

Inteligência Artificial em Radioterapia

Para Técnicos e Tecnólogos em Radiologia, Biomédicos, e Enfermeiros



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

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 apostila foi criada para informar sobre o fascinante uso da inteligência artificial em radioterapia. Com um foco especial em Biomédicos, Enfermeiros e 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!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

- O que é radioterapia?
- Principais modalidades de tratamento.
- Simulação e planejamento na radioterapia.
- Dispositivos de apoio e contenção em geral usados na radioterapia.
- Acelerador Linear (A.L.).
- A importância da equipe multidisciplinar na radioterapia.
- O papel dos profissionais em radioterapia.

2 Inteligência Artificial (IA)

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

3 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

4 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.

5 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.

6 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.

7 Conclusões

Referências

1 Introdução

O que é Radioterapia?



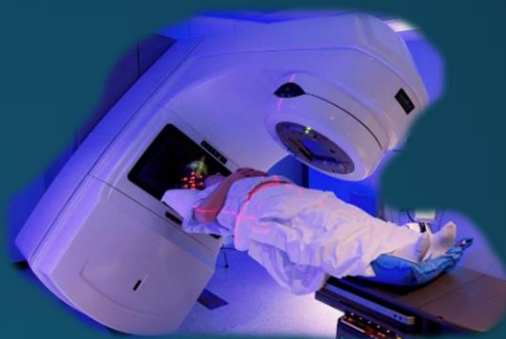
A **Radioterapia** é uma modalidade terapêutica que utiliza radiações ionizantes para tratar tumores malignos e algumas condições benignas. Essas radiações possuem energia suficiente para interagir com as células, causando danos ao DNA e impedindo sua multiplicação descontrolada. O objetivo principal da radioterapia é eliminar ou reduzir o crescimento das células tumorais, preservando ao máximo os tecidos saudáveis ao redor.

DIVISÃO DA RADIOTERAPIA:

A radioterapia é dividida ou classificada em duas modalidades principais:

•**Teleterapia (Radioterapia Externa):** A forma mais comum, onde a radiação é gerada por um equipamento externo a uma certa distância do paciente. Utiliza feixes de **raios X** ou **elétrons** emitidos por Aceleradores Lineares (A.L.), ou ainda, **raios gama** através de aparelhos que usam fontes de Cobalto-60 (Telecobaltoterapia).

•**Braquiterapia (Radioterapia Interna):** Pequenas fontes radioativas são colocadas dentro ou próximas ao tumor, emitindo radiação diretamente na área a ser tratada.



Acelerador Linear
(teleterapia)



Aparelho pós-carregador
(braquiterapia)

Principais Modalidades de Tratamentos

Radioterapia Convencional 2D

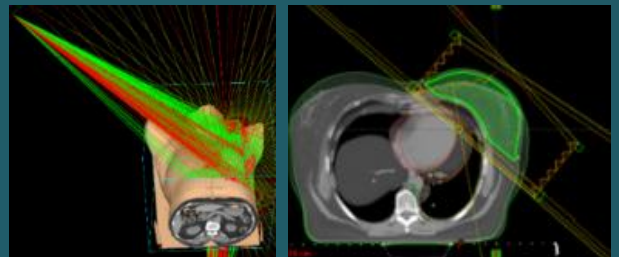
Técnica simples, baseada em imagens bidimensionais obtidas por radiografias convencionais. Os campos de radiação são planejados com menos precisão em comparação com técnicas mais modernas.



Radiografias bidimensionais de Planejamentos Convencionais

Radioterapia Conformacional 3D

Utiliza imagens de tomografia computadorizada (TC) para criar um modelo tridimensional do tumor. Isso permite uma adaptação melhor dos feixes de radiação ao formato do tumor, reduzindo a dose nos tecidos saudáveis ao redor.

