. 2019;92(20190001).

Kusters J, Bzdusek K, Kumar P, van Kollenburg PM, Kunze-Busch M, Wendling M, et al. Automated IMRT planning in Pinnacle. *Strahlenther Onkol*. 2017;193(12):1031-8.

Mair FS, May C, O'Donnell C, Finch T, Sullivan F, Murray E. Factors that promote or inhibit the implementation of e-health systems: an explanatory systematic review. *Bull World Health Organ*. 2012;90:357-64.

McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Mag*. 2006;27(4):12.

Ryan ML, O'Donovan T, McNulty JP. Artificial intelligence: the opinions of radiographers and radiation therapists in Ireland. *Radiography* [Internet]. 2021. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.radi.2021.07.022>.

Santoro M, Strolin S, Paolani G, Della Gala G, Bartoloni A, Giacometti C, et al. Recent applications of artificial intelligence in radiotherapy: where we are and beyond. *Appl Sci*. 2022;12(7):3223.

Siqueira-Batista R, Silva E. Notas sobre os fundamentos matemáticos da inteligência artificial. *Rev Ciência, Tecnologia e Inovação*. 2019;4(6):44-54. Portuguese.

Turing AM. Computing machinery and intelligence. *Mind* [Internet]. 1950;LIX(236):433-60. Available from: <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. *Revista O Correio da UNESCO* [Internet]. 2018;3:3. Available from: <https://unesdoc.unesco.org> Accessed: November 26th, 2023. Portuguese.

World Health Organization. *mHealth: new horizons for health through mobile technologies: second global survey on eHealth*. Geneva: World Health Organization; 2011.

Zhai H, Yang X, Xue J, Lavender C, Ye T, Li JB, Xu L, et al. Radiation oncologists' perceptions of adopting an artificial intelligence-assisted contouring technology: model development and questionnaire study. *J Med Internet Res*. 2021;23(9).

5.4O site

A seguir o site de divulgação é mostrado. Ele está disponível em <https://670816b61e8c5.site123.me/>.

Automação e IA na Radioterapia

[Início](#)
[Sobre Nós](#)
[IA Na Radioterapia](#)
[IA Na Radioterapia](#)
[Mais ▾](#)



Cartilha para técnicos e tecnólogos sobre o uso de automação e inteligência artificial em processos de teleterapia

Sobre Nós

Carlos Eduardo da Cunha
É tecnólogo em radiologia (FASM) especialista em radioterapia (EEP HCFMUSP) atua na área e é aluno do Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde (IPEN).

Carla Daruich de Souza
É Física Médica (UNESP), doutora em tecnologia nuclear (IPEN) e orientadora do Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde (IPEN).



IA na Radioterapia

A Inteligência Artificial (IA) está transformando significativamente o campo da radioterapia, trazendo avanços em diversas áreas:

1. **Segmentação de Imagens:** A IA auxilia na análise precisa de imagens médicas, facilitando a identificação de órgãos e estruturas anatômicas para um planejamento de tratamento mais eficaz.
2. **Otimização do Plano de Tratamento:** Algoritmos de IA ajudam a criar planos de tratamento personalizados, buscando a máxima eficácia com mínima toxicidade para tecidos saudáveis.
3. **Predição de Resultados:** A IA analisa dados clínicos e radiológicos para prever possíveis resultados do tratamento, auxiliando na tomada de decisões clínicas.
4. **Automação de Tarefas:** Processos rotineiros são automatizados, permitindo que os profissionais foquem em aspectos mais complexos do cuidado ao paciente.
5. **Monitoramento Remoto:** A IA facilita o acompanhamento de pacientes à distância, analisando dados de sintomas e imagens médicas para intervenções precoces quando necessário.
6. **Educação e Treinamento:** Simulações e casos de estudo interativos baseados em IA melhoram a formação de profissionais da área.

