XXIX SEPE
Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão
Teaching, Research and Extension Symposium
Presente e futuro:
uso consciente da Inteligência Artificial
Today and tomorrow:
the conscious use of Artificial Intelligence
E-book
ISBN 978-65-5852-415-1
20 A 22 DE OUTUBRO DE 2025
OCTOBER 20th to 22nd, 2025
UFN Universidade Franciscana Franciscan University
70 ANOS

DOI: https://doi.org/10.48195/sepe2025.29544

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO CÂNCER DE PÂNCREAS: TRANSFORMANDO O CUIDADO ONCOLÓGICO

Júlia Kubaszewski Nunes[1]*, Éricles Forrati Machado[2], Maria Luísa Damiani[3], Thuany Lura Teixeira Bandeira[4], Aline Ferreira Ourique[5]

RESUMO

O câncer de pâncreas é uma das neoplasias mais letais da atualidade, caracterizado por progressão rápida, diagnóstico frequentemente tardio e taxas de sobrevida inferiores a 12%. Esses fatores reforçam a urgência de novas estratégias que superem as limitações das terapias convencionais e dos métodos diagnósticos tradicionais. Entre as inovações recentes, a inteligência artificial (IA) tem se destacado como ferramenta capaz de integrar diferentes fontes de informação e apoiar decisões clínicas em múltiplas etapas do cuidado oncológico. Este estudo revisou a literatura sobre aplicações da IA no câncer de pâncreas. A pesquisa foi baseada em uma revisão de artigos indexados no PubMed, selecionados por critérios específicos. Foram analisados dez estudos que exploraram diferentes aplicações: segmentação automática do pâncreas em exames de imagem, detecção precoce de lesões, diferenciação entre massas benignas e malignas, previsão de risco de recidiva, análise de composição corporal e quantificação objetiva da resposta tumoral. Os resultados demonstraram que modelos baseados em *deep learning* e *machine learning* apresentam desempenho superior aos métodos tradicionais, integrando dados clínicos, laboratoriais e patológicos com maior precisão e reprodutibilidade. Apesar dos avanços, permanecem desafios como a necessidade de validação multicêntrica, a padronização de protocolos e a interpretabilidade dos algoritmos. Ainda assim, a IA se configura como tecnologia promissora para transformar o diagnóstico, o acompanhamento e o tratamento do câncer de pâncreas, com impacto potencial na sobrevida e na qualidade de vida dos pacientes.

Palavras-chave: Diagnóstico, Prognóstico, Terapia personalizada.

[1] Júlia Kubaszewski Nunes, Acadêmica do Curso de Biomedicina, Universidade Franciscana. E-mail: julia.knunes@ufn.edu.br ORCID: 0009-0009-2963-3200

[2] Éricles Forrati Machado, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Universidade Franciscana. E-mail: ericles.forrati@ufn.edu.br ORCID: 0000-0002-6764-6995

[3] Maria Luísa Damiani, Acadêmica do Curso de Biomedicina, Universidade Franciscana. E-mail: maria.damiani@ufn.edu.br ORCID: 0009-0009-9312-5761

[4] Thuany Lura Teixeira Bandeira, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Universidade Franciscana. E-mail: thuany.bandeira@ufn.edu.br ORCID: 0009-0008-2585-6805

[5]Aline Ferreira Ourique, Docente do Curso de Biomedicina e do Programa de Pós- Graduação em Nanociências, Universidade Franciscana. E-mail: aline.ourique@ufn.edu.br ORCID: 0000-0003-0828-774X

1. INTRODUÇÃO

As neoplasias resultam da divisão celular anormal, sendo responsáveis por elevado número de óbitos no mundo (Cai *et al*., 2021). Segundo o Instituto Nacional de Câncer (Brasil, 2022), o número estimado de casos novos de câncer de pâncreas no Brasil, para cada ano do triênio de 2023 a 2025, é cerca de 10 mil casos, correspondendo ao risco estimado de 5,07 casos por 100 mil habitantes. A agressividade e a alta taxa de mortalidade deste câncer têm impulsionado a busca por alternativas diagnósticas e terapêuticas mais eficazes e menos invasivas.

