



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN (FAAC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA (PPGMIT-DO)

MARCELO SALVADOR CELESTINO

SUPERANDO LACUNAS EM IMAGEM MÉDICA NA AMÉRICA LATINA E NO
CARIBE: avaliação abrangente e proposta de *framework* transdisciplinar apoiado por IA para
o diagnóstico precoce do câncer de pulmão

Tese de doutorado em Mídia e Tecnologia

Bauru
2025

MARCELO SALVADOR CELESTINO

SUPERANDO LACUNAS EM IMAGEM MÉDICA NA AMÉRICA LATINA E NO
CARIBE: avaliação abrangente e proposta de *framework* transdisciplinar apoiado por IA para
o diagnóstico precoce do câncer de pulmão

Tese de doutorado em Mídia e Tecnologia

Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Mídia e Tecnologia.

Orientadora: Profa. Associada Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, UNESP, Brasil

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Ynoe de Moraes, Queen's University, Canadá

Bauru

2025

C392s

Celestino, Marcelo Salvador

Superando lacunas em imagem médica na América Latina e no Caribe : avaliação abrangente e proposta de framework transdisciplinar apoiado por IA para o diagnóstico precoce do câncer de pulmão / Marcelo Salvador Celestino. -- Bauru, 2025

208 f. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru

Orientadora: Vânia Cristina Pires Nogueira Valente

Coorientador: Fabio Ynoe de Moraes

1. Câncer de pulmão. 2. Diagnóstico por imagem. 3. Inteligência artificial. 4. Mídia e tecnologia. 5. Transdisciplinaridade. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE MARCELO SALVADOR CELESTINO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN.

Aos 24 dias do mês de março do ano de 2025, às 14h, no(a) Sala COONECTA da FAAC e sala virtual do google meet - <https://meet.google.com/zhs-gzgn-fdh>, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de MARCELO SALVADOR CELESTINO, intitulada **SUPERANDO LACUNAS EM IMAGEM MÉDICA NA AMÉRICA LATINA E NO CARIBE: avaliação abrangente e proposta de framework transdisciplinar apoiado por IA para o diagnóstico precoce do câncer de pulmão**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professora Associada VÂNIA CRISTINA PIRES NOGUEIRA VALENTE (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Artes e Representação Gráfica / Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design / Unesp Bauru, Professor Associado MARCELO TATIT SAPIENZA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Radiologia / Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Professora Associada MERI NADIA MARQUES GERLIN (Participação Virtual) do(a) Departamento de Biblioteconomia / Universidade Federal do Espírito Santo. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Professora Associada VÂNIA CRISTINA PIRES NOGUEIRA VALENTE

MARCELO SALVADOR CELESTINO

SUPERANDO LACUNAS EM IMAGEM MÉDICA NA AMÉRICA LATINA E NO
CARIBE: avaliação abrangente e proposta de *framework* transdisciplinar apoiado por IA para
o diagnóstico precoce do câncer de pulmão
Tese de doutorado em Mídia e Tecnologia

Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e
Tecnologia, da Faculdade de Arquitetura, Artes,
Comunicação e Design (FAAC) da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP),
como requisito parcial para obtenção do título de Doutor
em Mídia e Tecnologia.

Bauru, 24 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Associada Vânia Cristina Pires Nogueira Valente (presidente)
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Prof. Associado Marcelo Tatit Sapienza
Universidade de São Paulo

Profa. Associada Meri Nádia Marques Gerlin
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Associado Fabiano Reis (1º suplente)
Universidade Estadual de Campinas

Prof. Titular José Remo Ferreira Brega (2º suplente)
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Aos órfãos por câncer, eu vi a dor em seus olhos. Que um dia a saúde seja verdadeiramente preventiva, que a tecnologia seja utilizada em benefício da humanidade, livre de interesses gananciosos e financeiros. Que ninguém mais precise morrer de câncer numa fila, por falta de um diagnóstico precoce e acessível baseado em imagem.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Arquiteto do Universo, ao Poder Superior e ao Deus da minha compreensão.

Agradeço à minha família, especialmente às minhas irmãs, Sônia e Gê, por todo o suporte, otimismo e auxílio nos momentos de maior incerteza. Mesmo diante dos desafios mais difíceis, vocês nunca desistiram de mim, e por isso sou eternamente grato. Minha gratidão se estende também aos meus irmãos, Cuca e Branco; à minha sobrinha, Ana Pérola, pelo apoio em meio às mudanças; e aos meus sobrinhos, Paulo e Jhonny, pela confiança e incentivo. Agradeço também à minha família paulistana, representada pela minha “tia-mãe” Laís e meus primos, cujo carinho, acolhimento e apoio foram fundamentais nessa jornada.

À minha orientadora, professora Associada Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, agradeço profundamente pela confiança depositada desde a época do mestrado. Essa relação de orientação de seis anos (oito anos de contato) foi marcada pela liberdade criativa que você sempre me proporcionou, além de sua competência, paciência e profissionalismo, sempre indicando o melhor caminho e corrigindo com muita destreza. Sem o seu apoio, eu não teria realizado a parte da pesquisa fora do Brasil. Esses elementos foram a força motriz para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal ao longo de todos esses anos.

Ao meu coorientador, professor Dr. Fabio Ynoe de Moraes, registro meu agradecimento por me acolher durante o doutorado sanduíche no Canadá. Sou grato pelo seu tempo. Sua orientação e experiência foram de imenso valor para a consolidação deste trabalho e para a produção de artigos desafiadores, que elevaram o meu nível como pesquisador.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro e pela oportunidade de realizar este doutorado com bolsa, além de me proporcionar uma viagem para finalizar minha pesquisa no Canadá. Minha gratidão também se estende a todos os colaboradores da pesquisa e das atividades paralelas ao doutoramento, em especial à Isabella e à bibliotecária Marluci, pela contribuição e para a condução das estratégias de busca. A André Gouveia e Felipe Lazar pelo suporte na análise de dados e elaboração de algumas figuras do estudo transversal.

Um agradecimento especial aos professores Regina Belluzzo e João Pedro Albino e aos seus valiosos ensinamentos aplicados na presente tese, além de contribuições na publicação de artigos. Ao professor Osvando, *in memoriam*, e a todos os colaboradores da secretaria da pós-graduação pelo suporte em todos os momentos.

Aos meus amigos, Fabiana Chaves, Juliana Borges, Maria Clara, Danielli, Gislene Victoria, Wendel, Faiza, Adriano, Murilo, Nilton, Hugo e tantos outros anônimos que sempre tiveram uma palavra de força, fé e esperança.

Por fim, a mim mesmo, por nunca desistir, mesmo diante das adversidades. A cada porta que não se abriu, foi-me lembrado haver outros caminhos. E a essas portas fechadas, também sou grato, pois me ensinaram resiliência e me trouxeram até aqui.

A estrada não trilhada
(tradução própria de *Forgotten Lore*, de Robert Frost)

Duas estradas divergiam em um bosque dourado,
E, lamentando não poder percorrer ambas,
Sendo um só viajante, por longo tempo ali hesitei
E olhei para uma delas o mais longe que pude,
Até onde se curvava entre a vegetação;

Então tomei a outra, que era igualmente bela,
E talvez tivesse uma justificativa melhor,
Pois era gramada e pouco trilhada;
Embora, quanto a isso, o passar dos viajantes
As tivesse realmente desgastado por igual.

E naquela manhã ambas jaziam por igual,
Cobertas de folhas que nenhum passo enegrecera.
Oh! Guardei a primeira para outro dia!
Mas, sabendo como um caminho leva a outro,
Duvidava que algum dia voltasse.

Hei de contar isso com um suspiro;
Em algum lugar, daqui a muito e muito tempo:
Duas estradas divergiam em um bosque, e eu—
Eu tomei a menos percorrida,
E isso fez toda a diferença.

“Nenhum problema pode ser resolvido a partir do mesmo
nível de consciência que o criou.”
(Albert Einstein)

“Quanto mais fina é a análise, maior é a complexidade.”
(Olga Pombo)

RESUMO

As projeções do aumento da incidência do câncer de pulmão na América Latina e no Caribe (ALC) exigem atenção, especialmente nos países de baixa e média renda, que apresentam recursos limitados e desigualdade no investimento em saúde pública. O objetivo desta tese foi desenvolver uma estrutura integrada (*framework*) combinando Inteligência Artificial (IA), telerradiologia, Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), rastreamento por Tomografia Computadorizada de Baixa Dose (TCBD) e o princípio da regionalização em saúde, com o intuito de promover o diagnóstico precoce do câncer de pulmão, com ênfase nas regiões da ALC que apresentam deficiência estrutural e escassez de profissionais em diagnóstico por imagem. A tese abordou as desigualdades no acesso ao diagnóstico por imagem na ALC e mapeou o estado da arte da IA no diagnóstico oncológico com ênfase em Tomografia Computadorizada (TC) e Ressonância Magnética (RM). Para tanto, foram realizados: (i) um estudo transversal sobre a disponibilidade de recursos de imagem médica e médicos especialistas na ALC; (ii) uma análise bibliométrica da literatura sobre aplicações de IA, com ênfase em TC e RM em imagem oncológica; e (iii) a construção de um modelo conceitual-teórico transdisciplinar. Os resultados do estudo transversal mostraram uma distribuição desigual de recursos na ALC, com alta concentração em países de alta renda, indicando, ainda, a necessidade do desenvolvimento de um planejamento estratégico e de políticas públicas com foco na gestão em saúde. Por outro lado, a análise bibliométrica revelou que as tendências emergentes da IA em imagem oncológica incluem o uso de tecnologias como o *deep learning* (aprendizado profundo), que têm sido utilizadas na prática com resultados positivos na análise de imagens para identificar padrões característicos de tumores ou lesões, trazendo maior precisão e eficiência diagnóstica clínica. O uso de TDIC facilita a criação de canais focados em educação continuada, troca de informações e comunicação entre profissionais, pacientes e familiares, promovendo um ambiente colaborativo e maior envolvimento da comunidade, o que pode otimizar os resultados de saúde. As bases da transdisciplinaridade contribuíram para a aplicação de teorias e conceitos de forma articulada e coesa, resultando na inovação proposta pelo modelo. Conclui-se que o *framework* proposto nesta tese representa uma estratégia potencial para mitigar as desigualdades no acesso ao diagnóstico por imagem precoce, podendo contribuir diretamente para a melhoria da sobrevivência de pacientes com risco de câncer de pulmão. Como próximo passo, sugere-se a validação do *framework* e sua implementação em uma cidade piloto da ALC, expandindo a cobertura para outras regiões geográficas (esfera macro) de forma progressiva e adaptativa, respeitando as características regionais.

Palavras-chave: câncer de pulmão; diagnóstico por imagem; inteligência artificial; mídia e tecnologia; transdisciplinaridade.

ABSTRACT

Projections of the increasing incidence of lung cancer in Latin America and the Caribbean (LAC) demand attention, especially in low- and middle-income countries, which present limited resources and significant inequality in public health investment. The objective of this thesis was to develop an integrated framework combining Artificial Intelligence (AI), teleradiology, Digital Information and Communication Technologies (DICT), Low-Dose Computed Tomography (LDCT) screening, and the principle of healthcare regionalization, with the purpose of promoting the early diagnosis of lung cancer, with emphasis on LAC regions characterized by structural deficiencies and a shortage of imaging diagnosis professionals. This thesis addressed the inequalities in access to imaging diagnosis in LAC and mapped the state of the art of AI in oncological diagnosis, with emphasis on Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI). To this end, the following were carried out: (i) a cross-sectional study on the availability of medical imaging resources and medical specialists in LAC; (ii) a bibliometric analysis of the literature on AI applications, with emphasis on CT and MRI in oncological imaging; and (iii) the construction of a transdisciplinary conceptual-theoretical model. The results of the cross-sectional study showed an unequal distribution of resources in LAC, with a high concentration in high-income countries, also indicating the need for the development of strategic planning and public policies focused on health management. On the other hand, the bibliometric analysis revealed that the emerging trends in AI applied to oncological imaging include the use of technologies such as deep learning, which have been applied in practice with positive results in image analysis to identify characteristic patterns of tumors or lesions, bringing greater accuracy and clinical diagnostic efficiency. The use of DICT facilitates the creation of channels focused on continuing education, information exchange, and communication among professionals, patients, and families, fostering a collaborative environment and greater community engagement, which can optimize health outcomes. The foundations of transdisciplinarity contributed to the application of theories and concepts in an articulated and cohesive manner, resulting in the innovation proposed by the model. It is concluded that the framework proposed in this thesis represents a potential strategy to mitigate inequalities in access to early imaging diagnosis, with the possibility of directly contributing to improving the survival of patients at risk for lung cancer. As a next step, it is suggested to validate the framework and implement it in a pilot city in LAC, progressively and adaptively expanding its coverage to other geographic regions (macro level), respecting regional characteristics.

Keywords: *artificial intelligence; imaging diagnosis; lung cancer; media and technology; transdisciplinarity.*

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa apresentada nesta tese sobre o diagnóstico precoce do câncer de pulmão, integrando Inteligência Artificial (IA) e telerradiologia, oferece um potencial impacto significativo em três esferas fundamentais: clínica, gestão e acadêmica, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Perspectiva clínica: do ponto de vista clínico, o *framework* proposto visa otimizar e agilizar o diagnóstico do câncer de pulmão, especialmente em regiões onde a escassez de recursos é crítica. A utilização de IA permite uma triagem mais eficiente e precisa, aumentando as chances de intervenção precoce, o que pode contribuir para a melhora da sobrevida dos pacientes em risco. A conexão entre especialistas e pacientes promovida pela telerradiologia assegura que diagnósticos de qualidade cheguem rapidamente às comunidades necessitadas, contribuindo para o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) ao melhorar a detecção precoce e o tratamento do câncer.

Perspectiva de gestão: no âmbito da gestão em saúde, a pesquisa oferece um modelo que aborda as desigualdades no acesso a tecnologias de imagem, com ênfase na Tomografia Computadorizada de Baixa Dose (TCBD) e especialistas em oncologia. A criação de um planejamento estratégico baseado nas evidências levantadas direciona para uma alocação de recursos mais eficaz, contribuindo para a redução das disparidades existentes na ALC. Essa abordagem não apenas promove a eficiência no uso das tecnologias de imagem médica, mas também está alinhada com os ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e 10 (Redução das Desigualdades), ao trabalhar para garantir que comunidades subatendidas tenham acesso igualitário aos cuidados de saúde.

Perspectiva acadêmica: academicamente, esta tese enriquece a literatura sobre o uso de IA em diagnósticos oncológicos em Tomografia Computadorizada (TC) e Ressonância Magnética (RM), sinalizando lacunas de pesquisa e tendências emergentes. A análise bibliométrica realizada fornece perspectivas sobre as direções atuais e futuras, orientando novas investigações e colaborações interdisciplinares. O *framework* também pode servir de base para futuras pesquisas que explorem a intersecção entre saúde, como outros tipos de câncer, tecnologia e políticas públicas, reafirmando sua escalabilidade e relevância em um contexto global, contribuindo para o ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação).

Espera-se que a aplicação do modelo de unificação e generalização do conhecimento de diferentes campos, fundamentados na transdisciplinaridade, não apenas melhore, de forma prática, a eficácia do diagnóstico precoce do câncer de pulmão, mas também contribua para salvar vidas e fortaleça a construção de um sistema de saúde mais resiliente e adaptável às necessidades da população da ALC. Por fim, espera-se que a pesquisa contribua para esclarecer a importância da transdisciplinaridade acadêmica no desenvolvimento de soluções para problemas complexos.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The research presented in this thesis on the early diagnosis of lung cancer, integrating Artificial Intelligence (AI) and teleradiology, offers a potentially significant impact in three fundamental spheres: clinical, management, and academic, aligning with the Sustainable Development Goals (SDG).