Desafios

Desafios e Considerações:

- **Compreensão e Aceitação:** Existe a necessidade de familiarizar os profissionais com as novas tecnologias.
- **Questões Éticas e Legais:** Privacidade de dados e responsabilidade na tomada de decisões são preocupações importantes.
- **Acesso Desigual:** Países em desenvolvimento podem enfrentar dificuldades na adoção dessas tecnologias.
- **Mudanças no Trabalho:** A introdução da IA pode alterar funções profissionais, criando novas oportunidades e desafios.

Importância do Fator Humano: Apesar dos avanços tecnológicos, o papel dos profissionais de radioterapia continua sendo crucial. Aspectos como interação com pacientes, ajustes

METODOLOGIA



Pesquisa De Opinião

- Público-alvo: Profissionais que atuam na radioterapia, especificamente técnicos e tecnólogos - Ferramenta utilizada: Google Forms - Divulgação: Redes sociais (Facebook, Instagram, LinkedIn, WhatsApp) e apoio do Conselho Regional dos Técnicos em Radiologia de São Paulo 5ª Região (CRTR-SP 5ª Região)

Instruções

Instruções aos participantes: - Não pesquisar previamente as respostas na internet - Responder apenas uma vez - Não responder se não atuar na radioterapia - Garantia de anonimato das respostas Conformidade ética: O questionário está de acordo com a Resolução nº 510 de 2016 da CNS, que dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em ciências humanas e sociais.



Análise dos dados

Inclui análise estatística, como o teste Qui Quadrado para avaliar associações entre variáveis (por exemplo, idade e interesse em aprender sobre automação e IA).

RESULTADOS DA PESQUISA

Insights

Os resultados da pesquisa sobre a percepção dos técnicos e tecnólogos em radioterapia em relação à automação e inteligência artificial (IA) revelaram insights importantes sobre as atitudes desses profissionais em relação às novas tecnologias em seu campo de atuação.

Aprender mais

Um achado significativo foi a relação entre o nível de experiência e o desejo de aprender mais sobre automação e IA. O teste Qui Quadrado mostrou uma associação estatisticamente significativa ($p = 0,000$) entre profissionais com experiência intermediária (6 a 10 anos) e o interesse em acessar uma cartilha digital em um website para aprender mais sobre o assunto. Isso sugere que esses profissionais reconhecem a importância de se manterem atualizados com as novas tecnologias.

Idade

Curiosamente, a idade não se mostrou um fator determinante no interesse em aprender sobre automação e IA ($p = 0,013$). Isso indica que outros fatores, além da idade, podem influenciar o interesse dos profissionais nessas tecnologias emergentes.

Segurança

Em relação à segurança do paciente, o estudo revelou uma associação significativa ($p = 0,001$) entre o conhecimento sobre a definição de IA e o medo percebido em relação aos riscos à segurança do paciente. Profissionais com um entendimento mais completo da IA tenderam a expressar maior medo em relação aos possíveis riscos envolvidos.

Confiança

Contrariamente às expectativas iniciais, não foi encontrada uma relação significativa entre a idade dos profissionais e a confiança em processos automatizados geridos por IA ($p = 0,190$). A maioria dos respondentes, independentemente da faixa etária, expressou confiança parcial nesses processos.

Experiência

Similarmente, o tempo de experiência no setor de radioterapia não mostrou relação significativa com a confiança nos processos automatizados ($p = 0,983$). Isso sugere que a confiança nessas tecnologias não está diretamente ligada à experiência profissional.