O desenvolvimento do câncer de pâncreas geralmente ocorre de forma silenciosa, com sintomas inespecíficos nas fases iniciais, o que dificulta a detecção precoce e compromete as chances de cura (Kuiava; Chielle, 2018). O tabagismo responde por cerca de 20% dos casos e o histórico familiar também representa fator de risco relevante (Zeng *et al*., 2023). Apesar de a cirurgia ser a única alternativa curativa, apenas 15 a 20% dos pacientes são elegíveis no momento do diagnóstico, e intervenções radicais podem comprometer funções pancreáticas essenciais (INCA, 2024; Pereira, 2020). Assim, mesmo com avanços em quimioterapia e radioterapia, a sobrevida permanece limitada, reforçando a necessidade de novas abordagens para melhorar a perspectiva dos pacientes.

Neste cenário, a Inteligência Artificial (IA) tem se destacado no manejo do câncer de pâncreas, com aplicações que abrangem desde o diagnóstico precoce até a personalização de terapias. Em especial, no contexto do câncer de pâncreas, modelos de *deep learning* aplicados a exames de imagem aumentam a precisão na detecção de lesões e no estadiamento, enquanto a análise digital de biópsias contribui para a identificação de fatores prognósticos relevantes. A IA também tem sido utilizada no planejamento cirúrgico, na predição de resposta a diferentes abordagens terapêuticas e no desenvolvimento de novos esquemas farmacológicos. De maneira geral, essa tecnologia representa um recurso promissor no combate ao câncer de pâncreas, com impacto potencial na sobrevida e qualidade de vida dos pacientes. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre o papel da IA no combate ao câncer de pâncreas.

2. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado por meio de uma breve revisão de literatura. Para compor essa revisão foram utilizados artigos indexados nas bases de dados do PubMed empregando os descritores "*artificial intelligence and pancreatic cancer*". Para seleção e análise dos artigos, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão. Dos artigos previamente selecionados, foram conferidos os resumos. Em caso de dúvidas, foi realizada a leitura do artigo na íntegra.

2.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Foram selecionados os artigos originais, que não fossem revisão de literatura, que estivessem escritos na língua inglesa, publicados entre os anos de 2020 e 2025, e que mencionassem a utilização da inteligência artificial no combate ao câncer de pâncreas.

2.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Artigos de revisão de literatura, artigos que não estivessem escritos na língua inglesa, publicados antes do ano de 2020, e que não propusessem o emprego da inteligência artificial no combate ao câncer de pâncreas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos descritores empregados, foram encontrados 47 artigos publicados no PubMed. Desse total, 37 artigos foram excluídos baseados nos critérios de exclusão descritos

na metodologia. Sendo assim, foram selecionados e analisados 10 artigos para compor esta revisão, os quais são apresentados na Tabela 1, que descreve autores, ano de publicação, objetivos principais, aplicações da inteligência artificial e impacto alcançado.