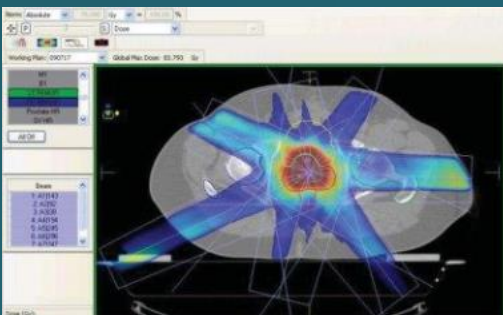


Planejamento 3D Tomografia Computadorizada

Radioterapia de Intensidade Modulada

(Intensity Modulated Radiation Therapy-IMRT)

Técnica que ajusta a intensidade do feixe em diferentes áreas do tumor. Usa imagens de TC e ressonância magnética (RM) para definir melhor os volumes de tratamento.



Planejamento de Radioterapia - IMRT

Arcoterapia Volumétrica Modulada

(VMAT - Volumetric Modulated Arc Therapy)

Evolução da IMRT, onde a radiação é aplicada com movimento rotacional do acelerador linear ao redor do paciente, permitindo maior rapidez e precisão.



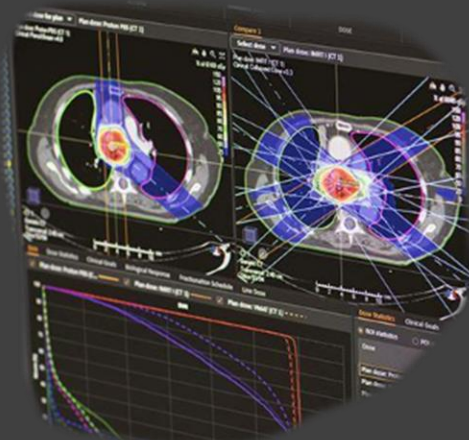
Planejamento - VMAT

Simulação e Planejamento na Radioterapia

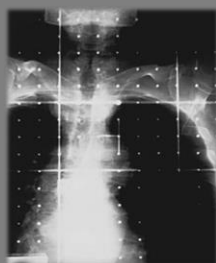
A **simulação** é o primeiro passo do tratamento radioterápico. Ela tem como objetivo **definir e reproduzir com exatidão a posição do paciente em todas as sessões**, garantindo que a radiação atinja o tumor da forma mais precisa possível.

Pode ser realizada de duas formas principais:

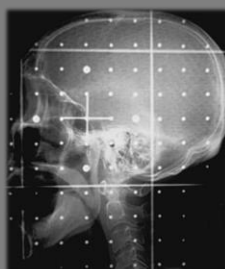
- **Com tomografia computadorizada (TC):** é a forma mais moderna e precisa de simulação. As imagens obtidas mostram a anatomia em cortes detalhados, permitindo que o planejamento seja feito em três dimensões (3D), com mais exatidão na localização do tumor e dos órgãos de risco.



- **Com simulador convencional:** é um equipamento semelhante a um aparelho de raio-X, que simula os campos de radiação utilizando imagens 2D.



Imagens obtidas pelo simulador convencional para tratamento de pulmão e de cabeça e pescoço.



Essa técnica é mais antiga e vem sendo substituída pela simulação com TC.

Em alguns casos específicos, imagens de **ressonância magnética (RM)** ou **PET-CT** podem ser usadas de forma complementar.

Dispositivos de apoio e contenção em geral usados em radioterapia:

O que é contenção em radioterapia?

É o uso de dispositivos e técnicas específicas para manter o paciente na posição correta durante o tratamento.

E o que é prevenção de movimentos indesejados?

São estratégias para eliminar ou reduzir a possibilidade de movimentos voluntários e involuntários que poderiam prejudicar a precisão da entrega da dose de radiação durante o tratamento.



Alguns dos principais dispositivos:

- Máscara termoplástica;
- Blocos e cunhas de apoio;
- Bases ou suportes de cabeça;
- Moldes corporais (Vac-Loc);
- Apoio para as coxas, joelhos e pés;
- Faixas de velcro para contenção do paciente;
- Suporte (Belly) para decúbito ventral.

