

Revista Brasileira de SAÚDE

ISSN 3085-8208

vol. 1, n. 5, 2025

••• ARTIGO 1

Data de Aceite: 16/09/2025

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA RADIOLOGIA HOSPITALAR: IMPACTOS NA PRECISÃO DIAGNÓSTICA

Alceu Silva Queiroz Neto



Todo o conteúdo desta revista está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Resumo: A radiologia é uma área fundamental da medicina, contribuindo diretamente para o diagnóstico e o monitoramento de inúmeras doenças. Com os avanços tecnológicos, os exames de imagem tornaram-se mais precisos, proporcionando diagnósticos mais detalhados e auxiliando em intervenções médicas mais seguras e eficazes. Nesse sentido, o objetivo foi investigar como essas inovações têm impactado a eficiência e a eficácia do diagnóstico médico, bem como a experiência do paciente. A metodologia adotou uma revisão narrativa da literatura em bases de dados científicas, selecionando artigos publicados entre 2020 e 2025. Critérios de inclusão envolveram estudos revisados por pares que analisaram tecnologias emergentes em radiologia e seu impacto na precisão diagnóstica, enquanto estudos sem enfoque hospitalar ou publicados antes de 2020 foram excluídos. Os resultados indicam que o uso de sistemas de arquivamento, técnicas de reconstrução iterativa, contrastes mais seguros, soluções em nuvem e algoritmos de aprendizado profundo contribuiu significativamente para a redução de erros, otimização de fluxos de trabalho e melhoria na acurácia clínica. No entanto, identificou-se que o alto custo de aquisição e manutenção dos equipamentos, lacunas de treinamento profissional e questões éticas relacionadas à inteligência artificial limitam a adoção em larga escala.

Palavras-chaves: Radiologia, Diagnóstico, Tecnologia, Imagem Médica.

INTROUDÇÃO

A imagem médica percorreu um longo caminho desde os primeiros dias dos raios-X, transformando-se de projeções simples, semelhantes a sombras, em reconstruções

tridimensionais altamente detalhadas do corpo humano. A evolução da radiologia tem estado profundamente entrelaçada com o progresso tecnológico, expandindo continuamente os limites do que é possível no diagnóstico médico (Arya, 2022).

Nas últimas décadas, os hospitais testemunharam uma rápida integração de técnicas avançadas de imagem, desde a radiografia digital até a interpretação assistida por inteligência artificial. Essas inovações não apenas melhoraram a qualidade das imagens, mas também aumentaram a precisão na detecção, monitoramento e tratamento de doenças (Moura et al., 2020).

Com o advento da ressonância magnética de alta resolução, tomografias computadorizadas multislice e ultrassonografias em tempo real, os profissionais médicos agora podem obter informações detalhadas sobre a condição dos pacientes com uma velocidade e clareza sem precedentes. Nessa linha, Mariano et al. (2025) destacam que as novas tecnologias permitem diagnósticos mais rápidos e menos invasivos, beneficiando principalmente pacientes pediátricos, que antes eram submetidos a procedimentos mais agressivos.

Além disso, a automação e as ferramentas baseadas em inteligência artificial estão transformando a forma como os radiologistas interpretam casos complexos. Do Rosário, Neto e Pinto (2024) enfatizam que os algoritmos de aprendizado de máquina têm se destacado na identificação de padrões em imagens médicas, auxiliando no diagnóstico precoce e reduzindo a probabilidade de erro humano. A mudança para a imagem digital e o armazenamento em nuvem também agilizou os fluxos de trabalho, permitindo consultas remotas e decisões clínicas mais rápidas.

A integração de tecnologias avançadas de imagem na radiologia hospitalar também redefiniu a experiência do paciente. Tempos de exame mais rápidos, redução da necessidade de procedimentos diagnósticos invasivos e técnicas de imagem mais precisas contribuem para avaliações médicas mais confortáveis e eficientes. Por exemplo, tomografias computadorizadas de baixa dose reduziram a exposição à radiação sem comprometer a qualidade da imagem, enquanto a ressonância magnética com contraste permite uma melhor visualização de tecidos moles e estruturas vasculares (Von Ende et al., 2023). Essas melhorias são particularmente importantes em áreas como oncologia, neurologia e cardiologia, onde a detecção precoce pode influenciar significativamente o sucesso do tratamento.

Ao mesmo tempo, a transformação digital dos departamentos de radiologia tem otimizado as operações e aprimorado a colaboração entre os profissionais de saúde. Scharf et al. (2022) apontam que sistemas PACS (Picture Archiving and Communication Systems) baseados em nuvem têm facilitado a telemedicina, permitindo que radiologistas acessem e compartilhem imagens remotamente, possibilitando segundas opiniões de especialistas ao redor do mundo.

Essa conectividade não apenas acelera os processos diagnósticos, mas também garante que os pacientes recebam atendimento médico preciso e oportuno, mesmo em regiões com acesso limitado a cuidados especializados. À medida que a radiologia continua a evoluir, seu papel na medicina moderna torna-se cada vez mais indispensável, moldando um futuro onde os diagnósticos são mais confiáveis, acessíveis e integrados ao cuidado abrangente do paciente.

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo discutir como os avanços no campo da radiologia têm contribuído para o aumento na precisão, a redução de erros, a melhoria na interpretação clínica e a integração de novas tecnologias, além de proporcionar maior agilidade nos diagnósticos baseados em imagem e aprimorar a experiência do paciente.