Tabela 1 - Artigos selecionados para a revisão listados em ordem cronológica

Autoria e ano de publicação	Objetivo Principal	Aplicação da IA no estudo	Impacto alcançado
Liu *et al*., 2025	Avaliar se modelos de inteligência artificial aplicados a exames de sangue rotineiros conseguem prever precocemente o câncer de pâncreas, antes do diagnóstico clínico.	Foram testados múltiplos modelos de *machine learning* (incluindo *deep learning*); usaram dados laboratoriais de rotina (hemograma, bioquímica etc.) coletados anos antes do diagnóstico; o modelo conseguiu identificar pacientes com alto risco de câncer de pâncreas com desempenho superior ao rastreamento convencional.	A validação foi feita com dados clínicos e laboratoriais reais de pacientes, comparando previsões da IA com o diagnóstico confirmado de câncer de pâncreas em registros médicos.
Mukherjee *et al*., 2025	Desenvolver e validar modelo de *deep learning* para segmentação automática do pâncreas em Tomografia Computadorizada (TC).	Modelo de segmentação automática do pâncreas em tomografias computadorizadas, utilizando CNN (3D nnU-Net), treinado em 3031 exames e validado em dataset multi-institucional.	Segmentar pâncreas para auxiliar na detecção precoce de câncer e estudo de biomarcadores.
Haochen *et al*., 2024	Promover o diagnóstico clínico de lesões sólidas no pâncreas por meio do desenvolvimento de um modelo multimodal de IA	Integração de imagens de ultrassonografia endoscópica com dados clínicos em modelo conjunto.	Diagnósticos confirmados por biópsia/cirurgia e critérios clínicos oficiais.
Janssen *et al.*, 2024	Desenvolver e validar o primeiro modelo automatizado de segmentação por IA para quantificar objetivamente o câncer pancreático residual após tratamento neoadjuvante (NAT).	Uso de rede U-net com arquitetura DenseNet 161 para segmentação de lâminas histopatológicas digitalizadas. Incluiu técnicas de aumento e normalização de cor para melhorar desempenho.	Análise de 528 lâminas de pacientes tratados, identificando estruturas histológicas (ductos, tecido canceroso etc.) para medir resposta tumoral de forma objetiva
Saraiva *et al*., 2024	Criar rede neural para identificar e diferenciar lesões pancreáticas em ultrassom endoscópico (cistos mucinosos x não mucinosos; adenocarcinoma x tumor neuroendócrino).	Rede treinada com 126 mil imagens de 378 exames em 4 centros internacionais. Obteve 99% de acurácia para cistos e 94% para tumores sólidos.	Confirmação realizada por exames histopatológicos: biópsias (agulha fina ou grossa), análise cirúrgica, citologia e análise de fluido.
Cao *et al*., 2023	Desenvolver e validar um modelo de *deep learning* aplicado a tomografias computadorizadas (TC) sem contraste para detecção precoce do câncer de pâncreas.	Rede neural profunda treinada em 3 grandes coortes multicêntricas; modelo detectou câncer de pâncreas em exames de TC até 3 anos antes do diagnóstico clínico;	A validação foi feita comparando os achados do modelo com diagnóstico confirmado de câncer de pâncreas em registros médicos e histopatologia.

		superou métodos convencionais de triagem por imagem.	
Tang *et al.*, 2023	Construir um sistema de IA baseado em aprendizado profundo para auxiliar no diagnóstico de massas pancreáticas (benignas ou malignas) usando ultrassom endoscópico com contraste (CH-EUS) em tempo real.	Sistema com duas etapas: Modelo 1: segmentação em tempo real das imagens de CH-EUS usando *UNet*$^{++}$ com backbone *ResNet-50*. Modelo 2: classificação de massas benignas e malignas com algoritmo *Random Forest* baseado em parâmetros de curvas intensidade-tempo (TIC).	Testes clínicos prospectivos demonstraram alta precisão diagnóstica (93,8%), sensibilidade (90,9%) e especificidade (100%) ao comparar com endoscopistas humanos.
Wang *et al*., 2022	Investigar se inteligência artificial aplicada a imagens de biópsias de tecido pancreático pode identificar padrões morfológicos capazes de prever a evolução e o prognóstico do adenocarcinoma ductal pancreático.	Foi desenvolvido um modelo de *deep learning* aplicado em lâminas digitalizadas de histopatologia. A IA identificou assinaturas morfológicas associadas à progressão tumoral e sobrevida. O sistema superou a avaliação tradicional baseada apenas em critérios histológicos manuais.	A validação foi feita com amostras reais de tecido pancreático (biópsias e ressecções cirúrgicas), correlacionando os achados da IA com dados clínicos e de sobrevida dos pacientes.
Li *et al*., 2021	Criar modelos preditivos de risco de recidiva do adenocarcinoma ductal pancreático após ressecção radical.	Seis algoritmos de *machine learning* (RF, SVM, GBM, NN, KNN) usando dados clínicos e patológicos.	Predição de recaída em 1 e 2 anos para guiar acompanhamento personalizado.
Paris *et al.*, 2020	Criar uma estrutura automatizada para análise de composição corporal (músculos e tecidos adiposos) a partir de tomografias computadorizadas, visando maior eficiência e escalabilidade.	Rede neural convolucional (U-Net) adaptada para segmentação de músculos esqueléticos e diferentes compartimentos de gordura (IMAT, VAT, SAT) a partir de cortes na altura da terceira vértebra lombar.	Avaliação em 893 pacientes, com diversas condições clínicas, comparando segmentações automáticas e manuais via coeficiente de similaridade Dice.