Clinical perspective: *from a clinical standpoint, the proposed framework aims to optimize and accelerate the diagnosis of lung cancer, especially in regions where resource scarcity is critical. The use of AI enables more efficient and accurate screening, increasing the chances of early intervention, which can contribute to improving the survival of at-risk patients. The connection between specialists and patients promoted by teleradiology ensures that quality diagnoses quickly reach underserved communities, contributing to SDG 3 (Good Health and Well-Being) by improving early detection and treatment of cancer.*

Managerial perspective: *in the field of health management, the research offers a model that addresses inequalities in access to imaging technologies, with an emphasis on Low-Dose Computed Tomography (LDCT) and oncology specialists. The creation of a strategic plan based on the collected evidence guides a more effective allocation of resources, helping to reduce the existing disparities in Latin America and the Caribbean (LAC). This approach not only promotes efficiency in the use of medical imaging technologies but also aligns with SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure) and SDG 10 (Reduced Inequalities) by working to ensure that underserved communities have equitable access to healthcare.*

Academic perspective: *academically, this thesis enriches the literature on the use of AI in oncologic diagnostics in Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI), highlighting research gaps and emerging trends. The bibliometric analysis conducted provides insights into current and future directions, guiding new investigations and interdisciplinary collaborations. The framework can also serve as a foundation for future research exploring the intersection of healthcare — including other types of cancer — technology, and public policy, reaffirming its scalability and relevance in a global context, contributing to SDG 17 (Partnerships for the Goals).*

It is expected that the application of the model for the unification and generalization of knowledge from different fields, based on transdisciplinarity, will not only practically improve the effectiveness of early lung cancer diagnosis but also help save lives and strengthen the construction of a more resilient healthcare system, adaptable to the needs of the LAC population. Finally, the research is expected to contribute to clarifying the importance of academic transdisciplinarity in developing solutions for complex problems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Fluxograma das principais etapas de uma análise bibliométrica	67
Figura 2 — PRISMA: diagrama de fluxo para seleção dos artigos	72
Figura 3 — Completude dos metadados dos artigos	73
Figura 4 — Dimensões da análise bibliométrica	76
Figura 5 — Diagrama estratégico	80
Figura 6 — Detalhamentos das dimensões da análise bibliométrica	82
Figura 7 — Pirâmide invertida apresentando as esferas do modelo	85
Figura 8 — Dimensões e princípios norteadores do modelo	89
Figura 9 — Distribuição dos gastos com saúde na ALC com base no PIB	97
Figura 10 — Comparativo da incidência e mortalidade global de câncer (2022)	99
Figura 11 — Impacto (2022) e projeção do câncer na ALC (2045)	101
Figura 12 — Distribuição dos equipamentos de imagem e especialistas na ALC	105
Figura 13 — Distribuição de LINAC na ALC	110
Figura 14 — ASR da incidência por 100.000 habitantes nos dois sexos	111
Figura 15 — ASR da mortalidade por 100.000 habitantes nos dois sexos	112
Figura 16 — Produção científica e citações ao longo do tempo	124
Figura 17 — Produção única e produção colaborativa entre os países	126
Figura 18 — Rede de colaboração formada entre os 30 países mais proeminentes	128
Figura 19 — Mapa global da colaboração científica	129
Figura 20 — Rede de colaboração entre as instituições dos autores	130
Figura 21 — Rede de coocorrência de palavras-chave dos autores	138
Figura 22 — Rede de coocorrência de palavras dos títulos dos artigos	139
Figura 23 — Mapa temático com base nas palavras-chave dos autores	140
Figura 24 — Representação gráfica do <i>framework</i>	154
Figura 25 — Potencialidades e desafios do <i>framework</i>	159
Figura 26 — Sequência inicial de planejamento de projeto transdisciplinar	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	— Indicadores econômicos e demográficos de países da ALC	96
Tabela 2	— Razão mortalidade/incidência do câncer dos países	100
Tabela 3	— Sobrevida líquida de cinco anos por tipo de câncer	102
Tabela 4	— Distribuição dos equipamentos de imagem e médicos na ALC	104
Tabela 5	— Dados gerais da amostra	123
Tabela 6	— Os cinco autores com maior <i>h-index</i> da amostra	125
Tabela 7	— Os cinco países mais prolíficos da amostra	127
Tabela 8	— Os cinco países mais citados da amostra	127
Tabela 9	— As cinco colaborações internacionais mais frequentes entre países	128
Tabela 10	— As cinco instituições mais prolíficas	130
Tabela 11	— Os 10 artigos com maior Total de Citações	131
Tabela 12	— Os 10 artigos com maior Total de Citações Normalizadas	132
Tabela 13	— Distribuição dos elementos segundo a <i>Lei de Bradford</i>	134
Tabela 14	— Periódicos classificados na Zona 1 pela <i>Lei de Bradford</i>	135
Tabela 15	— Os 10 periódicos mais influentes	136
Tabela 16	— Principais palavras-chave dos autores e dos títulos	137
Tabela 17	— Grupos formados no acoplamento bibliográfico	141
Tabela 18	— Os dez artigos mais relevantes do acoplamento bibliográfico	142
Tabela 19	— Tópicos emergentes com base nas palavras-chave dos autores	144
Tabela 20	— Tópicos emergentes com base nas palavras dos títulos	145

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Desafios do rastreamento por TCBD na América Latina	26
Quadro 2 — O SUS e a inovação tecnológica em saúde	33
Quadro 3 — Benefícios do rastreamento por TCBD	47
Quadro 4 — Etapas para o desenvolvimento de um planejamento estratégico	52
Quadro 5 — <i>Query</i> utilizada na busca na base Scopus	70
Quadro 6 — Seleção de métricas e técnicas utilizadas em análises bibliométricas	76
Quadro 7 — Medidas de centralidade e densidade das redes	79
Quadro 8 — Desafios e propostas para o rastreamento por TCBD	83
Quadro 9 — Alinhamento conceitual do modelo	86
Quadro 10 — Características da saúde nas regiões globais	107
Quadro 11 — Análise comparativa entre a ALC e as regiões selecionadas	108
Quadro 12 — Sugestão de procedimentos para implementação do <i>framework</i>	164
Quadro 13 — Artigos publicados em periódicos	201
Quadro 14 — Produções diversas, exceto artigos publicados em periódicos	203

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable)</i>
ALC	América Latina e Caribe
ANZ	Austrália/Nova Zelândia
API	Interfaces de Programação de Aplicações
ASR	Taxa Padronizada por Idade
AUC	Área Sob a Curva
AUROC	Área Sob a Curva Característica de Operação do Receptor
CAD	Detecção Assistida por Computador
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CFM	Conselho Federal de Medicina
CNN	Rede Neural Convolucional
CPNPC	Carcinoma Pulmonar de Não Pequenas Células
CTDIvol	Índice de Dose em Tomografia Computadorizada por Volume
DCE-MRI	Ressonância Magnética com Realce Dinâmico por Contraste
DCS	Despesas Correntes com Saúde
DWI	Imagem Ponderada por Difusão
e-gov	Governo Eletrônico
e-saúde	Saúde Digital
EUA	Estados Unidos da América
FAAC	Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design
FDG	¹⁸ F-Fluorodesoxiglicose
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
LINAC	Acelerador Linear
mHealth	Saúde Móvel
MN	Medicina Nuclear
NLST	<i>National Lung Screening Trial</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PCLN	Pontuação de Citações Locais Normalizadas
PET	Tomografia por Emissão de Pósitrons

PET/CT	Tomografia por Emissão de Pósitrons Associada à Tomografia Computadorizada
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD Contínua	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
PNIIS	Política Nacional de Informação e Informática em Saúde
PPGMiT	Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia
RCT	Ensaio Clínico Randomizado
RM	Ressonância Magnética
SARS-CoV-2	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações em Saúde
SPECT/CT	Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único
SUS	Sistema Único de Saúde
SVM	Máquinas de Vetor de Suporte
TC	Tomografia Computadorizada
TCBD	Tomografia Computadorizada de Baixa Dose
TCit	Total de Citações
TCN	Total de Citações Normalizadas
TDIC	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
WHO	<i>World Health Organization</i>
WoS	Web of Science
WoSCC	Web of Science Core Collection

LISTA DE SÍMBOLOS

mGy

Miligray

§

Parágrafo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Prefácio	21
1.2	Contexto	21
1.3	Caracterização da tese	22
1.4	Proposições da pesquisa	23
1.5	Objetivos	23
1.5.1	Objetivo geral	24
1.5.2	Objetivos específicos	24
1.5.2.1	<i>Objetivos específicos do estudo transversal</i>	24
1.5.2.2	<i>Objetivos específicos da análise bibliométrica</i>	24
1.5.2.3	<i>Objetivos específicos do framework</i>	24
1.6	Justificativas	25
1.7	Aderências da pesquisa	28
1.7.1	Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia	28
1.7.2	Desenvolvimento institucional, internacionalização e ODS	29
1.8	Potencial de replicação e expansão da pesquisa	30
1.9	Resultados esperados	30
2	DESENVOLVIMENTO	32
2.1	Revisão da literatura	32
2.1.1	Tecnologias digitais em saúde	32
2.1.2	O Sistema Único de Saúde	36
2.1.3	Saúde descentralizada	37
2.1.4	Telessaúde, telemedicina e telerradiologia: definições e aplicações	37
2.1.5	Métodos de imagem diagnóstica	39
2.1.6	Radiação ionizante e proteção radiológica	41
2.1.7	Desigualdades no acesso em diagnóstico por imagem	42
2.1.8	O câncer de pulmão	43
2.1.9	Atraso no diagnóstico e no tratamento do câncer de pulmão	44
2.1.10	Rastreamento do câncer de pulmão por TCBD	45
2.1.11	IA no diagnóstico por imagem oncológica	48
2.1.11.1	<i>Análises bibliométricas correlatas</i>	50
2.1.12	Planejamento e pensamento estratégico	51
2.1.13	Inovação e difusão de novas tecnologias na perspectiva de Rogers	53
2.1.14	Transdisciplinaridade	54
2.1.15	Distribuição do conhecimento e a simetria da ignorância	58
2.2	Métodos	59

2.2.1	Etapa 1: estudo transversal	60
2.2.1.1	<i>Justificativa para o uso dessa metodologia</i>	61
2.2.1.2	<i>Variáveis e desfechos</i>	62
2.2.2	Etapa 2: análise bibliométrica	63
2.2.2.1	<i>Justificativa para o uso dessa metodologia</i>	66
2.2.2.2	<i>Procedimentos adotados</i>	66
2.2.2.3	<i>Design do estudo</i>	67
2.2.2.4	<i>Coleta de dados</i>	68
2.2.2.5	<i>Análise de dados</i>	70
2.2.2.6	<i>Segunda triagem</i>	70
2.2.2.7	<i>Completeness dos metadados</i>	72
2.2.2.8	<i>Fundamentos das técnicas e métricas essenciais para a pesquisa</i>	74
2.2.2.9	<i>Análise exploratória preliminar</i>	81
2.2.2.10	<i>Técnicas e métricas selecionadas para a análise</i>	81
2.2.2.11	<i>Visualização dos dados e interpretação dos resultados</i>	82
2.2.3	Etapa 3: construção do framework	82
2.2.3.1	<i>Esferas do modelo</i>	84
2.2.3.2	<i>Conceitos e pressupostos que sustentam o modelo</i>	86
2.2.3.3	<i>Desafios identificados e proposições interventivas do framework</i>	91
2.3	Resultados e discussão do estudo transversal	95
2.3.1	Caracterização da amostra e perfil de renda	95
2.3.2	Indicadores de câncer	98
2.3.3	Razão mortalidade/incidência	99
2.3.4	Sobrevivência em cinco anos	102
2.3.5	Distribuição dos equipamentos e médicos especialistas na ALC	103
2.3.6	Comparativo global da infraestrutura em imagem diagnóstica em oncologia	106
2.3.7	LINAC	109
2.3.8	Panorama do câncer	111
2.3.9	Perspectivas e implicações deste estudo transversal	112
2.3.9.1	<i>Demografia e investimentos em saúde</i>	113
2.3.9.2	<i>Correlação entre a razão mortalidade/incidência e a infraestrutura</i>	113
2.3.9.3	<i>Análise das variáveis</i>	115
2.3.9.4	<i>ALC posicionada no cenário global</i>	116
2.3.9.5	<i>Redução de dose de radiação em TC</i>	118
2.3.9.6	<i>Correlação com os dados da International Agency for Research on Cancer</i>	119
2.3.9.7	<i>Disparidades econômicas no acesso à saúde e ao diagnóstico por imagem</i>	119
2.3.9.8	<i>Disponibilidade de equipamentos de imagem e a Portaria n.º 1.631/2015</i>	121
2.4	Resultados e discussão da análise bibliométrica	122

2.4.1	Parte I: análise descritiva	122
2.4.1.1	<i>Dados gerais da amostra</i>	123
2.4.2	Parte II: análise de performance	124
2.4.2.1	<i>Autores e colaborações entre países</i>	125
2.4.2.2	<i>Colaborações entre as instituições</i>	129
2.4.2.3	<i>Literatura mais relevante</i>	131
2.4.2.4	<i>Periódicos mais relevantes</i>	134
2.4.3	Parte III: mapeamento científico	136
2.4.3.1	<i>Palavras-chave mais frequentes</i>	136
2.4.3.2	<i>Rede de coocorrência de palavras-chave</i>	137
2.4.3.3	<i>Mapa temático</i>	139
2.4.3.4	<i>Acoplamento bibliográfico</i>	140
2.4.3.5	<i>Tópicos emergentes</i>	144
2.4.4	Discussão dos resultados	146
2.4.4.1	<i>Síntese das evidências</i>	146
2.4.4.2	<i>Interpretação</i>	146
2.4.4.3	<i>Desenvolvimento tecnológico</i>	148
2.4.4.4	<i>Principais tendências de aplicações da IA em TC e RM</i>	149
2.4.4.5	<i>Pontos fortes e limitações da análise bibliométrica</i>	151
2.5	Resultados e discussão do framework	151
2.5.1	Perspectiva geral do modelo	155
2.5.2	Potencialidades e desafios do modelo	157
2.5.3	Relações entre o framework e aspectos teóricos	159
2.5.3.1	<i>Relação entre o framework e a transdisciplinaridade</i>	159
2.5.3.2	<i>Relação entre o framework e a simetria da ignorância</i>	161
2.5.3.3	<i>Relação entre o framework e as tecnologias digitais</i>	161
2.5.4	Proposta inicial de procedimentos	163
2.6	Discussão geral e implicações	167
2.6.1	Respondendo aos objetivos da pesquisa	167
2.6.2	Implicações dos achados e relação com a literatura	170
2.6.3	Limitações do framework e direções futuras	172
3	CONCLUSÃO	175
	REFERÊNCIAS	176
	APÊNDICE A — MEMORANDO BREVE	199
	APÊNDICE B — CONCEITOS DE TRANSDISCIPLINARIDADE	204
	APÊNDICE C — FIGURAS SUPLEMENTARES	205

1 INTRODUÇÃO

1.1 Prefácio

Vivenciamos globalmente a popularização da Inteligência Artificial (IA) e o desenvolvimento acelerado de pesquisas sobre essa tecnologia, caracterizadas por colaborações interdisciplinares e internacionais, devido à complexidade dos temas que surgem a partir das suas possíveis aplicações. Esse fenômeno é, sem dúvida, um reflexo do avanço tecnológico aliado ao crescente interesse por um tema emergente, que tem impactado diretamente a vida das pessoas, sem perspectivas de “retroceder” nesse jogo da vida.