OBS: Há também pranchas para tratamento das mamas, compressores abdominais, hastes para as mãos e diversos outros tipos de dispositivos.

Exemplo de uma paciente posicionada em decúbito dorsal numa prancha na mesa de exames com apoio de cabeça, apoio de braço, compressor abdominal, apoio para as coxas, joelhos e pés .



Acelerador Linear (A.L.)

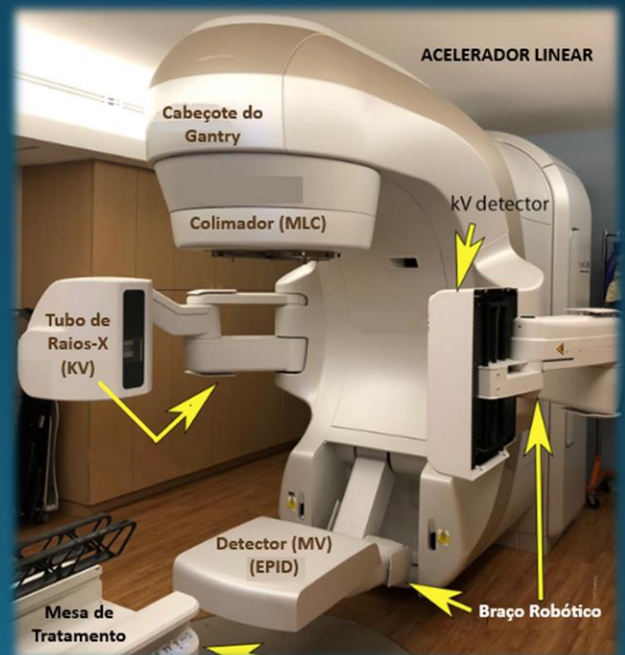
Principais Partes Externas

- **Gantry:** Estrutura rotativa que contém o cabeçote do acelerador. Permite a movimentação do feixe de radiação ao redor do paciente.
- **Cabeçote:** Local onde a radiação é gerada e moldada antes de atingir o paciente. Contém o colimador, os filtros e o sistema de monitoramento do feixe.
- **Colimador Multilâminas (MLC – Multi-Leaf Collimator):** Conjunto de lâminas móveis dentro do cabeçote, que ajusta o formato do feixe para se adaptar ao contorno do tumor.
- **Mesa de Tratamento (Couch):** Plataforma ajustável onde o paciente se posiciona. Possui controle eletrônico para ajustes de altura, rotação e inclinação.

OBI (On-Board Imager) e EPID (Electronic Portal Imaging Device):

OBI: sistema de imagem baseado em raios X de **kV** (quilovolt), utilizado para capturar imagens antes do tratamento. Permite verificar a posição do paciente e do tumor com mais precisão, ajustando-se conforme necessário.

EPID: detector eletrônico que utiliza raios X de **MV** (megavolt) gerados pelo próprio acelerador para capturar imagens durante o tratamento. Usado para verificar o posicionamento do paciente e a qualidade da aplicação do feixe de radiação.



Ambos fazem parte da Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT – Image-Guided Radiation Therapy), garantindo que a radiação seja aplicada no local exato.

A Importância da Equipe Multidisciplinar na Radioterapia




Na jornada do paciente oncológico, a radioterapia é um dos pilares do tratamento, e seu sucesso depende do trabalho conjunto de uma **equipe multidisciplinar**. Cada profissional tem um papel fundamental, garantindo que o tratamento seja **seguro, preciso e humanizado**.

Desde o planejamento até a última sessão, essa equipe atua de forma integrada, combinando conhecimento técnico, tecnologia avançada e cuidado com o paciente.