Fonte: o autor

3.1 DETECÇÃO PRECOCE E DIAGNÓSTICO POR IMAGEM

A detecção precoce do câncer de pâncreas, permanece um dos maiores desafios da oncologia, dada a natureza assintomática da doença em estágios iniciais e sua rápida progressão para estados irressecáveis. A taxa de sobrevida em cinco anos, que varia entre 10% e 12%, reflete a predominância de diagnósticos tardios, quando as opções terapêuticas estão limitadas a cuidados paliativos (Mukherjee *et al*., 2025; Tang *et al*., 2023). Nesse contexto, a inteligência artificial (IA) desponta como ferramenta promissora para revolucionar o rastreamento e o diagnóstico por imagem, permitindo a identificação de biomarcadores sutis e a intervenção em estágios potencialmente curáveis.

Exames de tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM) são amplamente utilizadas na prática clínica, mas apresentam limitações significativas para detecção do câncer de pâncreas em fases pré-diagnósticas. O pâncreas, em muitos casos, apresenta aspecto normal em exames de indivíduos de alto risco, o que dificulta a identificação de lesões iniciais. O Consórcio Internacional de Rastreamento de Câncer de Pâncreas (CAPS) demonstrou que quase metade dos pacientes não exibe anormalidades detectáveis em exames de imagem até um ano antes do diagnóstico clínico, reforçando a necessidade de abordagens inovadoras (Tang *et al*., 2023; Mukherjee *et al*., 2025).

No campo da segmentação de imagens, Mukherjee e colaboradores (2025) apresentaram um modelo de *deep learning* baseado em 3D nnU-Net, desenvolvido com o maior conjunto de dados de instituição única até o momento (n = 3031 TCs). O modelo alcançou Coeficiente de Similaridade de Dados (*Dice Similarity Coefficient* – DSC) médio de 0,94 e distância de Hausdorff de 1,70 mm no teste interno, resultados superiores aos de modelos anteriores (DSCs de 0,65 a 0,91). A validação em conjunto de dados multi-institucional (AbdomenCT-1K, n = 585) confirmou sua robustez, com DSC de 0,96 e concordância quase perfeita (Coeficiente de Correlação de Concordância [CCC] = 0,98). Essa precisão é crucial para a extração de características radiômicas, capazes de identificar alterações sutis em pâncreas com aparência normal até um ano antes do diagnóstico clínico. Além da oncologia, a segmentação precisa tem implicações para doenças endócrinas e exócrinas, como diabetes e pancreatite crônica, ao permitir quantificação volumétrica e avaliação de assinaturas radiômicas.

Além da segmentação pancreática em TC contrastada, também foram propostas estratégias inovadoras para exames de TC sem contraste. Nesse sentido, Cao e colaboradores (2023), que desenvolveram o sistema *Pancreatic Cancer Detection with Artificial Intelligence (PANDA)*, voltado para TCs sem contraste. Em validação multicêntrica com 6.239 pacientes, o modelo alcançou AUC entre 0,986–0,996, com sensibilidade de 92,9% e especificidade de 99,9%. Notavelmente, o desempenho foi não inferior ao da TC contrastada. Em tumores iniciais (T1, < 2 cm), a sensibilidade foi de 92,2%, demonstrando aplicabilidade clínica para detecção precoce. Além disso, em estudo de cenário real com mais de 20.000 exames, o *PANDA* identificou lesões não detectadas previamente, incluindo um caso de adenocarcinoma ductal pancreático (ADP) em estágio inicial, com baixíssima taxa de falsos positivos (1/1000 exames), característica essencial para rastreamento populacional.