METODOLOGIA

Este estudo segue uma abordagem de revisão narrativa da literatura para examinar o impacto dos avanços tecnológicos na radiologia hospitalar sobre a precisão diagnóstica. A pesquisa foi conduzida utilizando três grandes bases de dados científicas: PubMed, BVS (Biblioteca Virtual em Saúde) e Scopus. Essas fontes foram selecionadas devido à sua ampla cobertura de estudos relacionados à medicina e à saúde. A revisão focou em artigos publicados entre 2020 e 2025, garantindo uma análise atualizada dos avanços recentes na tecnologia de imagem.

Para identificar a literatura relevante, foi aplicada uma estratégia de busca estruturada utilizando operadores booleanos e palavras-chave específicas relacionadas à radiologia, inovações tecnológicas e precisão diagnóstica. A pesquisa foi realizada em inglês, português e espanhol para garantir uma ampla seleção de estudos. O Quadro 1 apresenta os operadores booleanos e as palavras-chave utilizadas no processo de busca:

Operadores Booleanos	Termos combinados (Inglês)
(“radiology” OR “medical imaging”) AND	(“technology” OR “advancement” OR “innovation”)
(“AI in radiology” OR “artificial intelligence in medical imaging”) AND	(“hospital diagnostics” OR “clinical application”)

(“MRI” OR “CT scan” OR “ultrasound”) AND Operadores Booleanos	(“technological development” OR “machine learning”) Termos combinados (Português)
(“radiologia” OR “imagem médica”) AND (“IA na radiologia” OR “inteligência artificial em imagem médica”) AND (“ressonância magnética” OR “tomografia computadorizada” OR “ultrassonografia”) AND	(“tecnologia” OR “avanço” OR “inovação”) (“diagnóstico hospitalar” OR “aplicação clínica”) (“desenvolvimento tecnológico” OR “aprendizado de máquina”)

Quadro 1 – Operadores booleanos e descritores utilizados na busca

Os critérios de inclusão e exclusão foram estabelecidos para filtrar os estudos relevantes e eliminar aqueles que não se alinhavam ao foco da pesquisa. Os critérios de inclusão abrangeram artigos revisados por pares que examinaram os avanços tecnológicos na radiologia hospitalar e seu impacto na precisão diagnóstica. Somente estudos disponíveis em texto completo e escritos em inglês, português ou espanhol foram considerados.

Por outro lado, estudos publicados antes de 2020, bem como editoriais, cartas ao editor e artigos de opinião, foram excluídos. Além disso, pesquisas focadas exclusivamente em radiologia veterinária ou realizadas em ambientes não hospitalares não foram consideradas. Esse processo de seleção garantiu que apenas estudos de alta qualidade e relevância fossem incluídos na análise final. A Figura 1 traz a metodologia de forma resumida.



Figura 1 – Etapas da metodologia.

Após o processo de seleção, os dados extraídos foram categorizados com base nas tecnologias de imagem discutidas (ressonância magnética, tomografia computadorizada, ultrassonografia, radiografia digital), nas aplicações de inteligência artificial e nas melhorias relatadas na precisão diagnóstica. Essa abordagem estruturada permitiu uma revisão abrangente de como as tecnologias emergentes na radiologia estão moldando a precisão e a eficiência dos diagnósticos hospitalares.

AVANÇOS EM MODALIDADES E EQUIPAMENTOS DE IMAGEM

A imagem médica passou por avanços notáveis nas últimas décadas, revolucionando a radiologia hospitalar. A transição dos raios-X tradicionais baseados em filmes para a imagem digital melhorou significativamente a precisão diagnóstica, a eficiência do fluxo de trabalho e os resultados clínicos (Santos; Campos, 2021). Essas inovações tecnológicas proporcionaram maior resolução de imagem, tempos de processamento mais rápidos e maior acessibilidade aos dados radiológicos.

Os sistemas digitais possibilitaram a integração das imagens aos sistemas de informação hospitalar, tornando as avaliações radiológicas mais eficientes e reduzindo as

chances de erros diagnósticos. Segundo Alves et al. (2024), a digitalização da radiologia não apenas aprimorou a qualidade das imagens, mas também otimizou os processos de diagnóstico ao possibilitar a interpretação assistida por inteligência artificial. A evolução contínua das modalidades de imagem se mostra necessária na medicina moderna, permitindo a detecção precoce de doenças e um planejamento terapêutico mais preciso.

Ressonância Magnética: Avanços em Técnicas de Contraste e Reconstrução de Imagem

Um dos avanços mais significativos na imagem médica foi o desenvolvimento da ressonância magnética (RM) de alta resolução. Os scanners modernos de RM agora oferecem imagens anatômicas e funcionais detalhadas, com maior resolução de contraste, permitindo uma melhor diferenciação entre tecidos moles. Técnicas como a imagem ponderada por difusão (DWI) e a ressonância magnética funcional (fMRI) expandiram as aplicações clínicas da RM, especialmente em neurologia e oncologia (Silva et al., 2024). Essas melhorias permitem aos radiologistas detectar anomalias em estágios iniciais, aumentando as taxas de sucesso no tratamento.

Além disso, inovações na tecnologia de bobinas e na reconstrução de imagem assistida por aprendizado de máquina aprimoraram ainda mais o potencial diagnóstico da RM. Bellens et al. (2024) destacam que modelos de inteligência artificial vêm sendo aplicados para otimizar a reconstrução de imagens, reduzindo o tempo de exame e melhorando a qualidade final das imagens médicas. Essas tecnologias oferecem diagnósticos mais rápidos e confiáveis, especialmente em exames de alta complexidade.