O desenvolvimento tecnológico, embora promissor, apresenta um paradoxo: ao mesmo tempo, em que amplia as possibilidades em áreas como a saúde, intensifica as disparidades no acesso a seus benefícios. Na presente tese, essa disparidade se revela nas dificuldades de acesso ao diagnóstico por imagem, afetado pela escassez de recursos e pela distribuição desigual nos sistemas de saúde entre países com diferentes perfis de renda.

Imagine um cenário hipotético em que uma aluna de pós-graduação desenvolveu um algoritmo para a detecção precoce do câncer de mama, por meio de exames de imagem, enquanto precisa esperar indefinidamente para realizar um exame de mamografia no sistema público de saúde, já que não dispõe de plano de saúde e não pode arcar com despesas particulares. A espera foi tão longa que o câncer de mama, que já existia, se espalhou por todo o corpo durante esse período, levando-a ao óbito. Três meses após seu falecimento, o telefone de sua residência toca. Era alguém do serviço de saúde para agendar o exame de imagem¹.

1.2 Contexto

As mudanças sociais e geracionais estão, mais do que claramente, associadas e dependentes das tecnologias digitais de comunicação em rede. Como afirma Belluzzo (2005, p. 32):

Durante cada revolução tecnológica, sempre houve quem temesse o impacto das mudanças, bem como quem profetizasse a imediata obsolescência do passado, prevendo como única salvação possível os frutos da nova invenção. A inovação tecnológica desloca o foco e amplia um domínio existente, cria um novo campo e usualmente resulta em uma aplicação mais refinada de ambos.

O emergir da IA, seus impactos e transformações, refletem a perspectiva de Belluzzo (2005), que se mostra atemporal e abrangente. Atualmente, observa-se a expansão de domínios já existentes, como o da saúde, elevando os diagnósticos a patamares cada vez mais

¹ Essa história fictícia baseia-se em relatos de pacientes e colegas ao longo dos meus 13 anos na Radiologia. Uma paciente procurou atendimento para investigar um caroço no seio. Sete meses depois, quando foi chamada para a mamografia, já havia falecido. Atualmente, existem iniciativas como o "SP por Todas", na cidade de Bauru (SP), que oferecem exames gratuitos de mamografia, de segunda a sábado, até 10 de maio de 2025, para pacientes com perfil determinado (Souza, 2025).

ágeis e baseados na ubiquidade, graças a serviços como a telerradiologia. Um exemplo desses impactos pode ser observado em diversas análises bibliométricas relacionadas a esta tese, que indicam uma tendência de crescimento na aplicação da IA no diagnóstico por imagem em oncologia desde 2010 (Karger; Kureljusic, 2023; Gencer, 2024; Wang *et al.*, 2024).

A IA está rapidamente se tornando uma tecnologia potente e transformadora na área da saúde, com potencial para revolucionar o diagnóstico e o tratamento de diferentes tipos de câncer — incluindo o câncer de pulmão, foco desta tese — por meio da detecção automática e da classificação de tumores (Geis *et al.*, 2019; Briganti; Moine, 2020; Massion *et al.*, 2020; Nagendran *et al.*, 2020; Bojsen *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2024; Sun M.; Sun J.; Li, 2024; Zayed *et al.*, 2024).

O câncer de pulmão é um problema de saúde pública global que exige atenção e investimentos para o desenvolvimento de novas tecnologias e estratégias de prevenção e tratamento. Neste contexto, a IA e o rastreamento (*screening*) por Tomografia Computadorizada de Baixa Dose (TCBD) têm o potencial de auxiliar no diagnóstico precoce do câncer de pulmão, aumentando as chances de cura e sobrevivência dos pacientes.

Hipotetiza-se que a junção estratégica dessa tecnologia e modalidade diagnóstica possa potencializar essas chances. No entanto, as tecnologias e abordagens diagnósticas são ferramentas que precisam ser utilizadas coordenadamente para atingir um objetivo, ou seja, o simples fato de existirem não garante melhoras na saúde se não houver uma intencionalidade por trás do seu uso. Além disso, as desigualdades socioeconômicas e a escassez de recursos e de profissionais de saúde podem limitar o acesso aos benefícios do diagnóstico por imagem. É neste cenário de iniquidades, incertezas e novidades tecnológicas que a presente tese está inserida.

1.3 Caracterização da tese

A presente tese pode ser caracterizada como panorâmica, conforme definido por Eco (2003), uma abordagem que oferece uma visão ampla e integrada sobre diversos assuntos. É também investigativa-científica por envolver originalidade, rigor científico e contribuir para o avanço do conhecimento. É importante elucidar que a natureza da tese é pautada nos conceitos da transdisciplinaridade, e não simplesmente na interdisciplinaridade. Na perspectiva de Pombo (2008), enquanto a interdisciplinaridade se limita à justaposição de diferentes disciplinas, a transdisciplinaridade busca a integração e a síntese de diferentes áreas do conhecimento para gerar uma nova compreensão do objeto — que, adaptado à presente tese, refere-se ao problema de pesquisa.

Devido à amplitude de áreas e conceitos envolvidos no desenvolvimento do *framework*, há uma abundância de informações a ser orquestrada. A transdisciplinaridade que circunscreve esta tese, cuja essência é expressa na *Charte de la Transdisciplinarité* (Morin;

Nicolescu; Freitas, 1994), demanda uma pluralidade de perspectivas e conceitos. Isso torna inadequado limitar-se a dois ou três autores de “renome” para fundamentar as reais necessidades da pesquisa. A transdisciplinaridade, como será explicado em 2.1.14, valoriza a multiplicidade de ideias e argumentos, buscando uma perspectiva holística e não reducionista. Apesar disso, não foram subestimados os temas essenciais para a sustentação e justificativa da proposição do *framework*, como as evidências sobre os benefícios do rastreamento por TCBD e os resultados positivos das aplicações da IA no diagnóstico precoce do câncer, sobretudo de pulmão.

1.4 Proposições da pesquisa

Problemas complexos, definidos nesta tese como *wicked problems* (problemas perversos), são caracterizados por sua complexidade, incerteza e interdependências de fatores, como crises de saúde pública e desigualdade social (Rittel; Webber, 1973). Esses problemas são, portanto, compreendidos como problemas multifatoriais, e exigem abordagens igualmente complexas, que se enquadram dentro da perspectiva transdisciplinar. Com base nisso, apresentam-se as seguintes proposições de pesquisa:

- I. A transdisciplinaridade oferece caminhos para estratégias abrangentes e integrativas, capazes de unir múltiplas soluções de pequenos problemas até resolver um problema maior. A convergência das mídias, aliada à distribuição do conhecimento e à simetria da ignorância, orientadas pelo pensamento estratégico, resulta em uma estrutura de abordagens inovadoras que integram perspectivas diversas e promovem soluções colaborativas para um problema maior.
- II. Sob essa óptica, a integração do diagnóstico por imagem com tecnologias como a IA, a telerradiologia e as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), fundamentada nos princípios da saúde descentralizada e associada a uma estratégia ativa de rastreamento por TCBD para o diagnóstico precoce do câncer de pulmão em populações de risco, apresenta potencial para superar a escassez de equipamentos de TC, bem como a falta de médicos radiologistas e nucleares na América Latina e no Caribe (ALC), impactando diretamente o acesso aos laudos e o tratamento precoce da população de risco. Essa abordagem permite uma detecção mais rápida e precisa de condições oncológicas, podendo aumentar a sobrevivência de pacientes com câncer de pulmão diagnosticados em estágios iniciais e com potencial curativo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo geral

Desenvolver uma estrutura integrada (*framework*) combinando IA, telerradiologia, TDIC, uma estratégia ativa de rastreamento por TCBD e o princípio da regionalização em saúde, com o intuito de promover o diagnóstico precoce do câncer de pulmão, com ênfase nas regiões da ALC que apresentam deficiência estrutural e escassez de profissionais em diagnóstico por imagem.

1.5.2 Objetivos específicos

1.5.2.1 *Objetivos específicos do estudo transversal*

1. Mapear a distribuição e disponibilidade de recursos de diagnóstico por imagem e a densidade de médicos especialistas em Radiologia e Medicina Nuclear (MN) na ALC.
2. Identificar e analisar as principais lacunas e desafios na implementação de programas de diagnóstico precoce do câncer de pulmão na ALC.
3. Analisar a relação entre a disponibilidade de recursos de imagem e os fatores socioeconômicos, demográficos e epidemiológicos do câncer.
4. Investigar a relação entre investimentos em saúde, densidade de médicos especialistas e indicadores de câncer.
5. Comparar os indicadores de câncer entre países da ALC e outras regiões globais, considerando diferenças estruturais e socioeconômicas.

1.5.2.2 *Objetivos específicos da análise bibliométrica*

1. Mapear o estado da arte por meio da análise bibliométrica das aplicações da IA no diagnóstico por imagem oncológica, com ênfase em Tomografia Computadorizada (TC) e Ressonância Magnética (RM), identificando os principais autores, instituições, países e periódicos mais produtivos e influentes.
2. Identificar as tendências temáticas emergentes das aplicações da IA no diagnóstico por imagem oncológica, com ênfase em TC e RM.

1.5.2.3 *Objetivos específicos do framework*

1. Propor soluções inovadoras e viáveis para superar essas lacunas e desafios, com base nos princípios da transdisciplinaridade.
2. Avaliar o impacto potencial do *framework* proposto na otimização do diagnóstico precoce do câncer de pulmão e no aumento da sobrevida dos pacientes.

3. Apresentar procedimentos como sugestão para a implementação de um projeto-piloto do modelo.

1.6 Justificativas

Em 2022, cerca de 53 milhões de pessoas viviam com câncer. O câncer é considerado a segunda principal causa de morte global (World Health Organization, 2022). Seu impacto abrange diversas esferas da vida humana, como a social, a saúde pública e a economia, representando um grande desafio para o século XXI (Mattiuzzi; Lippi, 2019). Em 2022, foram registrados quase 20 milhões de novos casos de câncer, resultando em cerca de 10 milhões de mortes (Global Cancer Observatory, 2022).

O estudo de Bizuayehu *et al.* (2024) projeta um aumento de quase 77% (35 milhões) no número de novos casos de câncer até 2050, em comparação com 2022. O câncer de pulmão, além de ser o tipo de maior incidência global, possui os mais altos índices de mortalidade, quando comparado a outros tipos da doença (International Agency for Research on Cancer, 1965-2024e). Na ALC o câncer de pulmão está em terceiro lugar de frequência entre os homens, quinto entre as mulheres e quarto, considerando os dois sexos (International Agency for Research on Cancer, 1965-2024f).

Evidências mostram que o exame de TCBD, utilizado no rastreamento do câncer em pacientes com perfil de risco para o desenvolvimento do câncer de pulmão, pode reduzir a mortalidade por esse tipo de doença, quando descoberta em estágios iniciais (veja 2.1.10). Moraes (2021, p. 3), apoiado pelo estudo de Horeweg *et al.* (2014), afirma que “teremos um aumento no número de casos de câncer de pulmão diagnosticados, especialmente em estágio inicial e com potencial curativo”. Para corroborar essa perspectiva, acredita-se que seja necessário fortalecer as bases estruturais e os aspectos de gestão de recursos, uma vez que sua ausência pode comprometer o mapeamento do aumento de casos diagnosticados.

O estudo de Peters *et al.* (2024) mostrou que a assistência por IA aumentou a taxa de detecção de nódulos pulmonares pelos médicos residentes (de 64% para 77%), embora tenha permanecido praticamente inalterada para os radiologistas seniores (de 85% para 86%). Já o estudo de Vanitha *et al.* (2024) demonstrou que um modelo de *deep learning* (aprendizado profundo) alcançou uma acurácia de 99,44% na classificação do câncer pulmonar, evidenciando sua alta capacidade de diferenciar tecidos cancerígenos e não cancerígenos. Esses exemplos trazem perspectivas promissoras para o uso das ferramentas de IA na prática clínica em oncologia.

No artigo *Challenges in lung cancer screening in Latin America*, publicado no *Journal of Global Oncology*, Raez *et al.* (2018) apresentaram uma visão geral do padrão de cuidado no rastreamento do câncer de pulmão global, com enfoque nos desafios e soluções para a implementação da TCBD na América Latina. Embora tenham proposto soluções assertivas

para múltiplos problemas, a abordagem desses autores possui uma perspectiva pontual e focada em cada um dos problemas identificados nas estratégias de rastreamento por TCBD na América Latina. Por outro lado, o modelo aqui proposto possui uma perspectiva integrada dos desafios e soluções para o problema, expandindo a perspectiva de Raez *et al.* (2018). O quadro 1 sumariza os desafios identificados e as propostas fornecidas por Raez *et al.* (2018).

Quadro 1 — Desafios do rastreamento por TCBD na América Latina

Desafios Identificados	Propostas Sugeridas
Aumento da incidência de câncer	Criar estratégias para diagnóstico precoce e aumentar a conscientização sobre triagem e prevenção.
Sistemas de saúde fragmentados e subfinanciados	Alocar financiamento adequado e integrar os sistemas de saúde para suportar programas de triagem e tratamento eficientes.
Falta de registro confiável de câncer	Desenvolver e implementar registros de câncer regionais para suporte a políticas de saúde pública baseadas em dados.
Acesso limitado a cuidados de saúde	Expandir a infraestrutura de saúde em áreas rurais e melhorar o transporte para centros de saúde.
Desigualdades socioeconômicas	Implementar políticas inclusivas que garantam acesso equitativo à triagem, independente da condição socioeconômica.
Educação e conscientização	Promover campanhas educacionais para profissionais de saúde e da população geral sobre os benefícios da triagem por TCBD.
Centros dedicados de rastreamento	Criar centros especializados para triagem e garantir a continuidade do cuidado em centros terciários, com domínio no manejo do câncer de pulmão.
Acesso a tecnologias de rastreamento	Adotar tecnologias de triagem acessíveis e adaptadas às condições econômicas e de infraestrutura locais.
Desenvolvimento de registros de câncer	Estabelecer registros nacionais e regionais confiáveis para planejamento e monitoramento eficazes das políticas de saúde.
Abordagem multidisciplinar	Integrar especialistas de diversas áreas (Oncologia, Radiologia, Pneumologia e Saúde Pública) para garantir um manejo eficiente e reduzir falsos positivos.
Prioridade para condições crônicas	Redirecionar o foco governamental para a inclusão do câncer de pulmão como uma prioridade de saúde pública.
Apoio governamental	Garantir apoio político e financeiro para a implementação de programas de triagem, especialmente nas comunidades mais vulneráveis.

Fonte: Adaptado de Raez *et al.* (2018). Nota: TCBD = Tomografia Computadorizada de Baixa Dose.

Apesar das evidências sobre o rastreamento por TCBD e os avanços em IA, um ponto importante de reflexão é que, mesmo havendo disponibilidade de infraestrutura para a realização dos exames e de ferramentas modernas para detecção e segmentação automática de

tumores, é igualmente necessária a adoção de estratégias ativas que potencializem o uso dessa estrutura disponível.

Como observado em Siegel *et al.* (2025), e corroborado por Japuntich *et al.* (2024, p. 1, tradução própria), há uma subutilização do rastreamento por TCBD, já que os “provedores de atenção primária raramente recomendam a triagem para câncer de pulmão a pacientes com histórico de tabagismo”. Esse ponto merece atenção, já que, como observado em Gridelli *et al.* (2015), o tabagismo é o principal fator de risco, sendo responsável por 85% dos casos de Carcinoma Pulmonar de Não Pequenas Células (CPNPC)

Em complementação a Raez *et al.* (2018) (veja Quadro 1), que apresentam soluções pontuais para problemas isolados, o modelo proposto nesta tese assume que “o combate ao câncer de pulmão deve ocorrer por meio de uma estratégia ativa e coordenada”. Embora não constitua uma solução definitiva, o modelo é dinâmico e passível de refinamento e ajustes ao longo do tempo. Ele apresenta e integra, de forma estratégica e holística, conceitos, abordagens e aspectos não contemplados por Raez *et al.* (2018) (como será explicado em 2.2.3), resultando em uma estrutura atualizada e alinhada ao pensamento de Rittel e Webber (1973) sobre os critérios para se enfrentar um *wicked problem*.