Enquanto os avanços em TC ampliam a sensibilidade na detecção de lesões iniciais, a ultrassonografia endoscópica (EUS) tem se mostrado fundamental para a caracterização detalhada de massas pancreáticas. Tang e colaboradores (2023) desenvolveram o sistema CH-EUS MASTER, que integra *deep learning* e algoritmos de Random Forest. O primeiro módulo, baseado em *UNet++* e *ResNet-50*, foi capaz de segmentar massas em tempo real, com acurácia de 87,8%. Já o segundo módulo analisou curvas tempo-intensidade (TIC) para diferenciar lesões benignas e malignas, atingindo sensibilidade de 100% e especificidade de 75%. De forma inovadora, o sistema também guiou a aspiração por agulha fina (EUS-FNA), gerando termogramas que indicaram regiões ideais para punção. Em ensaio clínico, a acurácia diagnóstica da primeira passagem para malignidades foi de 80% no grupo assistido pela IA, contra apenas 33,3% no grupo controle.

Nesse mesmo campo, Saraiva e colaboradores (2024) avançaram na aplicação da IA em EUS, desenvolvendo a primeira Rede Neural Convolucional (*Convolutional Neural Network* – CNN) global para diferenciar neoplasias císticas pancreáticas (PCN) e lesões sólidas pancreáticas (PSL). O estudo multicêntrico e transatlântico utilizou 126.000 imagens de 378 exames, atingindo acurácia acima de 99% para PCNs e 94% na distinção entre adenocarcinoma ductal pancreático (P-DAC) e tumores neuroendócrinos pancreáticos (P-NET). A abordagem

multicêntrica e o uso de diferentes equipamentos reduziram viés demográfico e aumentaram a generalizabilidade, além de indicar viabilidade para aplicação em tempo real durante os exames.

Paralelamente às aplicações em imagem, modelos de *machine learning* (ML) também têm mostrado potencial para integrar variáveis clínicas, laboratoriais e patológicas. Liu e colaboradores (2025) desenvolveram o modelo PAM (*Penalized Regression + Accelerated Oblique Random Survival Forest*), testado inicialmente em adenocarcinoma duodenal, mas metodologicamente aplicável ao câncer de pâncreas. O modelo utilizou dez algoritmos diferentes e métodos Wrapper para selecionar preditores entre 53 variáveis clínicas, resultando em C-indexes entre 0,734 e 0,747 em três coortes externas. Entre os 17 preditores mais relevantes, destacaram-se biomarcadores como antígeno carboidrato 19-9 (CA19-9) e antígeno carcinoembrionário (CEA), parâmetros inflamatórios, invasão de órgãos adjacentes e número de linfonodos positivos. A inclusão desses fatores demonstra o potencial da IA para construir modelos de risco aplicáveis a pacientes com câncer de pâncreas, contribuindo para decisões clínicas e planejamento terapêutico.

Seguindo essa linha de integração, Haochen e colaboradores (2024) desenvolveram o modelo *joint-AI*, que integra imagens de EUS a dados clínicos, alcançando AUC de 0,996 no conjunto interno e manteve desempenho consistente em validações externas. O modelo demonstrou especial impacto em endoscopistas menos experientes, cuja acurácia diagnóstica saltou de 69% para 90% com o auxílio da IA. Embora não tenha aumentado significativamente a acurácia de especialistas, o sistema forneceu explicações interpretáveis (*Grad-CAM e SHAP*), reduzindo o ceticismo e aumentando a aceitação clínica. Esses achados reforçam a importância da transparência e da interação humano-IA para a adoção na prática médica.

Além dos avanços em imagem, também começam a surgir contribuições relevantes a partir de biomarcadores moleculares. Wang *et al*. (2022) desenvolveram a assinatura prognóstica derivada de inteligência artificial (*Artificial Intelligence-Derived Prognostic Signature* – AIDPS), baseada na análise de expressão gênica de 1280 pacientes em dez coortes multicêntricas. Embora concebido como modelo prognóstico, o AIDPS identificou nove genes capazes de estratificar de forma robusta o risco de pacientes com adenocarcinoma ductal pancreático, superando características clínico patológicas tradicionais como idade, estágio TNM e mutações em KRAS ou TP53. Essa abordagem reforça a importância de biomarcadores derivados de IA para complementar a detecção precoce, uma vez que perfis genômicos de alto risco poderiam, no futuro, direcionar pacientes para monitoramento por imagem mais intensivo ou inclusão em protocolos de imunoterapia.