- Médico Radio-oncologista
- Físico Médico
- Dosimetrista
- Tecnólogo / Técnico em Radioterapia
- Equipe de enfermagem
- Biomédico
- Profissional de farmácia
- Psicologia
- Nutrição
- Assistência Social
- Odontologia
- Engenharia Clínica
- Equipe de Manutenção
- Recepção e Administrativo
- Residentes/Estagiários
- Equipe de Higiene e Limpeza

O Papel dos Técnicos / Tecnólogos em Radioterapia

Atuam em diversas etapas do tratamento para garantir que a radiação seja aplicada com segurança, precisão e eficiência. Eles são o elo entre tecnologia e cuidado ao paciente, operando equipamentos avançados e garantindo a correta execução do planejamento terapêutico.



Atuação em diferentes setores da radioterapia:

- **Simulação e Planejamento:** Participam do posicionamento inicial do paciente, auxiliam na aquisição de imagens e colaboram com a equipe de dosimetria para garantir que o plano de tratamento seja seguido corretamente.
- **Dosimetria:** Podem atuar diretamente na dosimetria, ajudando a calcular e validar os parâmetros do tratamento, sempre sob supervisão do físico médico e do médico radio-oncologista.
- **Salas de Tratamento:** São responsáveis por operar os aceleradores lineares, posicionar os pacientes e garantir que o feixe de radiação seja aplicado exatamente na área planejada.
- **Comando dos Aceleradores:** Monitoram e ajustam os parâmetros de cada sessão, verificando imagens de IGRT (Radioterapia Guiada por Imagem) e realizando os ajustes necessários para a máxima precisão do tratamento.
- **Cuidados com o Paciente:** Além da parte técnica, acompanham os pacientes ao longo das sessões, orientam sobre o tratamento e possíveis efeitos colaterais, contribuindo para uma experiência mais humanizada.

Obs.: Normalmente, os profissionais que atuam nesse segmento são técnicos ou tecnólogos em radiologia com especialização em radioterapia. Além disso, profissionais **biomédicos** também têm se destacado nesse campo.

O Papel dos Biomédicos em Radioterapia

Os biomédicos, ao obterem a devida habilitação por meio de especializações reconhecidas, podem atuar em várias etapas do processo radioterápico, contribuindo significativamente para a precisão e segurança dos tratamentos.



Atuação em diferentes setores da radioterapia:

- **Operação de Equipamentos:** Os biomédicos podem operar equipamentos de radioterapia, como aceleradores lineares, garantindo o correto posicionamento do paciente e a entrega precisa da dose de radiação.
- **Dosimetria:** Especializados em dosimetria, os biomédicos são responsáveis pelo cálculo e planejamento das doses de radiação a serem administradas, trabalhando em conjunto com físicos médicos e radio-oncologistas para assegurar a eficácia do tratamento. O dosimetrista é fundamental na radioterapia, sendo responsável por garantir a precisão e segurança na entrega das doses de radiação aos pacientes.
- **Supervisão Técnica:** Podem atuar como supervisores técnicos, verificando todas as etapas dos processos de simulação e tratamento, assegurando a qualidade e uniformidade dos procedimentos radioterápicos.
- **Gestão de Equipe:** Os biomédicos têm a capacidade de gerenciar equipes de técnicos em radioterapia, coordenando escalas, treinamentos e desenvolvendo protocolos de segurança e qualidade.
- **Pesquisa e Desenvolvimento:** Há oportunidades para biomédicos atuarem em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e protocolos na área de radioterapia, contribuindo para o avanço contínuo do campo.
- **Imagem e Diagnóstico:** Na área de imagenologia, os biomédicos podem realizar exames de diagnóstico por imagem, como tomografia computadorizada e ressonância magnética, auxiliando no planejamento e acompanhamento dos tratamentos radioterápicos. O biomédico imagenologista pode atuar em diversas áreas da radiologia e radiodiagnóstico, incluindo medicina nuclear e radiofarmácia.

O Papel dos Enfermeiros em Radioterapia

Em radioterapia, a atuação do enfermeiro é fundamental para o cuidado integral do paciente. Eles desempenham um papel crucial no acompanhamento, orientação e suporte durante todo o tratamento, além de atuarem na prevenção e manejo de efeitos colaterais.