Tomografia Computadorizada e Técnicas de Redução de Radiação

A evolução tecnológica na tomografia computadorizada (TC) proporcionou avanços consideráveis na qualidade das imagens diagnósticas. Modernos equipamentos de TC multisslice permitem adquirir imagens com alta velocidade e excelente resolução espacial, possibilitando visualizações detalhadas das estruturas internas do corpo humano. Esse aperfeiçoamento técnico beneficia especialmente diagnósticos complexos em áreas como emergência, oncologia e cardiologia (Silva et al., 2024).

Uma das inovações significativas foi o desenvolvimento da TC de dupla energia. Essa tecnologia utiliza dois níveis diferentes de energia nos raios-X simultaneamente, permitindo caracterizar tecidos e materiais de forma mais precisa com base em suas propriedades específicas de atenuação radioológica. A dupla energia mostrou-se eficaz em diferenciar tecidos saudáveis e patológicos, além de melhorar a detecção de lesões sutis que seriam difíceis de identificar com técnicas tradicionais (Santos & Campos, 2021).

Paralelamente aos avanços técnicos, os desafios relacionados à exposição à radiação ionizante ganharam destaque nos últimos anos. Para enfrentar esse problema, pesquisadores desenvolveram algoritmos avançados de reconstrução iterativa. Alves et al. (2024) apontam que esses algoritmos permitem reduzir significativamente a dose de radiação administrada durante os exames de TC, mantendo, contudo, uma qualidade de imagem suficiente para diagnósticos seguros e confiáveis.

Com a aplicação dessas técnicas de reconstrução iterativa, observou-se uma diminuição expressiva das doses de radiação em

exames pediátricos e em procedimentos frequentes para pacientes com doenças crônicas. Essa redução é particularmente importante, dado o risco cumulativo da radiação ao longo da vida (Silva et al., 2024). Dessa maneira, as melhorias nas técnicas de aquisição e reconstrução de imagens proporcionaram exames mais seguros para os pacientes sem comprometer o rigor diagnóstico.

Técnicas de Imagem com Contraste e Perfusion

Outro avanço notável em radiologia é o desenvolvimento das técnicas de imagem com contraste, essenciais para melhorar a visualização das estruturas vasculares e dos tecidos moles. Exames como a ressonância magnética (RM) e a tomografia computadorizada (TC) com contraste revolucionaram a capacidade diagnóstica na detecção precoce de tumores, isquemias e processos inflamatórios (Mesquita et al., 2023).

Entre as inovações recentes destacam-se a imagem por contraste dinâmico na RM (DCE-MRI) e a TC de perfusão, técnicas que fornecem valiosas informações funcionais sobre o fluxo sanguíneo e a dinâmica da perfusão tecidual. Mody, Dash e Mody (2022) ressaltam que esses métodos permitem aos médicos avaliar não apenas alterações estruturais, mas também aspectos fisiológicos importantes, como a progressão de tumores, áreas de isquemia e processos inflamatórios ativos.

Paralelamente às evoluções técnicas nos exames, houve também progresso significativo na formulação e segurança dos agentes de contraste. Jales et al. (2024) indicam que agentes à base de gadolínio com perfis de segurança aprimorados tornaram os exames de RM mais seguros e

eficazes, inclusive para pacientes com função renal reduzida, uma população anteriormente limitada no uso de contraste devido aos riscos de nefrotoxicidade. No caso da TC, novos contrastes à base de iodo com menor risco nefrotóxico têm permitido a realização de exames contrastados de forma mais segura. O desenvolvimento contínuo desses agentes, com características farmacocinéticas otimizadas e perfis de toxicidade reduzida, ampliou as aplicações clínicas e a aceitação dos procedimentos radiológicos, contribuindo diretamente para uma melhor experiência do paciente e segurança clínica aumentada (Mesquita et al., 2023).

Ultrassonografia: Expansão para Novas Aplicações Clínicas

Dicle (2023) destaca que, nos últimos anos, a ultrassonografia passou por significativas transformações técnicas que ampliaram consideravelmente sua versatilidade e utilidade clínica. A chegada ao mercado de transdutores de alta frequência permitiu melhorar a resolução das imagens, proporcionando diagnósticos mais precisos em especialidades como dermatologia, reumatologia e medicina vascular periférica.

Outra inovação fundamental é a elastografia por ultrassom, que avalia a rigidez dos tecidos por meio de ondas de cisalhamento e pressão mecânica leve. Essa técnica mostrou-se eficaz em detectar e caracterizar patologias como fibrose hepática, diferenciação entre lesões benignas e malignas em mamas e tireoide, e diagnóstico diferencial de condições musculoesqueléticas (Mika et al., 2024). Dessa forma, a elastografia tornou-se uma ferramenta valiosa na prática clínica, fornecendo informações adicionais às imagens convencionais obtidas por ultrassom.

Kuwahara et al. (2024) ressaltam que o ultrassom com contraste (CEUS) constitui outro avanço relevante na ultrassonografia moderna. Essa técnica emprega microbolhas como agentes de contraste intravenoso, melhorando substancialmente a visualização dos vasos sanguíneos e do fluxo vascular, além de permitir uma melhor caracterização de massas suspeitas, especialmente hepáticas e renais.

Por ser não-ionizante, o CEUS representa uma alternativa segura e altamente útil, especialmente para pacientes que não podem se submeter a contrastes iodados ou à radiação (Urhuç et al., 2023). Essa abordagem tem se consolidado como uma opção diagnóstica viável em populações vulneráveis, reduzindo riscos associados a exames contrastados convencionais.