De forma a consolidar esses avanços individuais, a metanálise conduzida por Li e colaboradores (2023), reuniu 20 estudos envolvendo 10.000 pacientes. Os modelos de *deep learning* para detecção do câncer de pâncreas em TC apresentaram sensibilidade agrupada de 0,90, especificidade de 0,92 e AUC de 0,96. Apesar da heterogeneidade observada entre os estudos, os resultados corroboram a eficácia da IA como ferramenta de apoio diagnóstico, com alto desempenho e potencial para reduzir taxas de falsos negativos e exames desnecessários.

3.2 PROGNÓSTICO, MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO TERAPÊUTICA

No âmbito prognóstico, Li e colaboradores (2021) desenvolveram e validaram modelos de *machine learning* para previsão do risco de recidiva em 1 e 2 anos após a ressecção radical do adenocarcinoma ductal pancreático. A partir de uma coorte *multi-institucional* de 262 pacientes, foram testados diferentes algoritmos, incluindo *Random Forest* (RF), *Support Vector Machine* (SVM), *Gradient Boosting Machine* (GBM), *Neural Network* (NN), K-Nearest

Neighbor (KNN) e regressão logística (LR). O modelo RF apresentou desempenho notável no treinamento, alcançando acurácia de 78,4% e uma Área Sob a Curva da Característica de Operação do Receptor (*Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve* – AUROC) de 0,834 para previsão de recidiva em 1 ano, e acurácia de 95,1% com AUROC de 0,998 para 2 anos. Na validação externa, o SVM apresentou melhor desempenho para 1 ano (AUROC = 0,733) e o KNN para 2 anos (AUROC = 0,689). Características como status linfonodal, diferenciação tumoral, invasão vascular e níveis séricos de CA19-9 emergiram como variáveis preditivas centrais. Esses achados reforçam a capacidade da IA em modelar relações não lineares complexas, superando análises estatísticas convencionais e oferecendo subsídios para vigilância personalizada.

No campo da composição corporal, Paris e colaboradores (2020) desenvolveram a rede neural convolucional *Automated Muscle and Adipose Tissue Computerized Analysis* (*AutoMATiCA*), voltada à análise automatizada de tomografias computadorizadas da região da terceira vértebra lombar. O modelo apresentou excelente acurácia de segmentação, com Coeficiente de Similaridade de Dados (DSC) acima de 0,97 para músculo, tecido adiposo visceral (VAT), tecido adiposo subcutâneo (SAT) e superior a 0,88 para tecido adiposo intermuscular (IMAT). Além da precisão, a análise de uma única TC levou aproximadamente 350 milissegundos, destacando a eficiência da ferramenta. Por ser de código aberto e apresentar interface acessível, o *AutoMATiCA* permite estratificação de risco baseada em sarcopenia e acúmulo de gordura, monitoramento objetivo do estado nutricional e metabólico ao longo do tratamento, além de avaliação da resposta terapêutica por meio da detecção precoce da perda de massa muscular e gordura.

Na patologia digital, Janssen e colaboradores (2024) apresentaram o modelo *International Study Group of Pancreatic Pathologists* (ISGPP), o primeiro sistema de segmentação automatizada para quantificar o câncer pancreático residual (RPC) em espécimes de ressecção após terapia neoadjuvante. O modelo foi treinado em uma ampla base de dados (528 pacientes, 14 centros, sete países) e demonstrou desempenho robusto, com pontuação F1 agrupada de 0,78 em diferentes scanners. Essa abordagem objetiva supera a subjetividade dos sistemas tradicionais de escore de resposta tumoral, marcados por baixa concordância interobservador, e estabelece uma base quantitativa para comparar regimes neoadjuvantes, guiar terapias adjuvantes e correlacionar quantificação de RPC com sobrevida.