Atuação em diferentes setores da radioterapia:

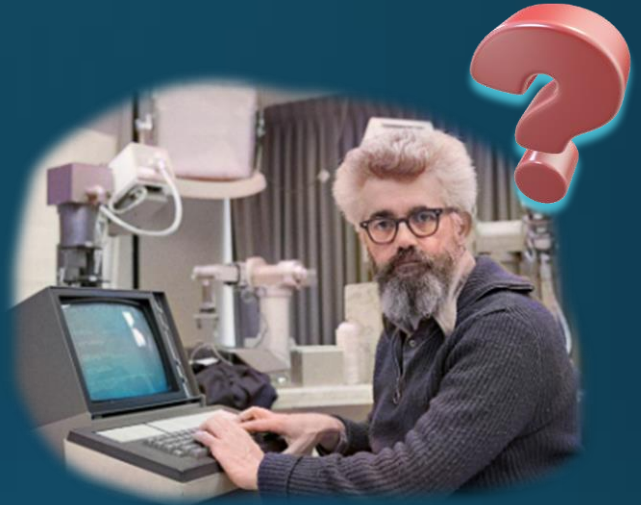
- **Acompanhamento e Orientação:** Os enfermeiros criam um vínculo com o paciente, fornecendo informações detalhadas sobre o tratamento, esclarecendo dúvidas e orientando sobre cuidados específicos com a pele e mucosas. Eles também abordam os possíveis efeitos colaterais relacionados à área tratada, preparando o paciente para as diferentes fases do tratamento.
- **Monitoramento e Avaliação:** Eles realizam avaliações periódicas, identificando e monitorando efeitos colaterais como mucosite e radiodermite. Utilizam a Sistematização da Assistência de Enfermagem (SAE) para planejar, executar e avaliar as intervenções necessárias, garantindo uma abordagem personalizada e eficaz.
- **Manejo de Efeitos Colaterais:** Atuam no manejo não farmacológico dos efeitos adversos, oferecendo orientações sobre medidas de alívio e conforto. Quando necessário, encaminham o paciente ao médico para avaliação e possível prescrição de tratamentos medicamentosos.
- **Coordenação do Cuidado:** Servem como elo de comunicação entre o paciente, a equipe médica e outros profissionais de saúde, assegurando que todas as necessidades do paciente sejam atendidas de forma integrada e eficiente.
- **Consulta de Enfermagem:** Realizam consultas de enfermagem para identificar problemas de saúde, planejar intervenções e promover ações de saúde, prevenção e reabilitação, fortalecendo o autocuidado e a adesão ao tratamento.
- **Educação e Promoção da Saúde:** Educam pacientes e familiares sobre o tratamento, cuidados domiciliares e medidas preventivas, utilizando a consulta de enfermagem como ferramenta para transmitir informações essenciais e promover a saúde.
- **Gestão e Liderança:** Em alguns contextos, os enfermeiros assumem funções de gestão, coordenando as atividades de enfermagem na radioterapia, organizando escalas, promovendo treinamentos e desenvolvendo protocolos de segurança e qualidade.

2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (I.A.)

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.



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.

- 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.



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. 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?**



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.



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 e 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.

3 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.

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 tratamento 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.



The screenshot shows the Therapanacea website with a navigation bar at the top containing: LAR, SOLUÇÕES RT, SOLUÇÕES NEUROLÓGICAS, RECURSOS, NOTÍCIAS, CARREIRAS, and CONTATO. The main content area features a large image of a medical monitor displaying CT and MRI scans of a head. To the right of the image, the text reads: "ART-Plan™ : Você está pronto para reinventar o tratamento do câncer por meio da IA?". Below this, a paragraph states: "Por meio do ART-Plan™, aproveitamos avanços de última geração em inteligência artificial, ciência de dados e processamento de imagens médicas para uma melhor experiência de radioterapia para seus pacientes e equipes médicas." At the bottom, there are four statistics: "Até 90% de tempo economizado em contornos" (with a bar chart icon), "Contornos de corpo inteiro" (with a rocket icon), "+50 centros que usam ART-Plan™ na Europa" (with a hospital icon), and "+100 000 pacientes tratados com" (with a person icon).