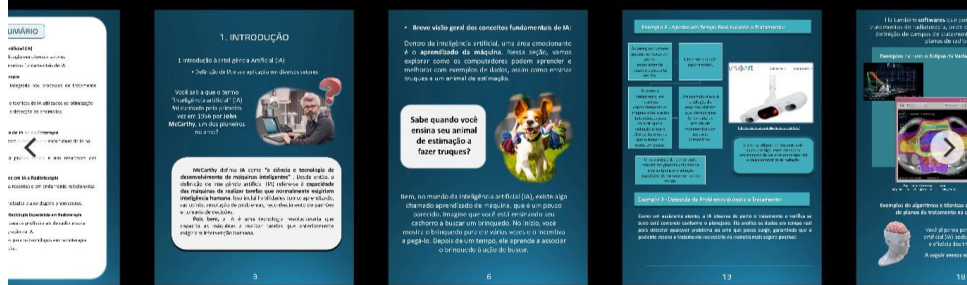
Risco

Por fim, a pesquisa não encontrou uma associação significativa entre a idade dos profissionais e sua percepção de risco em relação à segurança do paciente no contexto de automação e IA ($p = 0,260$). Isso indica que, independentemente da idade, os profissionais têm uma compreensão similar dos riscos envolvidos.

Importância

Estes resultados destacam a importância de programas de educação e treinamento abrangentes que abordem a segurança do paciente e as aplicações de automação e IA na radioterapia, independentemente da idade ou experiência dos profissionais. Além disso, sugerem que a aceitação e integração dessas tecnologias podem depender mais da educação e exposição às mesmas do que de fatores demográficos.

EXEMPLOS DA CARTILHA



GERENCIADOR DE ARQUIVOS

Dissertação

Faça o download da dissertação completa

DOWNLOAD

Cartilha

Faça o download da cartilha.

DOWNLOAD

Perspectivas Futuras

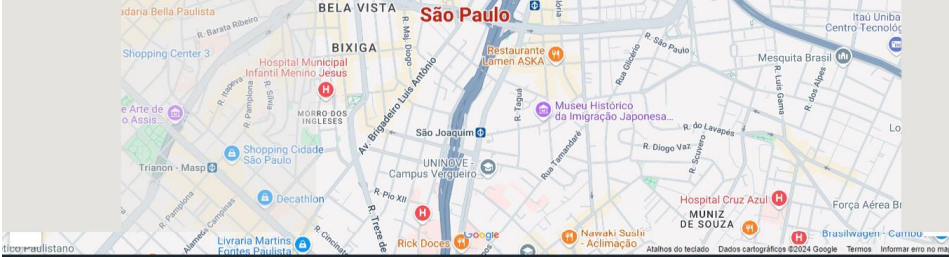
Espera-se que a IA continue evoluindo, permitindo tratamentos ainda mais personalizados e eficazes. No entanto, a integração bem-sucedida da IA na radioterapia dependerá de um equilíbrio cuidadoso entre o aproveitamento das capacidades tecnológicas e a manutenção do cuidado centrado no paciente.

CONTATO

São Paulo, SP, Brasil
 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN Comissão
 Nacional de Energia Nuclear - CNEN/SP Avenida Lineu Prestes,
 2242, São Paulo, SP, Brasil

✉ cecdacunha@gmail.com
 ☎ Mon-Fri - 08:00-19:00

FALE CONOSCO



Automação e IA na Radioterapia

Direitos autorais © 2024 Todos os direitos reservados
 Desenvolvido Por SITE123 - Criar Site Grátis

INÍCIO [SOBRE NÓS](#) [IA NA RADIOTERAPIA](#) [IA NA RADIOTERAPIA](#) [MAIS ▾](#)

ESTE SITE FOI CRIADO USANDO [SITE123](#) [CRIE SEU SITE AGORA >>](#) [REPORT ABUSE](#)

5.5 Discussão

A pesquisa realizada com 171 profissionais da área de radioterapia revelou resultados complexos de interação entre confiança, conhecimento e percepção de risco em relação à implementação de tecnologias de IA na prática clínica da radioterapia.