Para tanto, utiliza-se como pedra angular os conceitos de transdisciplinaridade, que extrapolam os da *Teoria Geral dos Sistemas* (Bertalanffy, 1968), como será explicado na Seção 2.1.14. Esses conceitos possuem um papel conectivo entre outros pressupostos, ideias e *insights*, resultando em um modelo amplo e capaz de abarcar a complexidade do problema. Como será apresentado na Seção 2.5, o *framework* proposto consiste em um sistema articulado, capaz de abordar múltiplos problemas simultaneamente, enquanto: (i) conduz ao objetivo principal da tese; (ii) contribui para o acesso equitativo aos métodos de diagnóstico por imagem, o que se entende por “superar as lacunas em imagem médica”; (iii) promove a criação de uma cultura participativa de combate à doença, contemplando aspectos da descentralização em saúde; e (iv) minimiza os impactos decorrentes da falta de infraestrutura em imagem.

A factibilidade e a viabilidade da implementação do *framework* na ALC são sustentadas pela crescente disponibilidade de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na região, como internet e dispositivos móveis. O uso de plataformas digitais e aplicativos móveis, como demonstrado no artigo *Digitalization in telehealth: an integrative review*, publicado junto à minha orientadora no *International Journal of Advanced Engineering Research and Science* (Celestino; Valente, 2021b) (veja o memorando breve no Apêndice A), facilita o acesso e a participação de pacientes e profissionais na saúde, mesmo em áreas com infraestrutura limitada.

Essa abordagem pode favorecer a proposição de estratégias e iniciativas de educação continuada na dimensão do ensino remoto, possibilitando a construção de uma comunidade de profissionais atualizados com as principais tendências de pesquisa na área, além de contribuir para a educação dos próprios usuários, por meio do compartilhamento de informações e

esclarecimento de dúvidas, por exemplo. Desse modo, reforça-se o compromisso com uma ciência mais aberta e acessível.

Em síntese, a presente tese se justifica por abordar um tema de grande relevância científica e social, com forte caráter transdisciplinar, abordagem humanizada e potencial para gerar impactos concretos tanto na sociedade quanto na continuidade de pesquisas acadêmicas. A escolha da ALC se deve ao seu potencial de expansão em investimentos na área da saúde, diante do cenário de desigualdade socioeconômica identificado no estudo global de Hricak *et al.* (2021).

1.7 Aderências da pesquisa

1.7.1 Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia

A grande área de conhecimento do Programa de Pós-graduação em Mídia e Tecnologia (PPGMiT) é a Multidisciplinar, com avaliação na área Interdisciplinar e base nas áreas de Engenharia, Tecnologia e Gestão. Dentro desse contexto, esta tese está vinculada à linha de pesquisa Tecnologias Midiáticas, pertencente à área de concentração Ambientes Midiáticos e Tecnológicos. Assim, a pesquisa desenvolvida está alinhada aos propósitos do PPGMiT em diversos aspectos, entre os quais se destacam:

- a. Os meios de disseminação da informação, englobando conceitos como telessaúde, telerradiologia, armazenamento em nuvem, uso de plataformas de videochamadas e aplicativos de *smartphones* para troca de mensagens e comunicação ágil, facilitando o fluxo informacional.
- b. A proposição de soluções digitais baseadas em IA, incluindo o pré-diagnóstico assistido por *deep learning* e a elaboração de laudos médicos por especialistas localizados em diferentes regiões.
- c. A inter e a transdisciplinaridade da pesquisa, que abrange simultaneamente temas das áreas da Saúde, da Ciência da Informação, da Ciência de Dados e de Processos Gerenciais, como o planejamento e a gestão estratégica, diretamente influenciados pelas tecnologias envolvidas.
- d. O uso de TIC: (i) no contexto educacional contemporâneo, viabilizando o desenvolvimento de cursos de capacitação e redes de colaboração entre profissionais especialistas, promovendo a troca de experiências e fortalecendo a qualificação na área; (ii) na comunicação informacional entre profissionais e o grande público, para esclarecimento de dúvidas, promoção de cursos e disponibilidade de informações; e (iii) para realizar estratégias de marketing e comunicação em massa por meio das mídias convencionais e digitais.

1.7.2 Desenvolvimento institucional, internacionalização e ODS

A presente pesquisa atende simultaneamente a diferentes critérios, alinhando-se aos anseios institucionais e de internacionalização da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), que visam a expansão de iniciativas descentralizadas ao nível global (São Paulo State University, 2018), aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos para a Agenda 2030 (Organização das Nações Unidas Brasil, 2025) e aos critérios de avaliação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), conforme descrito a seguir:

- a. **Plano de desenvolvimento da UNESP:** alinha-se à expansão por meio de parcerias internacionais inovadoras, considerando o período de doutorado sanduíche na Queen's University (de abril a agosto de 2024) e os objetivos propostos, considerando a cobertura geográfica de interesse.
- b. **Plano de internacionalização da UNESP:** alinha-se à integração de estratégias para estabelecer colaborações com centros internacionais de pesquisa e diagnóstico por imagem, promovendo intercâmbios, estágios e pesquisas conjuntas, contemplando o objetivo de enfrentar desafios globais de saúde.
- c. **Causalidade (direta/indireta):** a causalidade é direta ao abordar a escassez de recursos e profissionais em diagnóstico por imagem na ALC. Contribui, inicialmente, para identificar pontos de melhoria das políticas públicas de saúde e da infraestrutura em pequenos centros urbanos, influenciando a desigualdade no acesso ao diagnóstico por imagem e à promoção da saúde.
- d. **Temporalidade:** procura impactar o futuro imediato e próximo ao oferecer soluções práticas para agilizar o diagnóstico precoce do câncer de pulmão e a capacitação profissional por meio de cursos oferecidos remotamente, permitindo acesso às técnicas e tendências modernas em oncologia.
- e. **Impacto para a ciência e tecnologia:** a integração entre IA e telerradiologia para o diagnóstico por imagem pode originar e desenvolver novas abordagens tecnológicas, metodológicas e clínicas no campo da oncologia. Além disso, criam-se oportunidades de pesquisa, como o desenvolvimento ou refinamento de modelos de IA, a realização de estudos prospectivos ou a identificação de novas abordagens de expansão e aplicações das tecnologias digitais envolvidas.
- f. **Impacto econômico:** tem potencial para melhorar a eficiência do diagnóstico por imagem, impactando a gestão adequada do tratamento do câncer e reduzindo custos associados à gestão tardia da doença, uma vez que possui um forte caráter de antecipação de quadros mais graves e com possibilidade de cura. Pode, ainda, criar oportunidades regionais, como a geração de empregos e investimentos, aderindo ao interesse social.

g. **Impacto social:** pode reduzir a quantidade de mortes devido ao diagnóstico ágil e precoce da doença, além de alertar a população para a necessidade da prevenção, principalmente por meio da cessação do tabagismo, e adoção de estilo de vida saudável.

h. **Agenda 2030:** alinha-se com vários ODS, dentre os quais:

- **ODS 3 — Saúde e Bem-Estar:** promove a detecção precoce e o tratamento do câncer, melhorando a saúde e o bem-estar das populações subatendidas da ALC.
- **ODS 9 — Indústria, Inovação e Infraestrutura:** introduz soluções estratégicas na forma de realizar o exame de rastreamento por TCBD, superando as limitações estruturais locais. O uso estratégico de ferramentas modernas de IA, como apoio na triagem e no diagnósticos, conferem o caráter de inovação do modelo.
- **ODS 10 — Redução das Desigualdades:** foca na redução das desigualdades no acesso a diagnósticos e, consequentemente, a tratamentos oncológicos, especialmente em regiões com recursos limitados.
- **ODS 17 — Parcerias e Meios de Implementação:** contribui para indicar as áreas que requerem mobilização de recursos e estimula a promoção de parcerias para o desenvolvimento tecnológico, tanto numa perspectiva de pesquisa quanto de aplicação prática, fortalecendo a promoção global para atingir os ODS.

1.8 Potencial de replicação e expansão da pesquisa

A pesquisa tem como base o câncer de pulmão; entretanto, o plano possui flexibilidade que permite sua adaptação ao diagnóstico precoce de outros tipos de câncer, considerando as condições necessárias conforme as particularidades de cada um. Além disso, o plano é concebido de maneira genérica, pensando na implementação em um pequeno centro urbano, com possibilidade de expansão em larga escala, abrangendo cidades, estados, países e regiões, até atingir a cobertura da ALC. No entanto, devem ser avaliadas as particularidades de cada região e realizados estudos prévios de viabilidade para ajustar o plano e torná-lo realista e eficaz.

1.9 Resultados esperados

Os benefícios esperados do *framework* proposto incluem a otimização do diagnóstico precoce do câncer de pulmão por meio da integração entre o rastreamento por TCBD, a IA e a telerradiologia. Essa abordagem busca aprimorar a precisão e agilidade na detecção da doença, aumentando as taxas de sobrevivência, especialmente em estágios iniciais, em pacientes com perfil de risco. Além disso, espera-se que a aplicação do *framework* amplie o acesso ao diagnóstico em regiões com escassez de especialistas, facilite a capacitação contínua dos

profissionais de saúde e fortaleça a colaboração entre médicos, radiologistas e pacientes. Sua aplicação, ao integrar conhecimentos de diferentes áreas, pode não apenas melhorar a eficácia do diagnóstico precoce, mas também contribuir para um sistema de saúde mais resiliente e adaptável às necessidades da população da ALC.

2 DESENVOLVIMENTO

A tese realiza uma análise aprofundada do problema, utilizando um estudo transversal e dados bibliométricos para descrever, respectivamente, as desigualdades no acesso a recursos de imagem e profissionais na ALC, e o cenário de aplicações da IA em imagem médica, com ênfase em TC e RM. O detalhamento abrangente do cenário de equipamentos de diagnóstico por imagem, tratamento oncológico e médicos especialistas na ALC aprofunda e amplia as perspectivas do estudo global de Hricak *et al.* (2021), apresentado no relatório da *Lancet Oncology Commission*. Esses dados, associados à revisão da literatura, culminam na apresentação de um *framework* que, embora a implementação possa enfrentar desafios, conforme discutido na Seção 2.5.2, é considerado um passo inicial importante para a construção de um sistema de saúde mais equitativo e eficiente no ALC, no contexto investigado.

2.1 Revisão da literatura

Esta seção apresenta os eixos temáticos fundamentais para a compreensão da pesquisa, estruturados para refletir a natureza transdisciplinar do estudo. Inicialmente, aborda-se a saúde no contexto digital, destacando o papel das TIC na área. Em seguida, são explorados os métodos de imagem aplicados ao diagnóstico oncológico, com ênfase nos fundamentos da radiologia e nas principais técnicas utilizadas.

O câncer de pulmão, foco central do estudo, é contextualizado a partir de sua epidemiologia e das estratégias de diagnóstico precoce por TCBD, e são apresentadas evidências do uso da IA no diagnóstico por imagem oncológica. Além disso, aborda a desigualdade no acesso em saúde.

Exploram-se os fundamentos do planejamento estratégico em saúde, especialmente no que tange à inovação e ao planejamento situacional, essenciais para o desenvolvimento do *framework*. Por fim, a transdisciplinaridade é discutida como elemento integrador, a partir da *Teoria Geral dos Sistemas* e de conceitos como inovação, conhecimento e simetria da ignorância, reforçando a abordagem holística adotada ao longo do estudo.

2.1.1 Tecnologias digitais em saúde

O avanço da informática e a incorporação de novas tecnologias na área da Saúde têm alterado e continuarão a moldar as relações entre todos os envolvidos, desde clientes/pacientes até os profissionais e as próprias instituições. Desde a marcação de consultas virtuais (que podem ser realizadas por intermédio de um aparelho celular, por exemplo) até o compartilhamento de imagens diagnósticas, com retorno em poucas horas do laudo, a documentação eletrônica do prontuário de pacientes e outros processos têm sido acelerados.

Essa agilidade permite que gestores de Saúde tenham uma visão mais ampla de aspectos como epidemiologia, qualidade e custos envolvidos em um determinado sistema ou subsistema de Saúde, além de promover a saúde e a qualidade de vida dos usuários em geral. Logo, o uso das TIC, como a digitalização, associada ao desenvolvimento da internet, que atua como intermediário para a implantação e aplicabilidade de tais tecnologias, possibilita uma nova forma de “fazer saúde” por meio de inovações em áreas terapêuticas (medicina pessoal) e práticas digitais (terapias digitais, telessaúde baseada em dispositivos móveis) (Sandoval *et al.*, 2017; World Health Organization, 2019)

As tecnologias digitais em Saúde podem ser vistas como ferramentas que possibilitam o desenvolvimento de estratégias e procedimentos entre usuários e serviços de saúde, profissionais ou instituições, de maneira ubíqua, síncrona ou assíncrona, resultando no amplo acesso dos usuários, redução da distância geográfica e celeridade em diagnósticos e tratamentos. No que diz respeito aos aspectos tecnológicos, a *Lei n.º 8.080, de 19 de setembro de 1990* (Brasil, 1990a), referente ao Sistema Único de Saúde (SUS), estabelece algumas prerrogativas, das quais algumas são apresentadas no quadro 2.

Quadro 2 — O SUS e a inovação tecnológica em saúde

Artigo	Enunciado
Art. 6º, X	O SUS deve promover o desenvolvimento científico e tecnológico em sua área de atuação.
Art. 6º, § 3º, IV	O SUS visa avaliar o impacto que as tecnologias provocam à saúde.
Art. 13º, V	As comissões intersetoriais do SUS devem articular políticas e programas que envolvam ciência e tecnologia.
Art. 19º Q	O Ministério da Saúde é responsável pela incorporação, exclusão ou alteração de novos medicamentos, produtos e procedimentos, bem como pela constituição ou alteração de protocolo clínico ou de diretriz terapêutica no SUS.
Art. 19º Q, § 2º	As decisões sobre a incorporação de tecnologias no SUS devem considerar evidências científicas sobre eficácia, acurácia, efetividade e segurança, além de avaliação econômica comparativa dos benefícios e custos.
Art. 31º, § 5º	As atividades de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico em saúde devem ser cofinanciadas pelo SUS, universidades, orçamento fiscal, instituições de fomento e financiamento ou receita própria das instituições executoras.
Art. 46º	O SUS deve incentivar a participação do setor privado no investimento em ciência e tecnologia, além de estimular a transferência de tecnologia das universidades e institutos de pesquisa para os serviços de saúde nos estados, Distrito Federal e municípios, e empresas nacionais.

Fonte: Adaptado de Brasil (1990a). Nota: Art. = Artigo; SUS = Sistema Único de Saúde; § = Parágrafo.

Em 2015, visando à necessidade de organização de um Sistema Nacional de Informações em Saúde (SNIS), previsto no Artigo 47 da *Lei n.º 8.080, de 19 de setembro de 1990* (Brasil, 1990a), foi instituída a *Política Nacional de Informação e Informática em Saúde* (PNIIS)². Seu principal propósito é otimizar os recursos de governança em informática, com foco na inovação, criatividade e transformação por meio das tecnologias (Ministério da Saúde, 2016).