Fonte: <https://www.therapanacea.eu/>

- 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 Multimodality 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.

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



<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.

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.

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.



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.

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.tempus.com/?srsltid=AfmBOooDaBYb52eNeQuk55Vf1R86xWAFYRPLp1r5f2B8VKvURkweND_k

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.



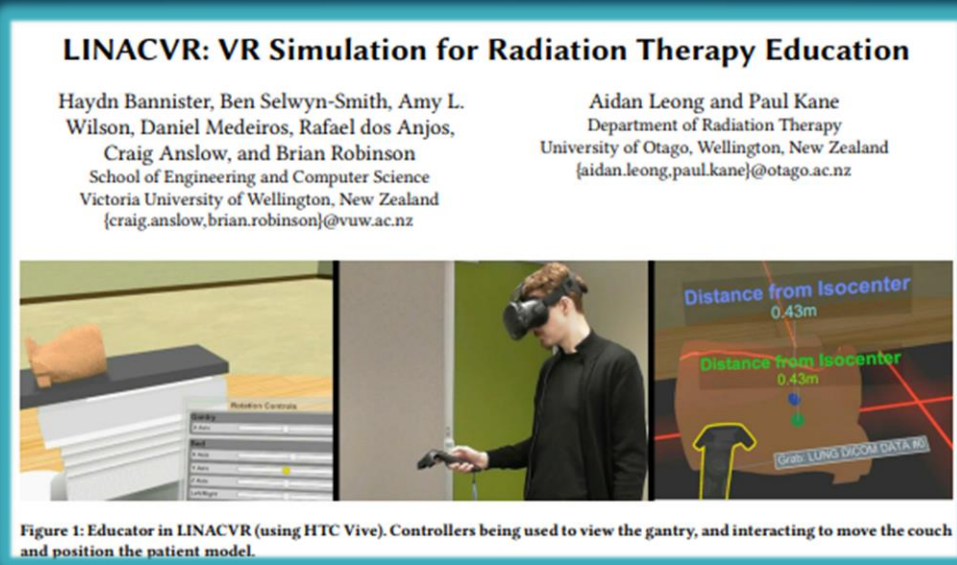
Fonte: <https://wecancer.com.br>

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.

Exemplo 6 – Aprimoramento da Educação e Treinamento:

Por último, mas não menos importante, 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.



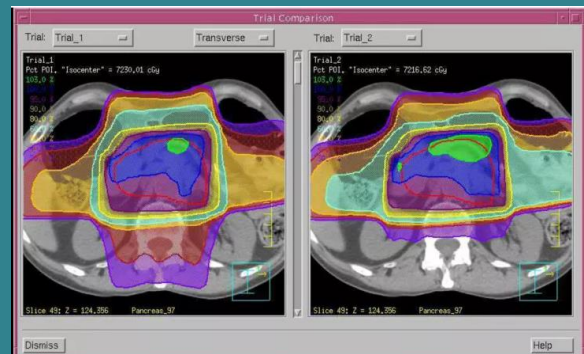
Por exemplo: O estudo intitulado "LINACVR: VR Simulation for Radiation Therapy Education" explora a aplicação de simulações em realidade virtual (VR) na formação de profissionais de radioterapia, destacando como essa tecnologia pode enriquecer a educação ao permitir que os alunos pratiquem técnicas de 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/health-care/product/HCNOCTN135/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!

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.