Jung, Stroszczynski e Jung (2023) destacam que a ultrassonografia mantém uma vantagem única de portabilidade e rapidez, o que a tornou uma ferramenta preferencial na medicina de emergência, nos cuidados intensivos e em diagnósticos realizados à beira do leito (point-of-care). O desenvolvimento de dispositivos ultrassônicos portáteis ampliou seu uso para regiões remotas ou com infraestrutura médica limitada, destacando sua função como um instrumento essencial para o diagnóstico rápido e eficaz em diferentes contextos clínicos (Gong et al., 2023).

Avanços em Software e Processamento de Imagens

Os avanços em software transformaram o processamento e a interpretação das imagens. Inovações em reconstrução automatizada de imagens, algoritmos de redução de ruído e imagem tridimensional apri-

moraram a clareza e a utilidade diagnóstica das imagens médicas. Técnicas de imagem espectral, como a TC com contagem de fôtons, oferecem uma diferenciação de materiais mais precisa, auxiliando os radiologistas na identificação de anomalias com maior acurácia.

Na Figura 2, é possível observar como essas inovações têm impactado o aprimoramento da qualidade das imagens médicas, permitindo diagnósticos mais rápidos e precisos, além de reduzir interferências visuais e melhorar a segmentação de estruturas anatômicas.



Figura 2 - Avanços em Software e Processamento de Imagens

Fonte: Autor (2025).

A integração de modelos de aprendizado profundo ao software de imagem otimizou a melhoria de imagens, a detecção de lesões e a classificação, reduzindo a dependência da interpretação manual e aumentando a confiabilidade diagnóstica. Kelly et al. (2022) destacam que a aplicação de inteligência artificial na radiologia aprimorou a precisão diagnóstica ao identificar padrões sutis em exames, permitindo uma análise mais eficiente e padronizada das imagens médicas.

O surgimento de técnicas de imagem híbrida proporcionou uma abordagem diagnóstica mais abrangente, combinando múltiplas modalidades em um único exame. A tomografia por emissão de pósitrons associada à tomografia computadorizada (PET/CT) e à ressonância magnética (PET/MRI) integra imagens metabólicas e anatômicas, proporcionando maior precisão diagnóstica para casos oncológicos, neurológicos e cardiológicos (Abuzaid et al., 2022). Essas tecnologias permitem a detecção precoce de câncer, distúrbios neurológicos e doenças cardiovasculares ao fornecer informações estruturais e funcionais.

A integração da imagem híbrida nos ambientes hospitalares facilitou a caracterização precisa das doenças e o aprimoramento do planejamento terapêutico. Jung, Stroszczynski e Jung (2023) ressaltam que a combinação de imagens multimodais, especialmente quando aliada a algoritmos de inteligência artificial, melhora significativamente a identificação de lesões e a avaliação da resposta ao tratamento.

A radiologia intervencionista também se beneficiou dos avanços tecnológicos nas modalidades de imagem. A fluoroscopia de alta resolução, a TC de feixe cônico e a imagem 3D em tempo real melhoraram a precisão dos procedimentos minimamente invasivos. Essas técnicas permitem que os radiologistas intervencionistas naveguem com maior precisão por estruturas vasculares e tecidos moles, reduzindo o tempo dos procedimentos e as complicações (Kuwahara et al., 2024).

O desenvolvimento de sistemas de imagem assistidos por robôs aprimorou ainda mais as capacidades da radiologia intervencionista, tornando os procedimentos mais seguros e eficazes. Urhut et al. (2023)

apontam que o uso de inteligência artificial para a interpretação em tempo real de imagens médicas tem sido um avanço significativo na orientação de intervenções minimamente invasivas.

Outra área de crescimento acelerado é a teleradiologia e as soluções de imagem baseadas em nuvem, que transformaram a forma como os dados radiológicos são armazenados, compartilhados e interpretados. Sistemas de Arquivamento e Comunicação de Imagens (PACS) e plataformas de imagem em nuvem permitem o acesso remoto a exames médicos, facilitando a telemedicina e as consultas multidisciplinares (Dicle, 2023).

A adoção da tecnologia blockchain para compartilhamento seguro de imagens e proteção dos dados dos pacientes também está ganhando espaço, abordando preocupações relacionadas à privacidade e à segurança cibernética na imagem médica (Mika et al., 2024). Essa abordagem tem sido considerada uma solução promissora para garantir a rastreabilidade e a integridade dos exames médicos.

Diante da crescente demanda por imagens mais precisas, a automação assistida por inteligência artificial foi integrada às modalidades de imagem. Segmentação automatizada, detecção de anomalias em tempo real e reconstrução de imagens baseadas em aprendizado de máquina melhoraram a eficiência e a precisão diagnóstica (Gong et al., 2023). Essas inovações vêm reduzindo significativamente o tempo necessário para análises radiológicas, permitindo diagnósticos mais ágeis e confiáveis.

O futuro da radiologia hospitalar será moldado por tecnologias de imagem de última geração, como a TC com contagem de

fótons, a RM funcional e a imagem 4D em tempo real. Mika et al. (2024) sugerem que inovações em computação quântica e nanotecnologia poderão contribuir na melhoria da precisão das imagens e na velocidade de processamento, garantindo diagnósticos mais eficientes e personalizados.

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E PROCESSAMENTO AUTOMATIZADO DE IMAGENS

A revolução digital na radiologia transformou significativamente a maneira como as imagens médicas são adquiridas, processadas, armazenadas e interpretadas. A transição da imagem tradicional baseada em filmes para sistemas totalmente digitais otimizou os fluxos de trabalho, reduziu erros e aprimorou a precisão diagnóstica (Dicle, 2023).