3.3 IMPACTOS ALCANÇADOS COM A APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os estudos revisados evidenciam que a aplicação da IA tem proporcionado impactos significativos no diagnóstico e prognóstico do câncer de pâncreas, ampliando a precisão e a aplicabilidade clínica das ferramentas disponíveis. Modelos multimodais, como o *joint-AI* de Cui *et al*. (2024), mostraram que a integração de imagens de ultrassonografia endoscópica (EUS) com dados clínicos e laboratoriais (ex.: CA19-9, CEA, parâmetros inflamatórios) elevou a acurácia diagnóstica, principalmente em profissionais menos experientes. De forma semelhante, Liu *et al*. (2025) incorporaram variáveis como invasão vascular, linfonodos positivos e níveis séricos em modelos preditivos de recidiva, contribuindo para uma estratificação de risco mais individualizada dos pacientes.

Na área de radiômica, Mukherjee *et al*. (2025) e Cao *et al*. (2023) mostraram que a IA pode antecipar o diagnóstico em até um ano, identificando padrões invisíveis ao olho humano. Já Tang *et al*. (2023) evidenciaram que a análise de perfusão em CH-EUS permite diferenciar lesões benignas e malignas com maior segurança.

Outros impactos incluem a quantificação objetiva do câncer residual por patologia digital (Janssen *et al*., 2024) e a avaliação automatizada da composição corporal (Paris *et al*., 2020), possibilitando análises prognósticas mais confiáveis.

Apesar desses avanços, ainda são necessários estudos multicêntricos e prospectivos, além da padronização de protocolos. A próxima etapa é integrar dados genômicos e biomarcadores líquidos, ampliando a capacidade da IA em fornecer diagnósticos mais precoces e condutas terapêuticas personalizadas.

3.4 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos avanços promissores, os estudos revisados apontam limitações que ainda dificultam a plena aplicação clínica da IA no câncer de pâncreas. Na segmentação pancreática em TC, Mukherjee *et al*. (2025) observaram erros em casos de anatomia complexa, como atrofia gordurosa ou sobreposição de estruturas, indicando a necessidade de refinamentos algorítmicos. Na EUS, tanto Tang *et al*. (2023) quanto Saraiva *et al*. (2024) ressaltaram que os modelos precisam ser validados em amostras maiores, com diferentes tipos de lesões e equipamentos, para ampliar sua generalização.

Nos modelos preditivos, Liu *et al*. (2025) destacaram limitações ligadas ao uso de dados retrospectivos e à ausência de variáveis prognósticas completas, enquanto Li *et al*. (2023) apontaram a heterogeneidade metodológica e a necessidade de padronização de protocolos como barreiras centrais. Na composição corporal, Paris *et al*. (2020) chamaram atenção para a importância da padronização das imagens e validação em populações diversas e Janssen *et al*. (2024) demonstraram que diferenças entre scanners e colorações afetam a aplicabilidade na patologia digital.

Por fim, Cui *et al*. (2024) reforçaram o desafio da transparência e interpretabilidade dos modelos multimodais, além da urgência de ensaios clínicos prospectivos de maior escala. Em conjunto, os achados convergem para três necessidades fundamentais: validação multicêntrica em larga escala, padronização de protocolos de imagem e integração de dados moleculares e genômicos. Esses avanços serão determinantes para consolidar a IA como ferramenta de rotina, capaz de ampliar a detecção precoce, melhorar o prognóstico e guiar condutas terapêuticas personalizadas.

Além dos desafios técnicos e metodológicos, a aplicação da inteligência artificial no câncer de pâncreas levanta questões éticas relevantes. Entre elas destacam-se a proteção e privacidade dos dados dos pacientes, a necessidade de transparência nos algoritmos , a equidade no acesso às tecnologias, evitando que populações com menos recursos fiquem excluídas e a responsabilidade clínica frente a possíveis erros diagnósticos ou preditivos gerados pelos modelos. A incorporação ética da IA na prática oncológica dependerá, portanto, não apenas de avanços técnicos, mas também do estabelecimento de diretrizes regulatórias claras, de validação contínua em diferentes contextos e da manutenção da centralidade da decisão médica, garantindo que a tecnologia atue como suporte e não como substituição do julgamento clínico.