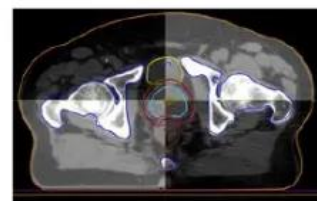


No tratamento de radioterapia, a IA pode analisar imagens de verificação do tratamento e registros de doses de radiação para detectar qualquer problema, como o paciente não estar na posição correta ou erros na entrega da dose de radiação.

*Checkerboard fusion of kV single
- spine treatment.*



*Checkerboard fusion of CBCT
and reference data - prostate
treatment.*



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

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).

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.

4 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).

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

5 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.

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).

- 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.

Um exemplo interessante citado no artigo é o uso de IA para prever os resultados de QA em máquinas de prótons. Nesse estudo, foram usados mais de 1.700 campos de prótons com diferentes configurações para treinar um modelo de machine learning que pudesse prever os fatores de saída (SUN apud CHAN et al., 2020). Essa abordagem ajudou a **reduzir significativamente o tempo necessário para configurar as máquinas e ajustar os parâmetros de tratamento**, o que é uma grande vantagem no ambiente clínico.



6 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 profissional de radioterapia que exigem **habilidades humanas e sensibilidade**, como a interação com os pacientes e a capacidade de resposta a situações imprevistas.



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:

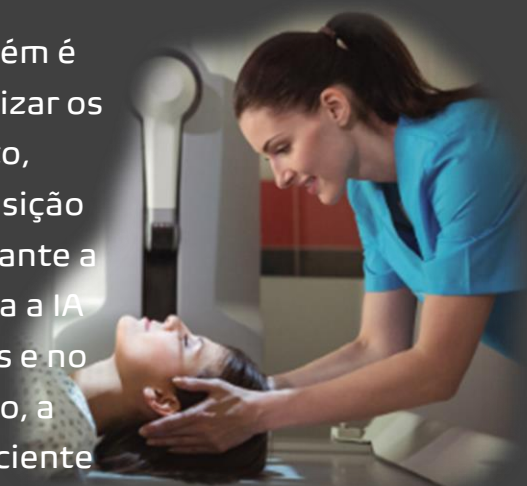
Preparação e Ajuste dos Equipamentos:



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.

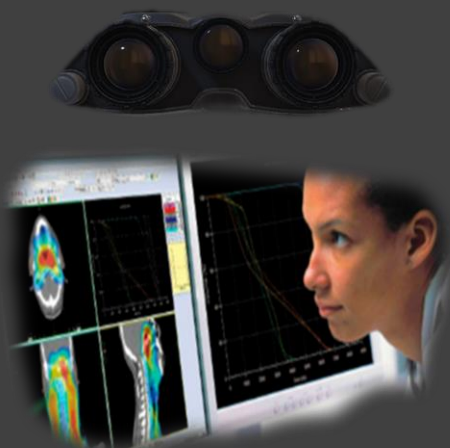
Posicionamento e Imobilização dos Pacientes:

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



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.



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.

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.

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.

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. É como se fosse uma dança: alguns passos mudam, mas a música continua tocando. 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 profissional de radioterapia que exigem habilidades humanas e sensibilidade, como a interação com os pacientes e a capacidade de resposta a situações imprevistas. 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.

7 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.
- **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.
- **Novas oportunidades de carreira:** A integração da IA cria novas áreas de especialização, como gerenciamento de sistemas de IA e interpretação de dados avançados.
- **Aprendizado contínuo:** A evolução tecnológica incentiva o aprendizado contínuo, mantendo os profissionais atualizados e relevantes.

- **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:

- **Necessidade de adaptação:** Os profissionais precisarão se adaptar e aprender novas habilidades, o que pode ser desafiador.
- **Questões éticas e de responsabilidade:** É importante estabelecer diretrizes claras sobre o uso da IA e quem é responsável por decisões e resultados.
- **Dependência tecnológica:** É crucial manter um equilíbrio entre o uso da tecnologia e a manutenção das habilidades humanas essenciais.

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

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, Zukauskaite 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. 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.

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.