Essa política pública tem como princípios básicos a gestão da informação, a democratização do acesso à saúde, a segurança e a confidencialidade dos dados. Além disso, tem diretrizes alinhadas à Saúde Digital (e-saúde), como o fortalecimento da informatização e o desenvolvimento científico-tecnológico, e ao Governo Eletrônico (e-gov, do inglês *Electronic Government*), com o fomento e desenvolvimento profissional em informática em saúde e no desenvolvimento de “*software* como bem de interesse público” (Ministério da Saúde, 2016, p. 15).

Na 71ª *World Health Assembly*, em 2018, foram apresentadas resoluções para impulsionar a e-saúde nos países membros da World Health Organization (WHO), incluindo a criação de um repositório sobre regulamentações e evidências. Esse repositório abrangeria informações sobre impactos positivos e não intencionais das tecnologias digitais na promoção da saúde, prevenção de doenças, acesso a serviços, qualidade, custo-efetividade e melhores práticas, com contribuições voluntárias dos estados-membros (World Health Organization, 2018).

Algumas recomendações para os países membros em relação às tecnologias digitais incluem: (i) acesso a sistemas digitais em diferentes níveis; (ii) integração de sistemas já existentes; (iii) interoperabilidade e melhor tratamento de dados entre cidadãos, profissionais de saúde e governo; e (iv) melhor relação custo-benefício. Dessa forma, busca-se estabelecer uma saúde inclusiva, acessível a todas as pessoas. Destaca-se a necessidade de uma abordagem centrada no cidadão, com interconexão entre as diferentes tecnologias digitais (World Health Organization, 2018).

O e-saúde é um termo que representa o uso de TIC na área da saúde, contribuindo tanto para a organização e agilidade no fluxo de informações, favorecendo processos gerenciais e de governança, quanto para a educação profissional. Já a Saúde Móvel (mHealth, do inglês *Mobile Health*) refere-se ao uso de dispositivos móveis, como telefones celulares, dispositivos de monitoramento de pacientes, assistentes pessoais digitais e dispositivos sem fio, para práticas médicas e de saúde pública. Essa expansão global do mHealth tem sido impulsionada pelo aumento exponencial no uso de dispositivos móveis em todo o mundo. De 2,2 bilhões de assinaturas globais de telefones celulares em 2005, havia mais de 7 bilhões até o final de 2015, com o maior crescimento ocorrendo nos países em desenvolvimento (World Health Organization, 2018).

² A versão atualizada da Política Nacional de Informação e Informática em Saúde é apresentada na Resolução n.º 659, de 26 de julho de 2021 (Brasil, 2021).

Os benefícios do mHealth incluem maior acesso aos cuidados de saúde, autocuidado facilitado, comunicação direta entre pacientes e profissionais de saúde, e melhor eficiência e qualidade dos serviços médicos. No entanto, desafios como segurança dos dados e regulamentações adequadas precisam ser abordados para garantir o sucesso contínuo desse mercado.

Segundo o Internet World Stats (2022), que analisa e compara usuários da internet em escala global, adota-se uma definição ampla, considera-se como “usuário da internet” qualquer pessoa que atualmente consiga utilizá-la. De acordo com esse critério, estima-se que em maio de 2021 havia 160.010.801 usuários da internet no Brasil, correspondendo a uma taxa de 74,8% de usuários ativos. Além disso, estima-se que haveriam aproximadamente 257.814.274 assinaturas de telefones celulares até 15 de dezembro de 2022.

De acordo com dados da *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua* (PNAD Contínua) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022), realizada no segundo semestre de 2019, pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática, em um total de 71.127 domicílios brasileiros, destacam-se algumas informações sobre o uso de dispositivos móveis e da internet: (i) a presença de computadores ou *tablets* nos domicílios foi registrada em 41,4% das residências para computadores, 11,6% para *tablets* e 9,3% possuíam ambos; (ii) em relação à posse de telefone celular, 94,4% dos domicílios tinham ao menos um celular, sendo 96% nas áreas urbanas e 84,3% nas áreas rurais; entretanto, 4% das áreas urbanas e 15,7% das áreas rurais não possuíam telefone celular; (iii) sobre o acesso à internet, 87,4% dos domicílios tinham acesso à internet, sendo 91,6% nas áreas urbanas e 61,6% nas áreas rurais; por outro lado, 12,6% dos domicílios não usavam a internet, sendo 8,4% nas áreas urbanas e 38,4% nas áreas rurais; (iv) em relação aos equipamentos utilizados para acessar a internet, 45,1% dos domicílios utilizavam computadores, sendo 47,9% nas áreas urbanas e 19% nas áreas rurais; (iv) o telefone celular era utilizado por 99,6% dos domicílios, tanto em áreas urbanas quanto rurais; e (iv) a televisão era utilizada para acesso à internet em 32,7% dos domicílios, sendo 34,9% nas áreas urbanas e 12,9% nas áreas rurais.

A expansão e o acesso aos *smartphones* oferecem uma oportunidade para o mHealth impactar os serviços de saúde em uma escala ainda maior. Em muitos países de baixa e média renda, as taxas de assinatura de telefones celulares são comparáveis às dos países de alta renda, indicando uma crescente disseminação da tecnologia móvel. No entanto, desafios como o custo dos dispositivos e planos de dados, infraestrutura de rede limitada, falta de literacia digital e barreiras culturais ou sociais ainda precisam ser superados. Com a redução contínua de custos, a adoção da internet móvel tende a se expandir globalmente, impulsionando o crescimento do mHealth (World Health Organization, 2018).

No contexto desta tese, o mHealth pode assumir um papel estratégico, permitindo a centralização de diversas ações, como a divulgação da campanha de rastreamento do câncer de pulmão, informações ao público, agendamento de consultas, canais de esclarecimento de

dúvidas, acesso a conteúdos educativos e realização de reuniões *online*.

2.1.2 O Sistema Único de Saúde

A saúde é considerada um direito fundamental do ser humano. Conforme previsto no Artigo 196 da *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988* (Brasil, 1988), “a saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação”.

O conceito de saúde previsto nessa Constituição foi fundamental para a criação do SUS, considerado um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo, garantindo acesso universal e gratuito para toda a população brasileira, desde serviços de atenção primária, focada na prevenção, até serviços especializados, como internações e transplantes (Brasil, 1990a).

Os Artigos 197 e 198 dessa *Carta Magna* tratam, respectivamente, da regulamentação, fiscalização e controle das ações e serviços de saúde, e da descentralização das responsabilidades para os municípios, que desempenha um papel importante na aplicação das estratégias de saúde, além da participação social, representada, por exemplo, pelo Conselho de Saúde, conferindo ao sistema um caráter democrático (Brasil, 1988).

Em complemento a isso, a *Lei n.º 8.080, de 19 de setembro de 1990* (Brasil, 1990a) define o papel do Estado como zelador da saúde do povo brasileiro, sendo responsável pela identificação de fatores que caracterizem a saúde, pela disponibilidade de condições para o funcionamento das políticas de saúde, pela análise e incorporação de novas tecnologias em saúde, dentre outras questões burocráticas e condicionais para a promoção da saúde.

A concepção do SUS foi fundamentada por leis que estabeleceram os princípios da inclusão social e do bem-estar coletivo (Brasil, 1990a, 1990b). Essas normas garantem que o sistema ofereça atendimento igualitário a todas as pessoas, independentemente de fatores como classe social, raça ou outras diferenças individuais.

A gestão do SUS é compartilhada entre União, Estados e Municípios, que atuam integradamente para oferecer atendimento de qualidade. Seus princípios incluem a universalidade, assegurando acesso a todos; a equidade, que busca reduzir desigualdades; e a integralidade, que considera o indivíduo em sua totalidade (Brasil, 1990a). Apesar dos desafios, o SUS é um patrimônio dos brasileiros e um exemplo de sistema público de saúde.

Ele desempenha um papel importante em diversas áreas relacionadas à saúde no Brasil, como pesquisa, implementação de tecnologias, vacinação, hemoderivados, vigilância epidemiológica e informatização. Além disso, esse sistema é responsável por avaliar o impacto de diferentes tecnologias na saúde antes de incorporá-las em estratégias públicas, é referência mundial no combate ao tabagismo e em campanhas de vacinação, além da

distribuição de medicamentos, embora a distribuição dos serviços ainda apresente desigualdades no país.

2.1.3 Saúde descentralizada

A saúde descentralizada, representa um modelo de gestão inovador que busca aproximar o poder de decisão da realidade local e das necessidades da população. Ao distribuir as responsabilidades entre os níveis de governo municipal, estadual e federal, a descentralização permite que as ações e serviços de saúde sejam planejados e executados de forma mais eficiente e personalizada, considerando as particularidades de cada região (Brasil, 1988, 1990a, 1990b).

Para a presente tese, adota-se, sobretudo, o princípio da **regionalização** (Brasil, 1990a), que desempenha um papel crucial na organização dos serviços de saúde em redes hierarquizadas. De forma prática, se relaciona as estratégias adotadas no *framework*, como será visto na Seção 2.5, a respeito da criação de parcerias entre cidades que não dispõe de estrutura para realização dos exames de TCBD e outras que podem atender a essa demanda.

Segundo Bousquat *et al.* (2019), a regionalização é um componente organizativo central do SUS, promovendo redes integradas de atenção à saúde. No entanto, sua implementação ainda enfrenta fragilidades políticas, estruturais e organizacionais. A atenção primária à saúde, por exemplo, não se consolidou como porta de entrada preferencial, e os mecanismos de coordenação do cuidado seguem limitados, comprometendo a efetividade plena desse princípio.

Ainda assim, parte-se do pressuposto de que a regionalização pode contribuir de forma relevante para o *framework*, sobretudo no que se refere à ampliação do acesso da população aos serviços de diagnóstico por imagem em regiões com maior deficiência estrutural.

2.1.4 Telessaúde, telemedicina e telerradiologia: definições e aplicações

Desde o início da pandemia de Covid-19, causada pelo coronavírus SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*), acompanhamos um grande período de transformação digital, adaptação e inovação por parte de empresas e serviços em todos os segmentos. Esse processo acelerado tem impactado diretamente a área da saúde e contribuído para a adesão e o fortalecimento da saúde remota, mediada pela telessaúde (Celestino; Valente, 2021b).

O conceito de **telessaúde** adotado neste trabalho refere-se à interação entre um profissional de saúde e um paciente à distância, podendo ocorrer em tempo real, por meio de chamadas telefônicas ou videoconferências, ou de forma assíncrona, como no envio posterior da análise de informações médicas. Utilizando as TIC, essa modalidade viabiliza a troca de

informações para diagnóstico, tratamento, pesquisa e educação continuada de profissionais de saúde, sendo especialmente relevante para populações em áreas remotas ou com acesso limitado a serviços médicos (World Health Organization, 2016).

Na prática, a telessaúde ganhou destaque importante no cenário brasileiro e mundial durante a pandemia de Covid-19, oferecendo uma alternativa eficiente para serviços de saúde, como teletriagem e consultas virtuais. Isso contribuiu para os pacientes serem classificados antes de chegarem ao serviço de saúde, evitando o deslocamento de pacientes assintomáticos às unidades de saúde e direcionando os casos mais graves aos hospitais.

Entretanto, vale mencionar que esse mesmo período destacou as desigualdades no acesso à saúde na América Latina e impulsionou a adoção de serviços de telemedicina como ferramenta fundamental para alcançar tanto a população urbana quanto a rural (Camacho-Leon *et al.*, 2022; Al-Dahery *et al.*, 2023).

No Brasil, o Conselho Federal de Medicina (CFM) definiu a **telemedicina** na Resolução n.º 2.314, de 20 de abril de 2022 (Brasil, 2022), como sendo “[...] o exercício da medicina mediado por TDIC, para fins de assistência, educação, pesquisa, prevenção de doenças e lesões, gestão e promoção da saúde”. Essa perspectiva abarca outras modalidades, como teleconsulta, telediagnóstico, telecirurgia, entre outras, reforçando a amplitude e a expansão da saúde para uma esfera de ubiquidade, graças à mediação dessas tecnologias, incluindo a internet.

As medidas concernentes ao uso da telemedicina e suas vertentes, além de contribuírem para a segurança do paciente, evitam a sobrecarga do sistema de saúde. Dessa forma, além de aumentar a eficiência operacional, a telessaúde amplia o acesso a profissionais especializados, promovendo uma saúde mais acessível para todos (Caetano *et al.*, 2020). Países como Chile, Equador e Uruguai lideram na implementação dos serviços de telemedicina durante a pandemia, servindo como referência para a América Latina (Camacho-Leon *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a **telerradiologia** é uma prática que envolve a aquisição, transmissão e interpretação de imagens radiológicas por meio de TDIC. Ela permite que radiologistas analisem imagens de exames realizados em locais remotos, utilizando tanto tecnologias avançadas de pós-processamento de imagens (como *workstations* — estações de trabalho), quanto dispositivos mais simples (como *smartphones*, observando as legislações que dispõe sobre seu uso). Essa modalidade tem sido amplamente utilizada em diferentes contextos clínicos e apresenta vantagens, como a agilidade no acesso às imagens e laudos especializados, e a possibilidade de manipular imagens, melhorando a relevância de achados clínicos para o diagnóstico (World Health Organization, 2009; Bashshur *et al.*, 2016).

O estudo de Al-Dahery *et al.* (2023) analisou a opinião de 102 radiologistas, dos quais 85% eram residentes ou radiologistas consultores, sobre a importância da telerradiologia durante a pandemia. Dentre os benefícios identificados estão: o acesso a imagens médicas e históricos clínicos, principalmente em regiões remotas; a redução do risco de infecção; o

aumento na produtividade; e a melhoria da comunicação entre os profissionais da saúde.

Por outro lado, Bashshur *et al.* (2016) analisaram o custo-efetividade da telerradiologia em comparação com a radiologia convencional, concluindo que a telerradiologia pode gerar economias significativas e melhorar a eficiência dos serviços de saúde. Entre os benefícios identificados estão reduzir custos com viagens, acomodações e hospitalizações para os pacientes, além de uma utilização mais eficiente das instalações de saúde, liberando leitos hospitalares para novos pacientes.

Um exemplo de implementação da telerradiologia na ALC foi o *Programa Nacional de Telerradiologia* no Panamá, cujo objetivo era oferecer serviços de radiologia em todo o território nacional, com ênfase nas regiões sem radiologistas, já que a maioria desses especialistas se concentra na Cidade do Panamá. O sistema, composto por equipamentos digitais de raios X interconectados por satélite, cria uma “ponte” entre as imagens, os radiologistas e a sua origem de solicitação (Fernandez; Oviedo, 2011).

A sustentabilidade desse programa foi comprometida por fatores como a falta de treinamento contínuo do pessoal, a manutenção inadequada dos equipamentos e a comunicação limitada entre autoridades locais e nacionais. Isso destaca a importância do treinamento regular, do suporte técnico e do planejamento estratégico para garantir o sucesso de programas de telerradiologia (Fernandez; Oviedo, 2011).

Esses desafios na implementação de estratégias de telerradiologia expressam como exemplo a dependência de infraestrutura tecnológica a falta de regulamentação adequada, limitações de infraestrutura, como acesso à internet e dispositivos eletrônicos, e a ausência de diretrizes claras para o uso de ferramentas digitais (Camacho-Leon *et al.*, 2022; Al-Dahery *et al.*, 2023) podem comprometer a efetividade e a escalabilidade dessas iniciativas, especialmente em contextos com desigualdades regionais.

2.1.5 Métodos de imagem diagnóstica

A Radiologia tem sua origem na descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen, que utilizou as pesquisas de Lenard e Halls para produzir um “novo tipo de raio” (primeiro comunicado de Röntgen), denominado raios X ou radiação X (Martins, 1998). Os raios X são ondas eletromagnéticas, classificadas como radiações ionizantes. Podem ser originados de fontes naturais, como a radiação cósmica (Knoll, 2010), ou produzidos artificialmente por equipamentos que incluem um gerador e um tubo de raios X (Bushberg *et al.*, 2011), com vasta aplicação na área da Saúde e Industrial.

