

Integração multimodal de dados em oncologia de precisão: revisão sistemática e perspectivas para implementação no Brasil

Ádria Costa Mota; Universidade Federal do Amazonas (UFAM); mota.adria@ufam.edu.br;
Diego Henrique de Oliveira Lima Bernardo; Universidade Federal do Amazonas (UFAM);
Emyly Victória Viana Nascimento; Universidade Federal do Amazonas (UFAM);
Jacqueline da Silva Crispim; Universidade Federal do Amazonas (UFAM);
Jenniffer Beatriz Costa de Souza; Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

1. Introdução

O câncer é um dos maiores desafios de saúde pública no Brasil. De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), são estimados cerca de 704 mil novos casos por ano no triênio 2023–2025, sendo mais incidentes os cânceres de pele não melanoma, mama, próstata, cólon e reto, pulmão e estômago.¹ O impacto da doença é heterogêneo entre as regiões, refletindo desigualdades socioeconômicas, variações no acesso a diagnóstico precoce e tratamento, além de diferenças na infraestrutura de serviços oncológicos.

A oncologia de precisão propõe personalizar o diagnóstico e o tratamento com base nas características individuais do paciente e do tumor. Nesse contexto, a integração multimodal de dados, envolvendo imagem médica, patologia digital, dados clínicos, genômicos e de biópsia líquida, busca ampliar a acurácia diagnóstica, estratificar riscos e otimizar condutas terapêuticas.^{2,3} Evidências demonstram que abordagens multimodais superam métodos isolados, por captarem de forma mais abrangente a complexidade biológica e clínica da neoplasia.

No Brasil, iniciativas como o Programa Genomas Brasil, que prevê o sequenciamento de 100 mil genomas até 2030, e a ampliação do Sistema de Informação de Câncer (SISCAN), que integra dados de rastreamento, diagnóstico e acompanhamento, representam bases estratégicas para a implementação de fluxos multimodais no Sistema Único de Saúde (SUS).^{4,5} Apesar disso, barreiras como falta de interoperabilidade, padronização de dados, capacitação profissional e regulamentação ainda limitam a adoção dessa abordagem.^{6,7}

O objetivo deste estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura nacional sobre integração multimodal de dados em oncologia, identificando aplicações já existentes, lacunas e oportunidades para a implementação no SUS.

2. Material e Métodos

O método desta revisão sistemática seguiu as diretrizes PRISMA 2020. A pesquisa foi realizada em agosto de 2025 e incluiu as bases de dados SciELO, LILACS, PubMed/MEDLINE, Scopus e Web of Science. A estratégia de busca utilizou descritores como "integração multimodal", "radiômica", "patologia digital", "inteligência artificial", "biópsia líquida", "genômica" e "ômicas", combinados com termos como "câncer", "oncologia" e "Brasil" ou "Brazilian".

Para serem incluídos, os estudos deveriam ser publicações originais, revisões sistemáticas, diretrizes ou relatos de experiência publicados entre 2015 e 2025. Eles deveriam ter sido realizados no Brasil ou contar com a participação de instituições brasileiras, além de integrar pelo menos dois tipos de dados, como de imagem, patologia, clínicos ou moleculares. Foram excluídas cartas, comentários, artigos teóricos sem aplicação clínica e estudos exclusivamente pré-clínicos.

O processo de seleção foi conduzido por dois revisores independentes. Na primeira etapa, eles realizaram a triagem por título e resumo, e na segunda, a leitura na íntegra dos artigos selecionados. As divergências entre os revisores foram resolvidas por consenso.

O fluxo de seleção resultou em 52 registros identificados nas bases de dados. Após a remoção de 11 duplicatas, restaram 41 artigos para a triagem. Deste total, 21 foram avaliados na íntegra, e, por fim, 14 estudos foram incluídos na revisão final.

3. Resultados e Discussão

A ampliação do SISCAN permitiu consolidar bancos de dados populacionais sobre câncer de mama e colo do útero, viabilizando análises integradas.⁵ Entretanto, a pesquisa nacional em oncologia de precisão ainda é limitada em número de estudos multicêntricos. Segundo o CETIC.br (2024), a adoção de inteligência artificial (IA) na saúde é incipiente, com limitações em infraestrutura, conectividade e capacitação profissional.⁶

Estudos brasileiros mostram que assinaturas radiômicas derivadas de tomografias computadorizadas têm potencial para prognóstico e estratificação de risco em câncer de pulmão, como observado por Ferreira Jr. et al. (2021).⁸ Revisões nacionais destacam a necessidade de padronização de protocolos, validação externa e integração desses dados aos fluxos clínicos.^{9,10}

A patologia digital tem sido gradualmente implementada em centros de referência, permitindo telepatologia e uso de IA para análises quantitativas. Experiências durante a pandemia de COVID-19 evidenciaram redução no tempo de diagnóstico e maior uniformidade dos laudos.¹¹ Faltam, no entanto, estudos que avaliem desempenho de algoritmos em diferentes populações e equipamentos no Brasil.

As diretrizes brasileiras para rastreamento de câncer de pulmão (2024) recomendam tomografia de baixa dose para populações de alto risco, integrando dados de tabagismo e

histórico clínico.¹² Em câncer de mama, Tomazelli et al. (2023) mostraram a viabilidade de integrar dados de mamografia e histopatologia no SISCAN, criando modelos populacionais para estratificação de risco.¹³

O Programa Genomas Brasil cria infraestrutura para integração de dados genômicos e clínicos em larga escala.⁴ Além disso, estudos nacionais apontam para o uso de biópsia líquida (ctDNA) associada a dados de imagem e clínicos no monitoramento de tumores gastrointestinais.¹⁴

A integração de dados no contexto da saúde no Brasil enfrenta uma série de desafios e, ao mesmo tempo, apresenta oportunidades promissoras. Entre as barreiras, destaca-se a fragmentação de dados entre os serviços públicos e privados, que carecem de interoperabilidade e padrões unificados, dificultando a criação de um panorama completo da saúde do paciente. Outros obstáculos incluem as limitações de infraestrutura para lidar com grandes volumes de dados (*big data*) e a escassez de estudos multicêntricos, que seriam essenciais para a coleta de informações em larga escala.