Com a radiologia digital, as imagens podem ser acessadas em tempo real, permitindo uma tomada de decisão mais rápida e uma comunicação mais eficiente entre os profissionais de saúde (Mody; Dash; Mody, 2022). Esses avanços não apenas melhoraram os resultados dos pacientes, mas também otimizaram a gestão de recursos hospitalares, reduzindo a necessidade de armazenamento físico de filmes e o manuseio manual das imagens (Mesquita et al., 2023).

Uma das principais inovações na radiologia digital é o Sistema de Arquivamento e Comunicação de Imagens (PACS). Esse sistema permite que radiologistas e outros profissionais da saúde armazenem, recuperem e compartilhem imagens médicas eletronicamente, eliminando desafios logís-

ticos das imagens baseadas em filmes (Jales et al., 2024).

Isso tem sido particularmente benéfico para a telemedicina, permitindo que especialistas de diferentes locais colaborem em casos complexos sem a necessidade de transferências físicas de imagens (Mesquita et al., 2023). A integração do PACS com os sistemas de informação hospitalar otimizou ainda mais o fluxo de trabalho da radiologia, garantindo um acesso contínuo aos registros dos pacientes e aos dados de imagem (Kuwahara et al., 2024).

As soluções de imagem baseadas em nuvem ampliaram ainda mais a acessibilidade e a segurança dos dados radiológicos. O armazenamento em nuvem permite que hospitais gerenciem grandes volumes de dados de imagem sem as limitações dos servidores locais (Kuwahara et al., 2024). Plataformas em nuvem possibilitam o acesso remoto a estudos de imagem, o que é essencial para segundas opiniões e teleconsultas (Gong et al., 2023).

A implementação da tecnologia blockchain na imagem baseada em nuvem também está ganhando destaque, pois oferece maior segurança e integridade dos dados, garantindo que os registros de imagem permaneçam precisos e invioláveis (Urhut et al., 2023).

O processamento automatizado de imagens revolucionou a radiologia ao melhorar a clareza das imagens e a precisão diagnóstica. Algoritmos avançados de redução de ruído, ferramentas de segmentação automática e técnicas de reconstrução de imagem minimizaram artefatos e aprimoraram a visualização de estruturas anatômicas (Mika et al., 2024).

Na TC, algoritmos de reconstrução iterativa permitiram reduzir as doses de radiação sem comprometer a qualidade da imagem, diminuindo os riscos para os pacientes submetidos a exames frequentes (Jung; Stroszczynski; Jung, 2023). Da mesma forma, os avanços na ressonância magnética (RM) melhoraram os tempos de exame e a resolução por meio de métodos automatizados de reconstrução (Dicle, 2023).

Um desenvolvimento significativo na radiologia digital foi a padronização dos protocolos de imagem e dos mecanismos de controle de qualidade. Os sistemas digitais agora integram ferramentas automáticas de garantia de qualidade que detectam inconsistências na aquisição de imagens, garantindo que as imagens atendam a padrões diagnósticos predefinidos (Urhuç et al., 2023). Essas ferramentas ajudam a reduzir a necessidade de exames repetidos, minimizando a exposição dos pacientes à radiação e otimizando o uso de recursos (Dicle, 2023). Além disso, as plataformas de imagem digital permitem a comparação automática de exames atuais e anteriores, auxiliando os radiologistas no acompanhamento da progressão das doenças com maior precisão (Mody; Dash; Mody, 2022).

A automação da interpretação de imagens também melhorou os fluxos de trabalho radiológicos. Tradicionalmente, os radiologistas precisavam analisar manualmente grandes volumes de imagens, um processo demorado e sujeito a variações na interpretação (Mody, Dash; Mody, 2022).

Com sistemas automatizados de detecção e classificação, o software de imagem pode destacar anomalias, sugerir diagnósticos potenciais e sinalizar casos que requerem atenção urgente (Mesquita et al., 2023). Essas ferramentas não substituem os radiolo-

gistas, mas funcionam como um suporte à decisão, aumentando a eficiência e reduzindo os erros diagnósticos (Jales et al., 2024).

Outro avanço importante na radiologia digital é a aplicação de sistemas de detecção assistida por computador (CAD). Esses sistemas são projetados para auxiliar os radiologistas na identificação de lesões, tumores ou fraturas que poderiam ser negligenciados na interpretação manual (Jales et al., 2024).

Os sistemas CAD são particularmente eficazes na mamografia, na detecção de nódulos pulmonares e no rastreamento do câncer colorretal, onde o diagnóstico precoce é importante (Gong et al., 2023). A incorporação do CAD na rotina de exames melhora a sensibilidade e reduz as taxas de falsos negativos (Mika et al., 2024).

A integração do aprendizado de máquina e do aprendizado profundo na radiologia digital aprimorou ainda mais as capacidades diagnósticas. Esses modelos são treinados com grandes conjuntos de dados de imagens médicas e podem reconhecer padrões complexos que podem não ser imediatamente perceptíveis aos observadores humanos (Kuwahara et al., 2024). Redes neurais convolucionais (CNNs), por exemplo, têm sido amplamente aplicadas na classificação de imagens, segmentação e detecção de anomalias (Dicle, 2023). Algoritmos baseados em aprendizado profundo demonstraram alta precisão na identificação de doenças como pneumonia, fraturas e tumores cerebrais, auxiliando os radiologistas em diagnósticos mais precisos (Urhuç et al., 2023).