A aplicação dos raios X na área médica deu origem ao diagnóstico por imagem, um campo da medicina que utiliza diversas tecnologias para criar imagens visuais do interior do corpo humano, a fim de diagnosticar, monitorar e tratar doenças. Essas tecnologias podem empregar radiação ionizante (radiografias, TC, mamografia) ou radiações não ionizantes (ultrassonografia, RM), consideradas mais seguras para certos pacientes (Romans, 2011;

Westbrook; Talbot, 2018; Comissão De Proteção Radiológica, 2022).

A radiografia foi o primeiro método de visualização interna do corpo humano desde sua descoberta por Röntgen em 1895 (Martins, 1998), evoluindo para métodos digitais, como a Radiografia Computadorizada e a Radiografia Digital. Costuma-se chamar de Radiografia Computadorizada o método indireto, no qual um cassete com uma placa de fósforo passa por uma leitora antes de a imagem ser visualizada em um monitor. Por outro lado, utiliza-se o termo Radiografia Digital quando uma placa detectora é utilizada e a imagem é exibida quase que imediatamente no monitor, sem o uso de uma leitora.

Entretanto, ambos os métodos podem ser considerados parte da Radiologia Digital (Bontrager; Lampignano, 2015). Na prática em radiologia, ela se mantém como um exame inicial de baixo custo, atendendo a solicitações de exames desde clínicos gerais a especialistas diversos, como pediatras, pneumologistas e ortopedistas, sendo considerada um exame essencial de imagem no suporte à clínica médica.

A TC utiliza raios X de alta potência, detectores e um sistema de processamento digital para gerar imagens detalhadas de cortes transversais do corpo humano (Comissão De Proteção Radiológica, 2022). Combinando projeções de raios X em ângulos variados, a TC permite reconstruções tridimensionais precisas de órgãos, ossos, vasos sanguíneos e tecidos (Romans, 2011). Isso possibilita a visualização da profundidade das estruturas na imagem de TC, eliminando as sobreposições anatômicas que ocorrem nas radiografias. Esse nível de detalhamento é essencial para detectar doenças, monitorar tratamentos e guiar intervenções médicas, tornando a TC uma ferramenta indispensável na medicina moderna.

A base física da RM envolve princípios de eletromagnetismo, supercondutividade e processamento de sinais, elementos essenciais para compreender seu funcionamento e aplicações clínicas. Ela é amplamente utilizada para diagnósticos de alta precisão e monitoramento de condições de saúde variadas (Westbrook; Talbot, 2018; Comissão de Proteção Radiológica, 2022). Utilizando campos magnéticos e ondas de rádio, a RM permite a análise anatômica e funcional de quase todas as partes do corpo, sendo especialmente eficaz em tecidos moles, como o cérebro e as articulações.

Uma revisão de literatura de Hochegger *et al.* (2012) mostrou que a RM tem avançado significativamente no diagnóstico e estadiamento do câncer de pulmão. As principais indicações clínicas dessa modalidade de imagem no estudo pulmonar incluem o estadiamento de tumores pulmonares, a avaliação de doenças vasculares pulmonares e a investigação de anormalidades em pacientes para os quais a exposição à radiação não é recomendada. De acordo com essa revisão, a RM é tão precisa quanto a Tomografia por Emissão de Pósitrons associada à Tomografia Computadorizada (PET/CT, do inglês *Positron Emission Tomography–Computed Tomography*)³ com 18F-fluorodesoxiglicose (FDG)⁴, para

3 Esse método é uma combinação (fusão) entre PET e TC, fornecendo maior acurácia diagnóstica do que os métodos separados. A sigla foi mantida como em inglês por ter seu uso consagrado na área médica.

4 É um marcador radioativo, uma substância que emite radiação sendo utilizada em exames de imagem para diagnosticar doenças ao destacar órgãos, tecidos ou funções biológicas.

pacientes com essa patologia.

Ainda de acordo com Hochhegger *et al.* (2012), a RM também se destaca na caracterização de nódulos pulmonares, identificando câncer de pulmão e distinguindo-o de alterações secundárias, como atelectasia ou pneumonite. Além disso, essa modalidade apresenta sensibilidade elevada em sequências de pulso específicas para supressão de sinais de gordura, sendo aplicada no diagnóstico de inflamações, tumores e lesões musculares (Westbrook; Talbot, 2018). Isso resulta em precisão superior, especialmente útil para avaliar linfonodos mediastinais e guiar o tratamento de pacientes com CPNPC.

A Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET, do inglês *Positron Emission Tomography*)⁵, é uma técnica de imagem molecular utilizada na MN, que permite a visualização de processos metabólicos e fisiológicos no corpo humano. A PET envolve a administração de um marcador radioativo, composto por isótopos de elementos como o Flúor-18, que emitem pósitrons. Esse marcador radioativo é introduzido no corpo do paciente, usualmente por injeção intravenosa, e possibilita a obtenção de imagens detalhadas dos processos fisiológicos e moleculares, como o metabolismo celular, a perfusão sanguínea e a atividade cerebral (Phelps, 2000). Esses pósitrons interagem com elétrons, resultando na emissão de raios gama, detectados por um *scanner* (escâner) especializado, permitindo a reconstrução de imagens de alta resolução das áreas de interesse.

A imagem gerada pela PET reflete a distribuição espacial dos radionuclídeos no corpo, permitindo a visualização e quantificação de processos biológicos em tempo real. Ela é particularmente útil para o diagnóstico e monitoramento de condições como câncer, doenças cardíacas e distúrbios neurológicos, proporcionando informações detalhadas sobre a atividade biológica e molecular dos tecidos (Phelps, 2000).

A MN é crucial para a gestão do câncer, abrangendo diagnóstico, planejamento terapêutico e acompanhamento clínico dos pacientes (Lapi; McConathy, 2021). A International Atomic Energy Agency (2016, tradução própria) afirma: “[...] as necessidades de saúde das populações não podem ser atendidas sem acesso a imagens médicas e MN apropriadas, de alta qualidade e acessíveis, variando de raios X convencionais a técnicas nucleares complexas e procedimentos minimamente invasivos guiados por imagem.”

No contexto global, o American College of Radiology (2025) desenvolveu diretrizes conhecidas como *Appropriateness Criteria*, que fornecem critérios e recomendações baseadas em evidências sobre o uso seguro e eficaz de métodos de imagem e MN. Alguns exemplos de aplicações da MN incluem o estadiamento clínico não invasivo do câncer de pulmão primário (Antoch, 2003; Silvestri *et al.*, 2013).

2.1.6 Radiação ionizante e proteção radiológica

Radiação, sob a perspectiva da física, é a “emissão e propagação de energia através de

⁵ A sigla foi mantida como em inglês por ter seu uso consagrado na área médica.

ondas ou partículas” (Michaelis, 2025). A radiação ionizante é um tipo de energia emitida por fontes naturais, como elementos radioativos e processos astrofísicos, além de tecnologias como os raios X. Ela possui energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos formando íons, em um processo chamado ionização. Esse processo pode causar danos biológicos ao interagir com células vivas (Baatout, 2023). Por essa razão, há preocupações quanto à dose emitida por exames de imagem que utilizam esse tipo de energia, como TC, levando a estudos sobre redução de dose de radiação.

A dose de radiação representa a energia depositada nos tecidos biológicos, sendo considerada uma medida essencial para avaliar seus efeitos. Ela pode ser comparada à exposição à radiação não ionizante, como os raios ultravioleta, em que a intensidade e a duração influenciam os danos. No entanto, a radiação ionizante possui maior energia e potencial para causar mutações genéticas e câncer (International Commission on Radiological Protection, 2007), de modo que sua aplicação no diagnóstico por imagem mais crítica na TC, pois apresenta os níveis mais altos de dose (Rothenberg; Pentlow, 1992).

A radiação ionizante pode causar danos diretos ou indiretos aos tecidos. Raios X e radiação gama geram ionização indireta, enquanto partículas alfa, beta, nêutrons e prótons causam ionização direta. Esses efeitos são classificados como determinísticos e estocásticos. Os determinísticos, como a morte celular, têm limiar de dose, ou seja, ocorrem apenas quando a dose ultrapassa um determinado valor. Já os efeitos estocásticos, como o câncer, ocorrem proporcionalmente à dose e podem causar danos genéticos às células (International Commission on Radiological Protection, 1996; Baatout, 2023).

A proteção radiológica baseia-se nos princípios de justificação, otimização e limitação da dose. A justificação garante que a exposição traga mais benefícios do que riscos. Por outro lado, o princípio da otimização, Tão Baixo Quanto Realmente Exequível (ALARA, do inglês *As Low As Reasonably Achievable*), visa manter a dose tão baixa quanto possível para realizar o diagnóstico (International Commission on Radiological Protection, 2007).

No que diz respeito à limitação de dose, ela não é recomendada para pacientes, e a otimização se destaca nesse aspecto (International Commission on Radiological Protection, 2007). Contudo, vale destacar que não existe um limite mínimo seguro para os efeitos estocásticos — que podem ocorrer independentemente da dose, embora sua probabilidade aumente com a exposição (Brasil, 2024).

2.1.7 Desigualdades no acesso em diagnóstico por imagem

O relatório da Lancet Oncology Commission destaca a escassez de equipamentos de imagem e MN, a falta de profissionais qualificados (radiologistas e médicos nucleares) e a deficiência na cadeia de suprimentos de radiofármacos em países de baixa e média renda (Hricak *et al.*, 2021). Entretanto, segundo esse mesmo relatório, não há um consenso sobre a distribuição adequada de recursos de imagem, equipamentos e profissionais para atender à

demanda por imagem no contexto da oncologia. No Brasil, tem-se a Portaria n.º 1.631/2015 (Brasil, 2015) que, apesar de não tratar especificamente da área da oncologia, pode servir como ponto de partida para avaliar a distribuição de alguns equipamentos para diagnósticos complexos, como TC e RM, e médicos (veja 2.3.9.8).

Em países de alta renda, um único tomógrafo atende 25.000 pessoas, enquanto, em países de baixa renda, um único equipamento é utilizado para atender 1.694.000 pacientes — o que, aparentemente, pode gerar uma sobrecarga na demanda por atendimento, a depender das necessidades específicas de cada região (Hricak *et al.*, 2021). Essa discrepância também se observa em outros equipamentos de imagem e na distribuição de profissionais, como será apresentado na Seção 2.3.5.

Camacho-Leon *et al.* (2022) destacam que os sistemas de saúde na América Latina são fragmentados entre instituições públicas e privadas, com variações regionais no acesso a instalações e profissionais médicos. Logo, para garantir a cobertura de saúde na região, são necessários maiores investimentos e esforços para atender às necessidades das populações latino-americanas.

2.1.8 O câncer de pulmão

Em 2022, entre os tipos de câncer, o câncer de pulmão foi o mais comum, seguido pelos cânceres de mama e colorretal, representando, respectivamente, 12,4%, 11,5% e 9,6% do total de casos (Global Cancer Observatory, 2022). Considerando o envelhecimento populacional, os aspectos relacionados à qualidade de vida e o desenvolvimento econômico, Schlemmer *et al.* (2018) sugerem que esse problema tende a se agravar. Esse cenário, aliado às projeções de aumento nos novos casos, evidencia a necessidade de uma ação global e coordenada, baseada em medidas preventivas e de controle, adaptadas às particularidades de cada região. Além disso, dada a diversidade de tipos de câncer, as estratégias devem ser direcionadas a cada um, considerando suas peculiaridades, como epidemiologia, taxas de sobrevida e tratamentos.

O câncer de pulmão inclui dois tipos principais: câncer de pulmão de não pequenas células e câncer de pulmão de pequenas células. O tabagismo é a principal causa da maioria dos casos de câncer de pulmão, mas não fumantes também podem desenvolvê-lo (National Cancer Institute, 2025, tradução própria).

Conforme a afirmação de Proctor (2001, p. 82, tradução própria): “O tabaco é a causa de morte mais evitável do mundo”. Nesse contexto, a implementação de estratégias eficazes de combate ao tabagismo, aliada à melhoria da capacidade diagnóstica e de tratamento dos sistemas de saúde, é essencial para reduzir o impacto dessa doença.

Não existem sintomas específicos para o câncer de pulmão. Alguns sinais de alerta para o câncer de pulmão incluem tosse persistente, hemoptise⁶, perda de peso e dispneia.

⁶ É a tosse que expele sangue ou secreção sanguinolenta.

Logo, o diagnóstico do câncer de pulmão envolve uma avaliação abrangente, que pode ser compreendida em quatro etapas (Hendriks *et al.*, 2024), as quais são:

- Avaliação geral, em que são avaliados o histórico médico, como tabagismo e comorbidades, além de exames laboratoriais, como hematológicos ou bioquímicos ósseos.
- Testes funcionais, como eletrocardiograma, função pulmonar ou gases sanguíneos.
- Estadiamento, que envolve o uso de métodos de imagem, como TC de tórax e abdome superior, RM de encéfalo (em estágios avançados) e PET/CT com FDG.
- Diagnóstico morfológico, realizado por meio de broncoscopia ou biópsia transtorácica.

Apesar dos avanços no controle do tabagismo, o câncer de pulmão ainda causa mais mortes do que os cânceres colorretal, de mama e de próstata juntos. A mortalidade tem caído devido à redução do tabagismo, diagnóstico precoce e melhores tratamentos, com aumento da sobrevida em câncer de pulmão não pequenas células. Porém, a triagem por TCBD é pouco utilizada, e muitos casos são detectados tardiamente, limitando a sobrevida geral (Siegel *et al.* 2025).

2.1.9 Atraso no diagnóstico e no tratamento do câncer de pulmão

O estudo de Henschke *et al.* (1997) mostrou que **o diagnóstico oportuno é crucial para melhorar as taxas de sobrevivência no câncer de pulmão**, com suas descobertas apoiando o desenvolvimento de ferramentas avançadas de diagnóstico para facilitar a detecção e o tratamento precoces.

O *National Lung Screening Trial* (NLST) (National Lung Screening Trial Research Team, 2011) foi um estudo clínico que comparou a eficácia da TCBD e da radiografia de tórax na detecção precoce do câncer de pulmão. A pesquisa, que envolveu 53.454 fumantes e ex-fumantes, demonstrou que a TC reduz o risco de morte por câncer de pulmão em 15 a 20%. Nessa perspectiva, Huo *et al.* (2017) identificaram que a radiografia não é tão eficaz quanto a TC na detecção precoce desse câncer. Apesar disso, o uso da radiografia de tórax no rastreamento continua a ser realizado por razões como desconhecimento ou resistência à adoção de novas diretrizes com ênfase na TC.

A revisão sistemática de Zuniga e Ost (2021) identificou que **atrasos no tratamento do CPNPC têm impactos variáveis na sobrevivência, dependendo do estágio da doença**. Os estágios intermediários são mais críticos, enquanto, para os estágios mais avançados, os atrasos podem parecer menos prejudiciais, possivelmente devido aos cuidados paliativos, voltados à qualidade de vida e não mais em estratégias de cura.

Por fim, o estudo de Maiga *et al.* (2017), que investigou os intervalos entre a identificação, o diagnóstico e a ressecção do câncer de pulmão, com uma mediana de 98 dias entre a identificação do nódulo e a cirurgia, demonstrou que não houve associação significativa entre atrasos superiores a 60 dias e a progressão do estágio tumoral ou o comprometimento de linfonodos. As principais causas de atraso identificadas foram: avaliação cardíaca (46%), estadiamento (35%) e cessação do tabagismo (29%).