Por outro lado, existem diversas oportunidades que podem ser exploradas para superar essas barreiras. É possível utilizar bases de dados nacionais já existentes, como o SISCAN e o Registro Brasileiro de Câncer de Pele (RBCP), para consolidar informações. O programa Genomas Brasil também se mostra como um núcleo molecular valioso para análises genéticas. Além disso, parcerias entre os setores público e privado poderiam acelerar a implementação de soluções tecnológicas, enquanto a capacitação de profissionais em áreas como análise de dados, bioinformática e patologia digital é fundamental para a utilização plena dessas ferramentas.

Tabela 1 – Características dos estudos e fontes brasileiras relevantes.

Fonte (Ano)	População/Dados	Modalidades/ Âmbito	Achados/Contribuição
Ferreira Jr. et al., Radiol Bras (2021)	Câncer de pulmão (coorte local)	Radiômica (TC) + dados clínicos	Assinaturas associadas a sobrevida e heterogeneidade tumoral
Leite CC et al., Radiol Bras (2019)	Revisão nacional	IA em imagem médica	Desafios de validação e implementação
Santos MK et al., Radiol Bras (2019)	Revisão nacional	IA, CAD, radiômica	Conceitos e perspectivas
Tomazelli J et al., RESS (2023)	SISCAN (2018–2019)	Linkage mamografia–histopatologia	Viabilidade de integração de dados

Pereira LFF et al., J Bras Pneumol (2024)	Rastreamento pulmão (Brasil)	TCBD + riscos clínicos	Diretrizes nacionais e potencial de modelos integrados
INCA – Estimativa 2023–2025	População brasileira	Epidemiologia	Base para políticas públicas
Programa Genomas Brasil (MS)	100 mil genomas	Genômica	Estrutura nacional
Temporão JG et al., Cad Saúde Pública (2022)	Revisão crítica	Medicina de precisão no SUS	Recomendações estratégicas

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos estudos incluídos.

4. Conclusões

O Brasil possui iniciativas estratégicas para o avanço da integração multimodal de dados em oncologia, como o SISCAN e o programa Genomas Brasil. Experiências nacionais em radiômica, patologia digital e linkage de dados já demonstram a viabilidade dessa abordagem, embora precisem ser expandidas.

Para que essa estratégia seja consolidada, é fundamental criar coortes nacionais que integrem diferentes tipos de dados, como de imagem, patologia e moleculares. Além disso, é necessário padronizar protocolos e garantir a interoperabilidade entre os sistemas. O sucesso da iniciativa também depende de investimentos em infraestrutura e capacitação de profissionais, bem como de avaliações de custo-efetividade que possam guiar a formulação de políticas públicas eficazes.

Com a devida articulação entre a academia, os serviços de saúde e o governo, a integração multimodal tem o potencial de transformar a oncologia no país, proporcionando diagnósticos mais precisos e tratamentos personalizados para os pacientes.

Palavras-Chave: Oncologia de precisão; Integração multimodal; Radiômica; Patologia digital; Genômica; Brasil.

Divulgação

O (s) autor (es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, o Congresso Pan-Amazônico de Oncologia detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação deste resumo, por meio eletrônico.

5. Referências

1. Instituto Nacional de Câncer (Brasil). Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA; 2023.
2. Urban LABD, Schaefer MB, Duarte DA, et al. Recommendations for breast cancer screening in Brazil. *Radiol Bras.* 2023;56(5):313-22.
3. Santos MK, Ferraz C, Vidal M, et al. Artificial intelligence, machine learning, computer-aided diagnosis, and radiomics in radiology: overview and perspectives. *Radiol Bras.* 2019;52(6):391-6.
4. Ministério da Saúde (Brasil). Programa Genomas Brasil. Brasília: Ministério da Saúde; 2024.
5. Ministério da Saúde (Brasil). SISCAN: manual de operações. Brasília: Ministério da Saúde; 2023.
6. Comitê Gestor da Internet no Brasil. Inteligência artificial na saúde: relatório setorial. São Paulo: NIC.br; 2024.
7. Temporão JG, Berman P, Gadelha CAG. Desafios atuais e futuros do uso da medicina de precisão no controle do câncer no Brasil. *Cad Saúde Pública.* 2022;38(9):e00122822.
8. Ferreira Junior JR, Miranda V, Novais MK, et al. Radiomic analysis of lung cancer for the assessment of prognostic features. *Radiol Bras.* 2021;54(6):391-9.
9. Leite CC, Santos MK, Shimizu J, et al. Inteligência artificial na radiologia e medicina de precisão: impactos e perspectivas. *Radiol Bras.* 2019;52(6):387-96.
10. Pereira LFF, Carvalho CRR, Terra Filho M, et al. Recomendações para o rastreamento do câncer de pulmão no Brasil. *J Bras Pneumol.* 2024;50(1):e20230449.
11. Tomazelli J, Azevedo e Silva G, et al. Evaluation of breast cancer screening indicators in Brazil using SISCAN data, 2018–2019. *Rev Saúde Pública.* 2023;32(2):e2022567.