Um dos achados mais notáveis é que a maioria dos participantes (61,4%) afirmou confiar parcialmente em processos automatizados geridos por IA em sua rotina de trabalho. Isso sugere uma atitude cautelosamente otimista em relação à tecnologia, indicando que os profissionais reconhecem o potencial da IA, mas ainda mantêm algumas reservas. Essa confiança parcial pode ser interpretada como um sinal positivo para a futura integração de sistemas de IA na radioterapia, desde que sejam implementados de forma gradual e com as devidas salvaguardas. Entretanto, é importante notar que 14,6% dos respondentes afirmaram que não confiariam em processos automatizados geridos por IA. Esse percentual não é insignificante e aponta para a necessidade de abordar as preocupações e dúvidas

desses profissionais. A resistência pode estar relacionada a diversos fatores, como falta de familiaridade com a tecnologia, preocupações com a segurança do paciente ou receio de perda de autonomia profissional.

A análise revelou uma associação significativa entre o conhecimento sobre IA e a percepção de risco à própria segurança ($p = 0,035$). Curiosamente, os profissionais que afirmaram conhecer completamente a definição de IA foram mais propensos a acreditar totalmente que processos automatizados poderiam colocar em risco sua segurança. Isso sugere que um conhecimento mais profundo da tecnologia pode, na verdade, aumentar a consciência sobre seus potenciais riscos, em vez de diminuir as preocupações. Este resultado contrasta com a noção comum de que maior conhecimento leva a maior aceitação. Pode indicar que os profissionais mais informados são mais capazes de identificar potenciais problemas ou limitações dos sistemas de IA, levando a uma abordagem mais cautelosa. Isso ressalta a importância de uma educação abrangente sobre IA que não apenas foque nos benefícios, mas também aborde de forma transparente os desafios e limitações da tecnologia.

Não houve associação significativa entre a idade dos respondentes e sua confiança em processos automatizados ($p = 0,190$). Isso contraria a noção comum de que profissionais mais jovens seriam mais receptivos a novas tecnologias. O resultado indica que a aceitação da IA na radioterapia transcende as barreiras geracionais, o que pode facilitar sua implementação em equipes diversas. Da mesma forma, a experiência profissional não mostrou uma relação significativa com a confiança em processos automatizados. Isso sugere que a atitude em relação à IA não é necessariamente moldada pelos anos de prática, mas possivelmente por outros fatores como exposição à tecnologia, treinamento específico ou experiências pessoais com sistemas automatizados.

A pesquisa identificou uma associação significativa entre a confiança em processos automatizados e a percepção de risco, tanto para a segurança do próprio profissional quanto para a segurança do paciente ($p = 0,000$ em ambos os casos). Aqueles que demonstraram maior confiança nos processos automatizados tenderam a perceber menos riscos associados à tecnologia. Esta relação inversa

entre confiança e percepção de risco é um achado crucial. Sugere que aumentar a confiança dos profissionais nos sistemas de IA pode ser uma estratégia eficaz para reduzir a resistência à sua implementação. No entanto, é importante garantir que essa confiança seja baseada em uma compreensão realista das capacidades e limitações da tecnologia, e não em uma aceitação acrítica.

Considerando esses resultados, é evidente que a implementação bem-sucedida de IA na radioterapia requer uma abordagem multifacetada:

É crucial investir em programas de educação e treinamento que não apenas ensinem as habilidades técnicas necessárias para operar sistemas de IA, mas também abordem as preocupações éticas e de segurança. Estes programas devem ser abrangentes, cobrindo tanto os benefícios quanto os potenciais riscos da tecnologia.

A introdução de sistemas de IA deve ser feita de forma gradual, permitindo que os profissionais se familiarizem com a tecnologia e vejam seus benefícios na prática. A transparência no funcionamento dos algoritmos e na tomada de decisões automatizadas é essencial para construir confiança.

A colaboração entre desenvolvedores de IA, profissionais de radioterapia e especialistas em ética será fundamental para criar sistemas que sejam não apenas eficientes, mas também confiáveis e alinhados com os valores e necessidades da prática clínica.

É importante enfatizar que a IA deve ser vista como uma ferramenta para melhorar o cuidado ao paciente, e não como um substituto para o julgamento clínico humano. Isso pode ajudar a aliviar preocupações sobre a perda de autonomia profissional.