Apesar de perspectivas divergentes, os estudos supracitados mostram implicações que incluem:

- a. A necessidade de diagnósticos rápidos e planejamento eficiente, sem comprometer a qualidade do estadiamento e da avaliação terapêutica;
- b. A integração de tecnologias, como biomarcadores, modelos preditivos e exames de imagem, utilizados para estimar o crescimento tumoral, que pode otimizar algoritmos diagnósticos, acelerando o tratamento para casos prioritários e evitando procedimentos desnecessários;
- c. Educação e suporte ao paciente como estratégias para redução de atrasos, incluindo programas para cessação do tabagismo e comunicação clara e assertiva sobre os prazos e a importância da adesão ao tratamento.

2.1.10 Rastreamento do câncer de pulmão por TCBD

O rastreamento por TCBD é um exame preventivo que utiliza TC com baixa radiação para detectar precocemente câncer de pulmão em pessoas assintomáticas, reduzindo o risco de mortalidade em populações de alto risco, como fumantes e ex-fumantes (National Cancer Institute, 2024). A U.S. Preventive Services Task Force (2021, tradução própria) recomenda:

[...] a realização anual de rastreamento para câncer de pulmão por meio de Tomografia Computadorizada de Baixa Dose (TCBD) em adultos com idade entre 50 e 80 anos, com histórico de tabagismo de 20 anos-maço, que atualmente fumam ou tenham parado de fumar nos últimos 15 anos. O rastreamento deve ser interrompido quando a pessoa tiver deixado de fumar há mais de 15 anos ou desenvolver um problema de saúde que limite substancialmente sua expectativa de vida ou sua capacidade ou disposição de se submeter a cirurgia pulmonar curativa.

Segundo o documento técnico e científico de saúde pública *Detecção Precoce do Câncer*, publicado pelo Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (2021), **o rastreamento do câncer de pulmão apresenta a possibilidade de salvar três vidas a cada mil pessoas com o perfil de risco, no caso de a doença ser identificada em estágios iniciais e tratáveis. Cerca de 180 pessoas terão resultados falso-positivos, o que pode gerar ansiedade e exames adicionais, incluindo 13 biópsias invasivas. Por fim, quatro casos podem representar sobrediagnóstico, com tratamentos desnecessários.** Desta forma,

implementação deve seguir critérios rigorosos, considerando, benefícios e riscos, como as complicações que podem ser ocasionadas por esse exame.

No Brasil, o *Programa de Rastreamento de Câncer de Pulmão* do Hospital de Amor (2020) é uma iniciativa pioneira na América Latina visando reduzir a mortalidade por câncer de pulmão. Esse programa atua conforme as proposições identificadas na literatura, combinando o rastreamento ativo por TCBD e estratégias de prevenção primária, com grupos de cessação de tabagismo. Cerca de um ano após o lançamento, o programa, gratuito pelo SUS, chegou a atender 18 municípios da região de Barretos–SP.

Nesse programa, **o exame de imagem é oferecido por meio de uma unidade móvel de TC**, apresentando-se como uma estratégia para lidar com a escassez de equipamentos e problemas de infraestrutura em regiões mais pobres. Além disso, conta com o serviço de telelaudo e atua como colaborador em um consórcio de pesquisa internacional, o *International Lung Cancer Consortium*.

“Os critérios para o rastreamento são: que a pessoa seja fumante ou ex-fumante (neste segundo caso, que tenha parado há menos de 15 anos), possua entre 55 e 75 anos e histórico de consumo maior ou igual a 30 anos-maço (número de anos que fumou multiplicado por quantos maços fumava por dia, resultando no número de anos-maço)⁷ (Hospital de Amor, 2020).” Essa recomendação do Hospital de Amor (2020) estabelece critérios mais restritivos para o rastreamento, em comparação à U.S. Preventive Services Task Force (2021), que adota uma estratégia mais abrangente e precoce. Até a data da publicação da matéria, cerca de 500 exames haviam sido realizados, com um caso confirmado e nove em investigação⁸.

Hendriks *et al.* (2024) analisaram Ensaaios Clínicos Randomizados (RCT, do inglês *Randomized Controlled Trials*)⁹ sobre TCBD. Os resultados indicam que esse método reduz a mortalidade específica por câncer de pulmão em populações de risco, como fumantes e ex-fumantes. No entanto, os impactos na mortalidade geral variam conforme o desenho do estudo e o período de seguimento, destacando a necessidade de triagens bem estruturadas. O quadro 3 apresenta uma seleção de artigos sobre rastreamento por TCBD, com ênfase em estudos prospectivos e RCT.

⁷ Esse cálculo se refere à denominada carga tabágica.

⁸ Até 20 de fevereiro de 2025, não foi possível atualizar essas informações junto aos responsáveis pelo programa.

⁹ Esse tipo de estudo é considerado o padrão-ouro para testar a eficácia de intervenções, pois a aleatorização minimiza vieses (Grimes; Schulz, 2002).

Quadro 3 — Benefícios do rastreamento por TCBD

Estudo/Autores	Tipo de Estudo	Evidência
Rastreamento por TCBD no Brasil (Pereira <i>et al.</i> , 2023).	Revisão baseada em estudos populacionais, revisões sistemáticas e diretrizes internacionais.	Redução da mortalidade em 20%, e em 38% quando combinado com a cessação do tabagismo.
Rastreamento por TCBD no sul do Brasil (Svartman <i>et al.</i> 2022).	Análise retrospectiva com 712 pacientes atendidos em hospital público.	Deteção de câncer de pulmão em 1,5% dos pacientes, com 64,3% dos casos em estágio inicial (TNM I ou II). A taxa de perda de seguimento foi de 19%.
Rastreamento por TCBD na Holanda (NELSON) (Koning <i>et al.</i> 2020).	RCT conduzido na Holanda e Bélgica com 15.789 participantes.	Redução da mortalidade por câncer de pulmão em 24% em homens e uma possível redução de até 33% em mulheres após 10 anos de acompanhamento. A taxa de adesão foi de 90%, e apenas 2,1% dos participantes precisaram de procedimentos de seguimento devido a nódulos suspeitos.
Rastreamento prolongado por TCBD na Itália (Pastorino <i>et al.</i> 2019).	RCT multicêntrico com 4.099 participantes.	O rastreamento com TCBD por mais de 5 anos reduziu a mortalidade por câncer de pulmão em 39% ao longo de 10 anos (HR 0,61; IC 95%: 0,39–0,95), e em 58% após o 5º ano de rastreamento (HR 0,42; IC 95%: 0,22–0,79).
Rastreamento por TCBD na Alemanha (Becker <i>et al.</i> 2019).	RCT com 4.052 fumantes, realizado na Alemanha.	O rastreamento com TCBD resultou em uma redução significativa de 69% na mortalidade por câncer de pulmão entre mulheres (HR 0,31; IC 95%: 0,10–0,96; p = 0,04), mas não houve redução significativa entre os homens.
Rastreamento por TCBD na França (Leleu <i>et al.</i> 2019).	Estudo prospectivo de braço único (sem grupo de controle) com 1.307 participantes.	A prevalência de câncer de pulmão foi de 2,7% em uma coorte inicial de 1.307 participantes. Entre os casos positivos, 67,7% foram diagnosticados nos estágios iniciais (estágios 0 a I).
Primeiro estudo de rastreamento por TCBD no Brasil (BRELT1) (Santos <i>et al.</i> 2016).	Análise prospectiva com 790 participantes no estudo BRELT1.	Deteção de câncer de pulmão em 1,3% dos participantes (10 casos), sendo 80% diagnosticados em estágios iniciais (IA/IB) e tratados com ressecção cirúrgica. A taxa de achados positivos foi de 39,4% (552 nódulos > 4 mm), com 3,2% de valor preditivo positivo, menor que no NLST (3,8%).
Rastreamento por TCBD nos EUA (National Lung Screening Trial Research Team, 2011).	RCT com 53.454 participantes em 33 centros nos EUA.	Redução de 20% na mortalidade por câncer de pulmão em comparação com a radiografia, com 90% de adesão ao rastreamento. Foram detectados 645 casos de câncer por 100.000 pessoas-ano no grupo TCBD, com mortalidade de 247 mortes por 100.000 pessoas-ano.

Fonte: O autor (2024). Nota: BRELT1 = *First Brazilian Lung Cancer Screening Trial* (Primeiro Estudo Brasileiro de Rastreamento do Câncer de Pulmão); HR = *Hazard Ratio* (Razão de Risco); IC = Intervalo de Confiança; NELSON = *Nederlands Elfsteden Longkanker Screenings Onderzoek*; NLST = *National Lung Screening Trial*; RCT = *Randomized Controlled Trial* (Ensaio Clínico Controlado Randomizado); TC = Tomografia Computadorizada; TCBD = Tomografia Computadorizada de Baixa Dose; TNM = Classificação de Estadiamento de Tumores.

O Índice de Dose em Tomografia Computadorizada por Volume (CTDIvol, do inglês *Computed Tomography Dose Index Volume*) é um indicador da dose de radiação absorvida em um volume específico durante um exame de TC, permitindo avaliar se um protocolo está nos limites aceitáveis de exposição. No rastreamento de câncer de pulmão, a dose efetiva típica é de 1,0 mSv ou menos, dependendo dos parâmetros do exame. O risco adicional estimado de câncer devido à radiação desse exame é de aproximadamente 0,011% em mulheres e 0,006% em homens aos 60 anos, aumentando para 0,22% em mulheres e 0,12% em homens após 20 anos de rastreamento anual. Esse risco é extremamente baixo quando comparado ao risco de desenvolver câncer de pulmão, que pode ultrapassar 15% em fumantes (Gierada *et al.*, 2020). Assim, **o rastreamento é considerado seguro, e os benefícios da detecção precoce superam os riscos associados à radiação**. A dose recomendada para rastreamento de câncer de pulmão é $CTDIvol \leq 3,0$ mGy.

As evidências apresentadas no quadro 3 reforçam o caráter ativo, precoce e preventivo da estratégia proposta na presente tese. Portanto, em consonância ao National Lung Screening Trial Research Team (2011, p. 395, tradução própria e grifo próprio), pode-se afirmar que: **"o rastreamento com o uso de TCBD reduz a mortalidade por câncer de pulmão"**.

2.1.11 IA no diagnóstico por imagem oncológica

A IA é um campo da ciência da computação dedicado ao desenvolvimento de sistemas e algoritmos capazes de realizar tarefas que tradicionalmente exigem inteligência humana (Russell; Norvig, 2013). Nesse contexto, destacam-se o *machine learning* (aprendizado de máquina), que permite aos sistemas aprenderem a partir de dados e experiências anteriores, melhorando sua precisão e desempenho ao longo do tempo (Hurwitz; Kirsch, 2018), e o *deep learning*, uma subárea avançada do *machine learning* que se baseia no funcionamento dos neurônios no cérebro humano (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

Utilizando redes neurais profundas compostas por várias camadas de neurônios interconectados, o *deep learning* permite a extração automática de características complexas dos dados. Cada camada da rede neural transforma os dados de entrada em representações cada vez mais abstratas e significativas, facilitando a identificação de padrões sutis em grandes conjuntos de dados. Isso significa que o modelo refina o seu aprendizado e os dados a cada nova interação (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

Outra técnica de *machine learning* que tem ganhado destaque é o *federated learning* (aprendizado federado), que permite a avaliação de dados descentralizados, provenientes de diferentes fontes simultaneamente (Kairouz *et al.*, 2021). Essa abordagem promove o treinamento colaborativo de modelos sem a necessidade de centralizar os dados, preservando a privacidade e a segurança das informações de cada fonte.

A aplicação da IA, especialmente do *deep learning*, está revolucionando a

interpretação de imagens médicas (Erickson *et al.*, 2017). Em neuro-oncologia, estudo com Máquinas de Vetor de Suporte (SVM, do inglês *Support Vector Machines*) e Imagem Ponderada por Difusão (DWI, do inglês *Diffusion-Weighted Imaging*) obteve uma Área Sob a Curva Característica de Operação do Receptor (AUROC, do inglês *Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve*) de até 97,5%, indicador de boa acurácia na diferenciação de tumores cerebrais primários de metástases solitárias, superior a sequências ponderadas em T1 e T2 (Souza *et al.*, 2024).

Em imagem hepática, o modelo SegNet segmentou e classificou tumores por TC, com 99,9% de acurácia no treinamento e 86% na classificação (Almotairi *et al.*, 2020). No câncer cervical, um sistema CAD baseado em *deep learning* classificou metástases linfonodais em TC pré-operatória, com AUROC de 0,953 e 90,4% de acurácia (Lee; Ha; Kim, 2019). Já um modelo de *federated learning* apresentou Área Sob a Curva (AUC, do inglês *Area Under the Curve*) de 0,725/0,689 na detecção do CPNPC, enquanto o modelo de *deep learning* teve um desempenho de AUC = 0,718/0,695.

Como base nesses exemplos, pode-se dizer que a IA emerge como uma ferramenta com potencial para aumentar a precisão diagnóstica e melhorar os cuidados oncológicos, integrando diagnóstico, tratamento personalizado, gestão da exposição à radiação e apoiando decisões clínicas (Nagendran *et al.*, 2020). Nessa perspectiva, tem-se que a IA pode contribuir para o trabalho dos médicos, exercendo um papel de “assistente”, ao fornecer um possível pré-diagnóstico, razão pela qual essa tecnologia foi inserida no desenvolvimento do *framework*. Contudo, mantém-se a perspectiva de que a decisão final de um laudo seja sempre atribuída a um médico especialista.

Uma matéria da *Cadena SER* (Escudero, 2025) destacou a implementação pioneira de IA no Hospital General Doctor Balmis, em Alicante, para a análise de radiografias de tórax e ossos. A ferramenta tem sido utilizada desde 2024 no atendimento de urgência e em alguns centros de APS, alcançando uma precisão superior a 90% na detecção de patologias. O sistema permite uma triagem rápida das imagens, agilizando o diagnóstico e reduzindo a necessidade de exames adicionais. Além de auxiliar os profissionais na tomada de decisões, a tecnologia melhora a segurança do diagnóstico, garantindo que pacientes sem achados patológicos possam ser liberados com confiança. O sucesso da iniciativa levou a Conselleria de Sanidad a expandir o uso da IA para toda a rede hospitalar pública da Comunidade Valenciana, integrando-a ao programa de modernização e digitalização do sistema de saúde regional.

Já o Hospital Universitario de A Coruña adotou IA para aprimorar a análise de exames radiológicos, incluindo TC. Conforme a reportagem da *Cadena SER* (Radio Coruña, 2024), a tecnologia foi integrada ao radiodiagnóstico para aumentar a precisão e agilidade na identificação de patologias, especialmente em urgências e atendimentos continuados. Com valor preditivo acima de 70%, a IA permite a triagem automatizada de exames normais, otimizando o fluxo de trabalho e reduzindo a sobrecarga dos radiologistas, que podem focar

em casos mais complexos. Além de acelerar diagnósticos, a inovação contribui para a modernização do hospital e fortalece seu papel como referência em tecnologia na saúde.

A combinação de avanços em imagem e computação impulsiona a radiômica¹⁰ (do inglês *radiomics*), uma técnica que extrai características quantitativas de imagens médicas, transformando-as em dados analisáveis. No entanto, a necessidade de grandes volumes de dados rotulados para treinar essas redes e a diversidade das apresentações radiológicas são desafios a serem superados para a integração dessas tecnologias na prática clínica. Além disso, a harmonização dos dados e a validação dos modelos em diferentes contextos clínicos são essenciais para garantir a eficácia e a confiabilidade das aplicações da radiômica, promovendo uma medicina mais personalizada e baseada em evidências (Giger, 2018).