No futuro, a transformação digital na radiologia continuará a evoluir, com novos avanços na análise automatizada de ima-

gens, no armazenamento em nuvem e nos diagnósticos assistidos por inteligência artificial (Jales et al., 2024). A integração de tecnologias emergentes, como computação quântica e tomografia com contagem de fôtons, promete aprimorar ainda mais a resolução das imagens e a velocidade de processamento (Mesquita et al., 2023). À medida que a automação se torna mais sofisticada, a radiologia assumirá um papel cada vez mais central na medicina de precisão, proporcionando soluções de saúde mais precisas, eficientes e acessíveis (Gong et al., 2023).

DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

A rápida transformação digital da radiologia trouxe melhorias significativas na precisão diagnóstica e na eficiência dos fluxos de trabalho. No entanto, a integração de tecnologias avançadas de imagem e sistemas automatizados de processamento apresenta diversos desafios que impactam sua adoção em larga escala.

Esses desafios vão desde restrições financeiras e limitações técnicas até questões regulatórias e a necessidade de treinamento contínuo para profissionais. Lidar com essas barreiras é essencial para garantir que os avanços tecnológicos na radiologia se traduzam em benefícios concretos para os pacientes e as instituições de saúde.

Limitações Financeiras e Infraestrutura

Uma das principais barreiras para a implementação de tecnologias avançadas de imagem é o alto custo de aquisição, instalação e manutenção. Equipamentos radiológicos de última geração, como tomógrafos

computadorizados multisslice, sistemas de ressonância magnética de alta resolução e softwares de processamento de imagem assistidos por IA, exigem investimentos financeiros substanciais (Bellens et al., 2024).

Muitas instituições de saúde, especialmente em países em desenvolvimento e áreas rurais, enfrentam dificuldades para alocar recursos suficientes para modernizar seus departamentos de radiologia (Jales et al., 2024). Os custos associados ao licenciamento de ferramentas baseadas em IA e à manutenção de sistemas de imagem em nuvem aumentam ainda mais o ônus financeiro (Mody; Dash; Mody, 2022).

Além do custo dos equipamentos, os hospitais devem investir em infraestrutura moderna para suportar a implementação de sistemas de radiologia digital. Servidores de alto desempenho, armazenamento seguro em nuvem e conectividade de rede de alta velocidade são essenciais para garantir o acesso contínuo aos dados de imagem (Santos; Campos, 2021).

Em algumas localidades, a largura de banda limitada da internet e a infraestrutura de TI inadequada dificultam a transmissão eficiente de arquivos médicos de grande volume, resultando em atrasos nos diagnósticos e nos tratamentos (Mesquita et al., 2023). A atualização desses sistemas exige não apenas recursos financeiros, mas também planejamento estratégico e apoio governamental (Dicle, 2023).

Outro desafio financeiro é o custo da conformidade regulatória e da proteção de dados. Os departamentos de radiologia devem seguir normas de privacidade de dados de saúde, como a HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) nos Estados Unidos e o GDPR (General Data

Protection Regulation) na Europa (Abuzaid et al., 2022).

Garantir que os dados de imagem dos pacientes permaneçam seguros, criptografados e protegidos contra ameaças cibernéticas exige investimentos adicionais em medidas de segurança digital, algo que muitas instituições têm dificuldade em custear (Gong et al., 2023). O não cumprimento dessas regulamentações pode resultar em consequências legais e vazamentos de dados, comprometendo a confiança dos pacientes nos sistemas digitais de radiologia (Urhuç et al., 2023).

Na Figura 3, é possível observar os desafios enfrentados na implementação da radiologia digital, incluindo limitações financeiras, infraestrutura deficiente e requisitos regulatórios cada vez mais rigorosos.



Figura 3 - Desafios na Implementação da Radiologia Digital.

Nessa linha, Von Ende et al., (2025) destaca que garantir que os dados de imagem dos pacientes permaneçam seguros, criptografados e protegidos contra ameaças cibernéticas exige investimentos adicionais em medidas de segurança digital, algo que muitas instituições têm dificuldade em custear. O não cumprimento dessas regulamentações pode resultar em consequências legais e vazamentos de dados, comprometendo a confiança dos pacientes nos sistemas digitais de radiologia.

Treinamento, Adaptação do Fluxo de Trabalho e Considerações Éticas

A integração de diagnósticos assistidos por IA e o processamento automatizado de imagens mudaram o papel dos radiologistas, exigindo educação e treinamento contínuos para acompanhar os avanços tecnológicos (Kuwahara et al., 2024).

Muitos profissionais que foram formados em uma era de interpretação manual de imagens agora precisam desenvolver competências em algoritmos de aprendizado de máquina, sistemas de geração automática de laudos e ferramentas de detecção de anomalias baseadas em IA (Jung; Stroszczynski; Jung, 2023).

A transição para um fluxo de trabalho mais dependente da tecnologia pode ser desafiadora, pois os radiologistas devem aprender a validar os achados gerados por IA sem comprometer seu julgamento clínico (Dickle, 2023). Sem um treinamento adequado, existe o risco de dependência excessiva da automação, o que pode levar a erros diagnósticos caso os sistemas de IA produzam falsos positivos ou falsos negativos (Mody; Dash; Mody, 2022).

Outro desafio na implementação é a adaptação dos fluxos de trabalho nos departamentos de radiologia. A introdução de sistemas de imagem digital, PACS e armazenamento em nuvem exige que os hospitais reestruturem seus processos operacionais (Bellens et al., 2024). Muitas instituições enfrentam resistência à mudança por parte dos profissionais de saúde, que estão acostumados aos fluxos de trabalho tradicionais da radiologia (Jales et al., 2024).