Desenvolver e implementar protocolos robustos de gestão de riscos e controle de qualidade para sistemas de IA em radioterapia. Isso pode ajudar a mitigar preocupações sobre segurança e eficácia.

Oferecer suporte técnico e clínico contínuo aos profissionais que trabalham com sistemas de IA, garantindo que eles se sintam apoiados e confiantes no uso da tecnologia.

Continuar investigando a eficácia e segurança dos sistemas de IA em radioterapia, bem como seu impacto na prática clínica e nos resultados dos pacientes. Isso fornecerá evidências sólidas para informar futuras implementações e políticas.

A integração da IA na radioterapia representa uma oportunidade significativa para melhorar a eficiência e a precisão dos tratamentos. No entanto, o sucesso dessa integração dependerá em grande parte da aceitação e confiança dos profissionais da área. Os resultados desta pesquisa fornecem dados sobre os fatores que influenciam essa aceitação e confiança. É importante reconhecer que a implementação de IA na radioterapia não é apenas uma questão técnica, mas também uma questão de mudança cultural e organizacional. As instituições de saúde precisarão adotar uma abordagem holística que considere não apenas os aspectos tecnológicos, mas também os fatores humanos e organizacionais. Além disso, é crucial manter um diálogo aberto e contínuo com os profissionais de radioterapia à medida que a tecnologia de IA evolui. Suas experiências e *feedback* serão inestimáveis para refinar e melhorar os sistemas de IA, garantindo que eles atendam às necessidades reais da prática clínica.

Embora existam desafios a serem superados, a atitude geralmente positiva dos profissionais de radioterapia em relação à IA sugere um terreno fértil para a inovação. O caminho a seguir deve ser pautado por um equilíbrio cuidadoso entre o avanço tecnológico e a manutenção dos mais altos padrões de segurança e cuidado ao paciente. Com a abordagem correta, a IA tem o potencial de transformar positivamente a prática da radioterapia, beneficiando tanto os profissionais quanto os pacientes.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho utilizou uma abordagem mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos com o objetivo de avaliar a percepção de técnicos e tecnólogos sobre automação e IA na Radioterapia. A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário online elaborado no Google Forms, intitulado "Questionário sobre a percepção e opinião dos técnicos e tecnólogos que atuam em serviços de radioterapia sobre automação e inteligência artificial em processos de teleterapia". O questionário foi direcionado a profissionais que atuam na área de radioterapia, incluindo técnicos e tecnólogos. A análise dos dados envolveu estatísticas descritivas, com frequências absolutas (n) e relativas (%) para variáveis qualitativas. O teste de Qui-Quadrado foi aplicado para avaliar associações entre variáveis, com o pós-teste de Bonferroni utilizado quando necessário. Em casos específicos, o teste exato de Fisher foi empregado para matrizes quadradas com amostras pequenas.

Os resultados revelaram uma percepção complexa dos profissionais de radioterapia em relação à automação e IA. Destacou-se que 61,4% dos participantes confiam parcialmente em processos automatizados geridos por IA, indicando uma atitude cautelosamente otimista. Observou-se uma associação significativa entre o conhecimento sobre IA e a percepção de risco à própria segurança ($p = 0,035$). Não foi confirmada a hipótese inicial de que profissionais mais jovens demonstrariam maior interesse em aprender sobre automação e IA. Entretanto, houve uma relação significativa ($p = 0,000$) entre o desejo de aprender mais através de uma cartilha digital e o nível de experiência intermediária (6 a 10 anos) dos participantes. Os resultados também apontaram para a necessidade de educação continuada e desenvolvimento profissional na área.

Este trabalho explorou o impacto da inteligência artificial (IA) e da automação na radioterapia, revelando um cenário complexo e promissor. A pesquisa demonstrou que os profissionais da área reconhecem os benefícios potenciais dessas tecnologias, como o aumento da precisão nos tratamentos e a otimização dos fluxos de trabalho. No entanto, também evidenciou desafios significativos, principalmente relacionados à formação profissional e à integração dessas inovações na prática clínica diária.