4. CONCLUSÃO

A revisão demonstra que a inteligência artificial tem se consolidado como ferramenta promissora no combate ao câncer de pâncreas, ampliando a precisão do diagnóstico precoce por imagem, fortalecendo o prognóstico por meio da integração de variáveis clínicas e

patológicas e proporcionando impactos concretos no monitoramento e avaliação terapêutica. Apesar das limitações atuais, como a heterogeneidade metodológica e a necessidade de validação multicêntrica, os avanços já obtidos indicam que a IA poderá transformar o manejo dessa neoplasia altamente letal, contribuindo para diagnósticos mais precoces, tratamentos mais personalizados e melhores perspectivas de sobrevida e qualidade de vida para os pacientes.

5. REFERÊNCIAS

CAI, J. *et al*. Advances in the epidemiology of pancreatic cancer: Trends, risk factors, screening, and prognosis. **Cancer Letters**, v. 520, n. 1, p. 1-11, 2021.

CAO, K. *et al*. Large-scale pancreatic cancer detection via non-contrast CT and *deep learning*. **Nature Medicine**, v. 29, p. 3033–3043, 2023.

HAOCHEN, C. *et al*. Diagnosing solid lesions in the pancreas with multimodal artificial intelligence: A randomized crossover trial. **JAMA Network Open**, v. 7, n. 7, p. 1-11, 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (Brasil). Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA, 2022. 160 p. ISBN 978-65-88517-10-9.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. Câncer de pâncreas. Disponível em: https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tipos/pancreas. Acesso em: 11 out. 2024.

JANSSEN, B. V. *et al*. Artificial intelligence-based segmentation of residual pancreatic cancer in resection specimens following neoadjuvant treatment (ISGPP-2) international improvement and validation study. **American Journal of Surgical Pathology**, v. 48, n. 9, p. 1108–1116, 2024.

KUIAVA, V. A.; CHIELLE, E. O. Epidemiology of pancreatic cancer in the southern region of Brazil: study of the information technology department database of the unified health system (DATASUS). Revista Atenção à Saúde, v. 16, n. 56, p. 32-39, 2018.

LI, X. *et al*. Multi-institutional development and external validation of *machine learning*-based models to predict relapse risk of pancreatic ductal adenocarcinoma after radical resection. **Journal of Translational Medicine**, v. 19, n. 281, p. 1-10, 2021.

LIU, X. *et al*. Development and external validation of a *machine learning*-based model to predict postoperative recurrence in patients with duodenal adenocarcinoma: a multicenter, retrospective cohort study. **BMC Medicine**, n. 98, p. 1-14, 2025.

MUKHERJEE, S. *et al*. Pancreas segmentation using AI developed on the largest CT dataset with multi-institutional validation and implications for early cancer detection. **Scientific Reports**, v. 15, n. 17096, p. 1-12, 2025.

PARIS, M. T. *et al*. Automated body composition analysis of clinically acquired computed tomography scans using neural networks. **Clinical Nutrition**, v. 39, n. 10, p. 3049- 3055, 2020.

PEREIRA, Larissa Dayana Airola. O potencial nutracêutico da curcumina da Curcuma longa Linn no tratamento do câncer. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

SARAIVA, M. M. *et al*. *Deep Learning* and Automatic Differentiation of Pancreatic Lesions in Endoscopic Ultrasound: A Transatlantic Study. **Clinical and Translational Gastroenterology**, v. 15, n. 11, p. 1-7, 2024.

TANG, A. *et al*. Contrast-enhanced harmonic endoscopic ultrasound (CH-EUS) MASTER: A novel *deep learning*-based system in pancreatic mass diagnosis. **Cancer Medicine**, v. 12, p. 7962–7973, 2023.

WANG, L. *et al*. Comprehensive machine-learning survival framework develops a consensus model in large-scale multicenter cohorts for pancreatic cancer. **eLife**, v. 11, p. 1-29, 2022.

ZENG, L. *et al*. Association of genetic risk and lifestyle with pancreatic cancer and their age dependency: a large prospective cohort study in the UK Biobank. BMC Medicine, v. 21, n. 489, p. 1-17, 2023.

Este trabalho de acesso aberto está licenciado sob Creative Commons - Atribuição (CC BY 4.0).