A transição da interpretação manual para sistemas automatizados envolve a re-

definição de protocolos, a reconfiguração de funções profissionais e a necessidade de lidar com preocupações sobre a substituição da expertise humana por decisões baseadas em máquinas (Santos; Campos, 2021). Para garantir uma adoção tranquila, os hospitais devem implementar estratégias de gerenciamento da mudança e garantir que a equipe esteja confortável em trabalhar com as novas tecnologias (Mesquita et al., 2023).

As considerações éticas também devem ser consideradas na implementação da radiologia baseada em IA. O uso de modelos de aprendizado de máquina para interpretar imagens médicas levanta preocupações sobre viés, responsabilidade e transparência (Dicle, 2023). Os algoritmos de IA são treinados em conjuntos de dados que podem não ser totalmente representativos de diferentes populações de pacientes, resultando em possíveis vieses na precisão diagnóstica entre grupos demográficos distintos (Kuwhara et al., 2024). Se um sistema de IA errar em um diagnóstico, quem deve ser responsabilizado - o radiologista, o desenvolvedor do software ou o hospital? Esses dilemas éticos precisam ser abordados por meio de regulamentações e governança transparente da IA para garantir que as ferramentas automatizadas de radiologia sejam confiáveis e justas (Abuzaid et al., 2022).

Outra preocupação importante é a confiança do paciente e a aceitação dos diagnósticos assistidos por IA. Embora a automação melhore a eficiência, alguns pacientes podem hesitar em confiar em diagnósticos gerados por máquinas em vez de avaliações feitas por especialistas humanos (Gong et al., 2023). As instituições de saúde devem garantir que os radiologistas permaneçam no centro do processo diagnóstico e que a IA funcione como uma fer-

amenta de suporte, e não como um substituto (Urhu et al., 2023).

A transparência na tomada de decisões da IA, juntamente com uma comunicação clara entre os profissionais de saúde e os pacientes, é essencial para manter a confiança nos avanços da radiologia digital (Jung; Stroszczynski; Jung, 2023).

Embora a transformação digital da radiologia ofereça benefícios significativos, sua implementação enfrenta desafios relacionados a limitações financeiras, infraestrutura inadequada, custos de conformidade regulatória, lacunas de treinamento, interrupções no fluxo de trabalho e questões éticas (Mody; Dash; Mody, 2022).

Superar esses obstáculos exige uma abordagem multidisciplinar, envolvendo profissionais de saúde, formuladores de políticas públicas e desenvolvedores de tecnologia (Mesquita et al., 2023). Ao enfrentar essas barreiras por meio de investimentos estratégicos, programas de capacitação e regulamentações éticas para IA, os hospitais podem aproveitar ao máximo o potencial da radiologia digital para melhorar o atendimento aos pacientes e a precisão diagnóstica (Dicle, 2023).

CONCLUSÃO

Os avanços tecnológicos na radiologia hospitalar, ao longo das últimas décadas, evidenciam a capacidade de inovação e adaptação do campo médico para atender às demandas de diagnósticos cada vez mais precisos. A incorporação de modalidades de imagem de alta resolução, a integração de algoritmos de inteligência artificial e a adoção de sistemas de armazenamento e compartilhamento em nuvem trouxeram melhorias significativas na detecção, monitoramento e tratamento de doenças.

REFERÊNCIAS

Esse cenário também impulsionou mudanças relevantes no fluxo de trabalho dos radiologistas, exigindo atualização constante dos profissionais e possibilitando tomadas de decisão mais ágeis, beneficiando principalmente populações que antes tinham acesso limitado aos serviços de saúde.

Por outro lado, a implementação de tecnologias de ponta não ocorre sem desafios. Em muitos contextos, as limitações financeiras e de infraestrutura tornam-se obstáculos expressivos para a instalação e manutenção de equipamentos avançados, bem como para a adequação dos sistemas de TI.

A integração de ferramentas de IA e o consequente reposicionamento do radiologista no processo diagnóstico levantam preocupações éticas, referentes à responsabilidade em casos de erros e a possíveis vieses nos algoritmos. Essa evolução requer, portanto, uma abordagem multidisciplinar que envolva investimento governamental, colaboração interprofissional e a definição de normativas claras quanto à privacidade e à segurança de dados.

Sob a ótica clínica, a contínua busca pelo equilíbrio entre a adoção de recursos inovadores e a sustentabilidade do sistema de saúde demonstra o caráter dinâmico da radiologia moderna. As conquistas atuais, quando aliadas à formação continuada dos profissionais e a políticas públicas que favoreçam a disseminação segura da tecnologia, sinalizam um futuro em que a medicina de precisão será ainda mais acessível. Nesse contexto, a radiologia hospitalar permanece como um pilar fundamental, ampliando suas fronteiras diagnósticas e contribuindo para a melhoria consistente do cuidado ao paciente em escala global.

ABUZAID, Mohamed M. et al. Assessment of the willingness of radiologists and radiographers to accept the integration of artificial intelligence into radiology practice. *Academic Radiology*, v. 29, n. 1, p. 87-94, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1076633220305535>. Acesso em 14 fev. 2025.

ALVES, Sabrina Martins et al. Uso de Inteligência Artificial para interpretação de tomografias e raio x: comment crítica. *Brazilian Journal of Development*, v. 10, n. 9, p. e73146-e73146, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilian-journals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/73146>. Acesso em 10 mar. 2025.

ARYA, Sanjay. Evolution of the Radiologic Technology Profession. *Radiologic Technology*, v. 93, n. 5, 2022. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnI=00338397&casa=N&AN=156500258&h=CI39umbnZA5i>

AVvS1xP7N26jduZO5AKvqnYF2NVgET-n805WvybJcn8rxNwN0%2BHQ1wkZ8k kB3RycEmWVCBWF4Ow%3D%3D&crl=c. Acesso em 10 mar. 2025.