A cartilha criada sobre o tema apresentou os tópicos de maneira didática com

exemplos do cotidiano da radioterapia. Os avanços na aplicação da IA em áreas críticas como o controle de qualidade (QA) e o planejamento de tratamentos demonstram o potencial transformador dessa tecnologia. A capacidade de prever taxas de aprovação de QA, analisar o desempenho de equipamentos ao longo do tempo e otimizar planos de tratamento representa um salto qualitativo na prática da radioterapia. Exemplos como o uso de redes neurais convolucionais para prever taxas de aprovação de QA em tratamentos de IMRT ilustram como a IA pode não apenas igualar, mas superar métodos tradicionais em eficiência e rapidez.

O trabalho também destacou a importância crucial da educação continuada e do desenvolvimento profissional. A criação de recursos educativos acessíveis, como a cartilha proposta, pode desempenhar um papel fundamental na capacitação dos profissionais, ajudando-os a se sentirem mais confiantes e competentes no uso dessas novas tecnologias.

O futuro aponta para um horizonte onde a IA poderá personalizar ainda mais os tratamentos, prevendo respostas individuais dos pacientes e ajustando parâmetros de forma mais precisa. Isso não apenas aumentará a eficácia dos tratamentos, mas também minimizará os efeitos colaterais, melhorando significativamente a qualidade de vida dos pacientes.

A integração da IA e da automação na radioterapia é não apenas inevitável, mas altamente desejável para o avanço da área. No entanto, esse processo deve ser conduzido com cuidado, respeitando as preocupações dos profissionais e garantindo que a tecnologia seja uma ferramenta para aprimorar, e não substituir, o julgamento clínico humano. O futuro da radioterapia reside na sinergia entre a expertise humana e a capacidade analítica da IA, prometendo tratamentos mais precisos, seguros e personalizados para os pacientes.

Como trabalhos futuros, recomenda-se:

1. Desenvolver programas de treinamento abrangentes e contínuos para profissionais de radioterapia, focados em IA e automação;
2. Implementar uma abordagem centrada no paciente, enfatizando que a IA é uma ferramenta para melhorar o cuidado, não um substituto para o julgamento clínico humano;
3. Estabelecer protocolos robustos de gestão de riscos e controle de qualidade para sistemas de IA em radioterapia;

4. Oferecer suporte técnico e clínico contínuo aos profissionais que trabalham com sistemas de IA;
5. Conduzir pesquisas adicionais sobre a eficácia e segurança a longo prazo dos sistemas de IA em radioterapia;
6. Promover a colaboração interdisciplinar entre profissionais de radioterapia, cientistas de dados e especialistas em ética para abordar desafios complexos;
7. Desenvolvimento de programas de treinamento e reciclagem que envolvam as empresas desenvolvedoras de softwares e soluções para radioterapia.

Estas medidas ajudarão a garantir que a integração da IA na radioterapia seja realizada de maneira ética, eficaz e benéfica para pacientes e profissionais de saúde.

REFERENCIAS

1. Aarts S, Cornelis F, Zevenboom Y, Brokken P, van de Griend N, Spoorenberg M, et al. The opinions of radiographers, nuclear medicine technologists and radiation therapists regarding technology in health care: a qualitative study. *J Med Radiat Sci.* 2017;64(1):3-9.
2. World Health Organization. *mHealth: new horizons for health through mobile technologies: second global survey on eHealth.* Geneva: World Health Organization; 2011.
3. Batumalai V, Jameson MG, King O, Walker R, Slater C, Dundas K, et al. Cautiously optimistic: a survey of radiation oncology professionals' perceptions of automation in radiotherapy planning. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol.* 2020;16:58-64.
4. Jarrett D, Stride E, Vallis K, Gooding MJ. Applications and limitations of machine learning in radiation oncology. *Br J Cancer.* 2019;92(20190001).
5. Kusters J, Bzdusek K, Kumar P, van Kollenburg PM, Kunze-Busch M, Wendling M, et al. Automated IMRT planning in Pinnacle. *Strahlenther Onkol.* 2017;193(12):1031-8.
6. Holdsworth C, Kukluk J, Molodowitch C, Czermanska M, Hancox C, Cormack RA, et al. Computerized system for safety verification of external beam radiation therapy planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2017;98(3):691-8.
7. Hansen CR, Bertelsen A, Hazell I, Zukauskaitė R, Gyldenkerne N, Johansen J, et al. Automatic treatment planning improves the clinical quality of head and neck cancer treatment plans. *Clin Transl Radiat Oncol.* 2016;1:2-8.
8. Araújo LP, de Sá NM, Atty AT de M. Necessidades atuais de radioterapia no SUS e estimativas para o ano de 2030. *Rev Bras Cancerol [Internet].* 2016;62(1):35-42. Available from: <https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/177>. portuguese.
9. Mair FS, May C, O'Donnell C, Finch T, Sullivan F, Murray E. Factors that promote or inhibit the implementation of e-health systems: an explanatory systematic review. *Bull World Health Organ.* 2012;90:357-64.
10. Turing AM. Computing machinery and intelligence. *Mind [Internet].* 1950;LIX(236):433-60. Available from: <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.
11. Collins Dictionary. IA [Internet]. Available from: <https://www.collinsdictionary.com/woty>. Accessed: November 26th, 2023.
12. McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Mag.* 2006;27(4):12.

13. Siqueira-Batista R, Silva E. Notas sobre os fundamentos matemáticos da inteligência artificial. *Rev Ciência, Tecnologia e Inovação*. 2019;4(6):44-54. Portuguese.
14. UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. *Revista O Correio da UNESCO* [Internet]. 2018;3:3. Available from: <https://unesdoc.unesco.org>. Accessed: November 26th, 2023. Portuguese.
15. American Cancer Society. Radiation therapy for cancer [Internet]. Available from: <https://www.cancer.org/cancer/managing-cancer/treatment-types/radiation/basics.html>. Accessed: November 27th, 2023.
16. Emiliozzi CZdS. Aplicação de aprendizado de máquina para melhoria do fluxo de tratamento de radioterapia [dissertation]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares; 2023. doi: 10.11606/D.85.2023.tde-12072023-120018. Portuguese.
17. Claessens M, Oria CS, Brouwer CL, Ziemer BP, Scholey JE, Lin H, et al. Quality assurance for AI-based applications in radiation therapy. *Semin Radiat Oncol*. 2022;32(4):421-31.
18. Zhai H, Yang X, Xue J, Lavender C, Ye T, Li JB, Xu L, et al. Radiation oncologists' perceptions of adopting an artificial intelligence-assisted contouring technology: model development and questionnaire study. *J Med Internet Res*. 2021;23(9).
19. Cassetta Júnior FR, Teixeira FO. Artificial intelligence technology for radiation oncology understaff mitigation and cost-effective treatment planning. *Rev Fac Ciên Med Sorocaba*. 2022;24(1/4):161-7.
20. Santoro M, Strolin S, Paolani G, Della Gala G, Bartoloni A, Giacometti C, et al. Recent applications of artificial intelligence in radiotherapy: where we are and beyond. *Appl Sci*. 2022;12(7):3223.
21. Ryan ML, O'Donovan T, McNulty JP. Artificial intelligence: the opinions of radiographers and radiation therapists in Ireland. *Radiography* [Internet]. 2021. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.radi.2021.07.022>.
22. Agresti A. An introduction to categorical data analysis. 2nd ed. Gainesville (FL): Department of Statistics, University of Florida; 1996.
23. Chan MF, Witztum A, Valdes G. Integração de IA e aprendizado de máquina em controle de qualidade de radioterapia. *Front Artif Intell*. 2020;577620. Portuguese.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone (11) 2810-1570 ou (11) 2810-1572
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://mprofissional.ipen.br>

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) do Governo Federal.