BELLENS, Simon et al. Machine learning in industrial X-ray computed tomography—a review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, v. 51, p. 324-341, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581724000634>. Acesso em 10 mar. 2025.

DICLE, Oğuz. Artificial intelligence in diagnostic ultrasonography. *Diagnostic and Interventional Radiology*, v. 29, n. 1, p. 40, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10679601/>. Acesso em 02 mar. 2025.

DO ROSÁRIO, Débora Jesus; NETO, Rogério Costa; PINTO, Emanuel Vieira. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA RADIOLOGIA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 5, p. 2938-2952, 2024. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/14009>. Acesso em 02 mar. 2025.

GONG, Zhong-jing et al. Diagnostic value of artificial intelligence-assistant diagnostic system combined with contrast-enhanced ultrasound in thyroid TI- RADS 4 nodules. **Journal of Ultrasound in Medicine**, v. 42, n. 7, p. 1527-1535, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jum.16170>. Acesso em 19 mar. 2025.

JALES, Davi Nogueira et al. Avanços no Diagnóstico e Tratamento do Acidente Vascular Cerebral na Urgência: Uma revisão da literatura. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 12, p. 315-327, 2024. Disponível em: <https://bjihs.emnuvens.com.br/bjihs/article/view/4533>. Acesso em 11 mar. 2025.

JUNG, Ernst Michael; STROSZCZYNSKI, Christian; JUNG, Friedrich. Advanced multimodal imaging of solid thyroid lesions with artificial intelligence- optimized B-mode, elastography, and contrast-enhanced ultrasonography parametric and with perfusion imaging: Initial results. **Clinical Hemorheology and Microcirculation**, v. 84, n. 2, p. 227-236, 2023. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3233/CH-239102>. Acesso em 13 mar. 2025.

KELLY, Brendan S. et al. Radiology artificial intelligence: a systematic review and evaluation of methods (RAISE). **European radiology**, v. 32, n. 11, p. 7998- 8007, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-022-08784-6>. Acesso em 10 mar. 2025.

KUWAHARA, Takamichi et al. Current status of artificial intelligence analysis for the treatment of pancreaticobiliary diseases using endoscopic ultrasonography and endoscopic retrograde cholangiopancreatography. **DEN open**, v. 4, n. 1, p. e267, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/deo2.267>. Acesso em 21 fev. 2025.

MARIANO, Orçal José Netto Martins et al. AVANÇOS NA RADIOLOGIA PEDIÁTRICA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE DIAGNÓSTICO NÃO INVASIVO EM CRIANÇAS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 1, p. 2144-2153, 2025. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/18017>. Acesso em 10 mar. 2025.

MESQUITA, Claudio Tinoco et al. Cintilografia de Perfusion Miocárdica: aplicações e avanços recentes. **Medicina, Ciência e Arte**, v. 2, n. 3, p. 61-79, 2023. Disponível em: <https://medicinacienciaarte.com.br/revista/article/view/69>. Acesso em 19 mar. 2025.

MIKA, Sławomir et al. Artificial intelligence-supported ultrasonography in anesthesiology: Evaluation of a patient in the operating theatre. **Journal of Personalized Medicine**, v. 14, n. 3, p. 310, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4426/14/3/310>. Acesso em 12 mar. 2025.

MODY, Rohit; DASH, Debabrata; MODY, Deepanshu. Inteligência artificial na fisiologia coronária: onde estamos?. **J Transcat Intervent**, v. 30, p. -, 2022. Disponível em: <https://jotci.org/pt-br/article/inteligencia-artificial-na-fisiologia-coronaria-onde-estamos/>. Acesso em 25 fev. 2025.

MOURA, Hesrom Fernandes Serra et al. Avanços no diagnóstico por imagem: Alternativa de precisão e acurácia. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34805-34821, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/11210>. Acesso em 12 mar. 2025.

SANTOS, Natanael Matos; CAMPOS, Cassio Fabian Sarquis. Inteligência artificial aplicada à otimização do diagnóstico por imagem. **SILVA R, Neto BRS. Práticas preventivas e práticas curativas na medicina. Ponta Grossa: Atena, 2021.** Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/2uywlyzinbdkdho6q3zezptd4e/access/wayback/> <https://files.osf.io/v1/resources/n3deh/providers/osfstorage/609ff8753b-0d2c0051730cee?action=download&direct&version=1>. Acesso em 12 mar. 2025.

SCHARF, Jonathan et al. Bridging nano-and microscale X-ray tomography for battery research by leveraging artificial intelligence. **Nature Nanotechnology**, v. 17, n. 5, p. 446-459, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41565-022-01081-9>. Acesso em 19 mar. 2025.

SILVA, Daniel Augusto Carlos et al. A aplicação da tomografia computadorizada no diagnóstico precoce de câncer de pulmão: revisão sistemática. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 6, p. 1985-1991, 2024. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/14226>. Acesso em 10 fev. 2025.

URHUT, Marinela-Cristiana et al. Diagnostic performance of an artificial intelligence model based on contrast-enhanced ultrasound in patients with liver lesions: a comparative study with clinicians. **Diagnostics**, v. 13, n. 21, p. 3387, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4418/13/21/3387>. Acesso em 21 fev. 2025.

VON ENDE, Elizabeth et al. Artificial intelligence, augmented reality, and virtual reality advances and applications in interventional radiology. **Diagnostics**, v. 13, n. 5, p. 892, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4418/13/5/892>. Acesso em 16 mar. 2025.