Uma indagação que surgiu a respeito do desenvolvimento tecnológico da IA no contexto do diagnóstico por imagem foi: **“se há uma desigualdade na distribuição dos equipamentos de imagem e profissionais em países de baixa e média renda em comparação aos países de alta renda, que tipo de desigualdade o acesso a uma tecnologia mais avançada, baseada em IA, estaria criando?”** Parece uma corrida contra o tempo, já que muitos países mal tiveram a oportunidade de se beneficiar de tecnologias de TC, que rapidamente se tornam obsoletas, e agora enfrentam um novo desafio: a falta de acesso aos benefícios da IA no contexto da saúde. Pode-se pressupor que se trate de um “duplo abismo tecnológico”, que pode ter um impacto social negativo relevante.

Assim, para a presente tese, assume-se a IA como uma ferramenta de suporte, incapaz de solucionar todos os problemas por si só e, ao contrário, dependente de conexões estratégicas com outras ferramentas e com os aportes teóricos utilizados no desenvolvimento do modelo proposto. Esses elementos se complementam na resolução de partes isoladas de um problema — a disparidade na estrutura de diagnóstico por imagem —, contribuindo para uma solução coesa e holística: o diagnóstico precoce do câncer de pulmão por meio de uma estratégia ativa.

2.1.11.1 *Análises bibliométricas correlatas*

A partir de 2010, o interesse pela IA na imagem médica cresceu exponencialmente, com destaque para os anos posteriores a 2018 (Karger; Kureljusic, 2023; Ruiz-Fresneda; Gijón; Morales-Álvarez, 2023; Wang *et al.*, 2024; Oladimeji; McLoughlin; Unnikrishnan, 2024), identificando-se avanços na implementação da IA médica, especialmente por meio de estudos planejados e análises de imagens (Rajpurkar *et al.*, 2022). Esse crescimento sublinha a relevância da pesquisa atual, que abrange interdisciplinaridade, desenvolvimento tecnológico e inovação, com impactos concretos na saúde.

Uma análise bibliométrica sobre IA na detecção de câncer, considerando o período de

¹⁰ Área da medicina que utiliza técnicas de análise de imagens médicas para extrair características quantitativas das imagens, como textura, forma, e outros parâmetros que podem ser relacionados a informações clínicas, como diagnóstico, prognóstico ou resposta ao tratamento.

1986 ($n = 1$ artigo) a 2022 ($n = 1.213 +$ projeção de $n = 659$, totalizando $n = 1.872$), indicou crescimento nas publicações desde 2010 ($n = 65$), com pico em 2021 ($n = 1.485$), predominantemente nos campos de medicina e ciência da computação (Karger; Kureljusic, 2023). Outro estudo semelhante apontou um crescimento mais lento entre 2013 e 2016, seguido de aceleração a partir de 2017. No entanto, verificou-se um aumento nas citações até 2020, seguido por um declínio, possivelmente devido ao curto período para avaliação completa das citações (Wang *et al.*, 2023).

Os Estados Unidos da América (EUA) e a China se destacam consistentemente nas análises bibliométricas, reafirmando sua liderança global no tema. A Índia também se consolida como um país emergente na área, enquanto a Alemanha representa uma contribuição significativa no contexto europeu (Wang *et al.*, 2023).

Diferenças metodológicas nas análises bibliométricas influenciam a identificação das lideranças científicas. Enquanto alguns estudos destacam EUA, China e Índia (Karger; Kureljusic, 2023; Ruiz-Fresneda; Gijón; Morales-Álvarez, 2023), outros apontam variações, como a posição de Alemanha entre os mais relevantes (Wang *et al.*, 2023) ou a inversão de classificação entre China e EUA (Wang *et al.*, 2024). Essas variações resultam de fatores como período analisado, repositórios de dados, palavras-chave e critérios de produtividade, tornando a comparação direta entre estudos, desaconselhável. No entanto, a análise conjunta pode gerar inferências mais consistentes.

2.1.12 Planejamento e pensamento estratégico

O planejamento estratégico pode ser entendido como o processo de definir a direção e as ações de uma organização para alcançar seus objetivos a longo prazo. Esse processo envolve etapas como a definição da visão, missão e objetivos de uma empresa, considerando os ambientes interno e externo. Embora o conceito de estratégia competitiva apresentado por Porter (1980) seja focado em um contexto de indústria, é possível adaptá-lo para diversas situações ou projetos, ao evidenciar aspectos que se relacionam diretamente com: (i) o ambiente, permeado por fatores socioeconômicos, sociais, políticos e tecnológicos; e (ii) forças externas, como mudanças econômicas e regulamentações governamentais.

Essa perspectiva está alinhada com a *Teoria da Contingência*, que defende não haver apenas uma maneira de gerir todas as empresas, sendo necessário que elas se adaptem ao ambiente em que estão inseridas, considerando elementos como a tecnologia disponível e as condições de mercado. Isso é essencial para entender que as melhores práticas estão intrinsicamente relacionadas com as circunstâncias pontuais que cada empresa enfrenta (Chiavenato, 2004).

O quadro 4 apresenta uma visão geral dos passos essenciais para o desenvolvimento de um planejamento estratégico efetivo. Ademais, menciona as técnicas de análise PESTEL¹¹ e matriz SWOT¹² (Johnson *et al.*, 2017).

Quadro 4 — Etapas para o desenvolvimento de um planejamento estratégico

N.º	Etapas	Detalhes
1	Definição da missão, visão e valores	Definir claramente a missão: o propósito da organização. Estabelecer a visão: onde a organização aspira estar no futuro. Articular os valores: princípios que nortearão as ações e decisões.
2	Análise externa e interna	Realizar análise PESTEL para identificar oportunidades e ameaças externas. Utilizar análise SWOT para avaliar as forças e fraquezas internas.
3	Formulação de objetivos	Definir objetivos claros e mensuráveis que alinhem com a missão e visão.
4	Formulação da estratégia	Desenvolver estratégias eficazes que conectem objetivos com a análise SWOT e PESTEL.
5	Implementação da estratégia	Executar as estratégias planejadas, alocando recursos e definindo responsabilidades.
6	Monitoramento e controle	Estabelecer métricas de desempenho e monitorar o progresso em relação aos objetivos.
7	Avaliação e <i>feedback</i>	Avaliar os resultados e o processo de planejamento para identificar áreas de melhoria e sucesso.

Fonte: Adaptado de Chiavenato (2004).

As etapas apresentadas no quadro 4 seguem uma sequência lógica para a elaboração e desenvolvimento de um planejamento estratégico. Entretanto, vale considerar que isso deve ser adaptado a cada contexto, pois o cenário externo, como visto anteriormente, é variável, e a incerteza do ambiente não favorece a construção de um processo rígido e linear, como já mencionado.

Johnson *et al.* (2017) consideram que o planejamento estratégico é mais do que o simples ato de planejar, já que isso pode se referir ao processo de documentação formal de processos, enquanto a estratégia se relaciona à direção e às decisões que impactam o futuro de uma organização. Nessa perspectiva, o planejamento estratégico é visto como uma ferramenta que pode proporcionar segurança e lógica, sobretudo para o nível mais alto da administração de uma empresa.

Entretanto, Mintzberg (1994) refuta essa ideia de “segurança” ao considerar que o ambiente externo pode apresentar um comportamento imprevisível ou instável. O autor enfatiza a diferença entre o planejamento estratégico, que tende a ser formal e rígido, e o

¹¹ Ferramenta que analisa fatores políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais de um ambiente, e classifica as influências ambientais em seis categorias: políticas, econômicas, sociais, tecnológicas, ambientais e legais.

¹² Ferramenta que avalia forças, fraquezas, oportunidades e ameaças de uma organização.

pensamento estratégico, que se caracteriza pela criatividade e intuição. Ademais, o autor considera que os planejadores precisam estimular o pensamento estratégico dos gestores, em vez de fornecer planos prontos. Presume-se, portanto, que essa abordagem mais flexível e orientada para o aprendizado pode permitir que as empresas não somente sobrevivam, mas prosperem em tempos de incerteza.

Chiavenato (2004, p. 33), em menção a Karl von Clausewitz, considerado o pai do pensamento estratégico, ressalta que “[...] as decisões devem ser científicas e não apenas intuitivas”, e que “[...] o administrador deve aceitar a incerteza e planejar de maneira a minimizar seus efeitos.” Isso é reforçado por Johnson (2007), para quem o conceito de planejamento estratégico refere-se à necessidade de uma abordagem proativa e estruturada, no contexto da gestão de habitação temporária após desastres. Sendo assim, no contexto do presente tese, ambos, pensamento e planejamento estratégico são conceitos primordiais para a estruturação de projetos ou etapas que integrem a implementação da estrutura proposta.

Além dos conceitos de planejamento e pensamento estratégico, pode-se recorrer a recursos como simulação estratégica, utilizada na simulação de cenários, e conceitos da gestão de projetos, com base em diretrizes apresentadas no conceituado *PMBOK® Guide* (Project Management Institute, 2021). Esse guia destaca a importância do planejamento proativo e da adaptação contínua às condições do mercado e requisitos organizacionais para garantir entregas eficazes, apresentando doze princípios fundamentais para a gestão de projetos, que enfatizam foco nos resultados, liderança efetiva e adaptação às mudanças. A aplicação desses fundamentos pode melhorar a integração entre planejamento estratégico e execução operacional, aumentando a efetividade na entrega dos resultados.

2.1.13 Inovação e difusão de novas tecnologias na perspectiva de Rogers

No livro *Diffusion of innovations*, Rogers (1971)¹³ apresenta aspectos relacionados à disseminação das inovações e aponta formas de facilitar a adoção de tecnologias pela sociedade. Para esse autor, a inovação pode ser compreendida como ideias, práticas ou objetos percebidos como novos por um indivíduo ou por entidades. Nessa perspectiva, o conceito de “novo” é atemporal; ou seja, mesmo que algo já existisse antes, a percepção de novidade depende de como algo é visto por quem a adota (chamado adotante). Por outro lado, a difusão se refere ao processo pelo qual ocorre a entrega da informação a outros indivíduos na sociedade.

Rogers (1971), fundamentando-se nos estudos de Bordenave (1976), Beltrán (1976), Grunig (1971) e Barghouti (1974), tece uma crítica ao modelo clássico de difusão em contextos que não consideram as realidades locais e enfatiza a necessidade de uma abordagem crítica e contextualizada na pesquisa de difusão, baseada na interconexão entre comunicação, desenvolvimento e mudanças sociais. Nessa perspectiva, em menção a Bordenave (1976),

¹³ Apesar de a capa indicar terceira edição, a ficha catalográfica refere-se à segunda edição.

Rogers (1971) explica que o modelo clássico de difusão foi desenvolvido em contextos socioeconômicos muito diferentes da realidade da América Latina, sugerindo que **as pesquisas na região evitem interpretar sua realidade por meio de conceitos ideológicos estrangeiros**. Além disso, enfatiza que as pesquisas devem considerar a perspectiva local, como aspectos sociais e econômicos da região, em vez de focar somente em aspectos técnicos e estruturais.

No contexto da presente tese, a tradição de pesquisa em difusão concentra-se principalmente na adoção de inovações médicas e de saúde pública. Rogers (1971) descreve que essa tradição surgiu na década de 1950, paralelamente ao reconhecimento da sociologia médica como um campo de especialização. As inovações analisadas incluem novos medicamentos ou práticas médicas adotadas por médicos, e métodos de planejamento familiar ou inovações em saúde, que têm os clientes ou pacientes como adotantes.

A metodologia mais comumente empregada envolve entrevistas e análises estatísticas. Essa abordagem permite aos pesquisadores coletar informações detalhadas sobre a receptividade dos indivíduos às novas práticas médicas, e os achados dessas pesquisas oferecem *insights* valiosos acerca dos líderes de opinião e as redes de difusão. Fica evidente, portanto, que **as inovações devem ser não somente eficazes do ponto de vista médico, mas também amplamente aceitas por seus usuários, abrangendo desde pacientes até administradores de unidades de saúde**.

O Modelo de Difusão de Inovações de Rogers (1971) sugere que a adoção de novas tecnologias ocorre em cinco etapas, as quais:

- **Conhecimento:** os indivíduos ou organizações precisam estar cientes da nova tecnologia (na presente tese, a IA, por exemplo) e entender como ela pode ser benéfica.
- **Persuasão:** os *stakeholders* (partes interessadas, internas ou externas) são persuadidos a adotar a inovação, influenciados por evidências de eficácia e benefícios, incluindo melhorias no diagnóstico precoce e no acesso aos cuidados.
- **Decisão:** nesta fase, os profissionais e gestores decidem pela implementação da nova tecnologia com base na avaliação de seus custos e benefícios.
- **Implementação:** a tecnologia é colocada em prática. É crucial haver suporte técnico e formação adequada para os profissionais de saúde.
- **Confirmação:** os usuários avaliam a eficácia da tecnologia em suas práticas e decidem se continuarão a utilizá-la.

2.1.14 Transdisciplinaridade

Para introduzir o conceito de transdisciplinaridade, é inevitável não se referir à *Charte*

de la Transdisciplinarité (Freitas; Morin; Nicolescu, 1994), em que fica claro que a transdisciplinaridade não se resume à junção de diferentes disciplinas, mas está relacionada à integração e à superação das fronteiras tradicionais entre as áreas do saber. Esse documento é um convite a uma forma de pensar que promova a compreensão da realidade atual e a construção de um futuro mais harmonioso e sustentável. Essa carta reconhece a complexidade dos desafios contemporâneos e a necessidade da integração holística de diferentes saberes em prol do ser humano, do coletivo e do ambiente.

Nicolescu (1996) define a transdisciplinaridade como um conceito que vai além das fronteiras das disciplinas tradicionais, visando uma compreensão integrada do mundo atual e promovendo a unidade do conhecimento. No livro *La transdisciplinarité manifest*, Nicolescu (1996) argumenta que a transdisciplinaridade é uma nova abordagem que visa integrar diferentes disciplinas para a compreensão do mundo presente. Ela transcende as barreiras tradicionais rumo a um paradigma de conhecimento com potencial de transformar diferentes áreas da sociedade, como educação, cultura, política, e demais campos, promovendo uma visão holística do saber. Por outro lado, Etges (1995) relaciona a transdisciplinaridade a uma fábrica, onde o somatório das funções conduz a um produto final (veja Apêndice B).

Pombo (2008) define os termos que contêm a palavra “disciplinaridade” sob uma perspectiva de análise dos radicais:

- **Pluridisciplinaridade/Multidisciplinaridade:** são termos equivalentes e referem-se à justaposição de disciplinas, sem uma interação entre si. Embora possa haver uma mínima coordenação entre elas, não exige uma integração dessas áreas.
- **Interdisciplinaridade:** ocorre a convergência e o diálogo entre as disciplinas, resultando em uma abordagem integrativa, contudo, mantêm-se os limites próprios de cada campo.
- **Transdisciplinaridade:** extrapola os limites de cada disciplina, fundindo conhecimentos para criar soluções holísticas e inovadoras, sendo indicado somente em contextos complexos, que demandam alta integração.

Em uma discussão sobre a transdisciplinaridade na Engenharia de *Software*, uma área complexa que envolve diversos processos e barreiras culturais, Prikladnicki e Nicolas (2008) caracterizam a transdisciplinaridade como uma “macrodisciplina”. Esses autores ilustram aspectos não técnicos de possíveis áreas envolvidas nesses conhecimentos complementares, que envolvem os processos dessa área, como a confiança (psicologia e sociologia), conhecimento (educação, administração), comunicação (psicologia, recursos humanos, comunicação social), idioma (comunicação social e sociologia), entre outras. O estudo dos autores mostra como o pensamento transdisciplinar pode ser adaptado a múltiplos contextos e evidencia que um projeto dessa natureza certamente não se limita à justaposição de

informações e conhecimentos técnicos

No livro *General System Theory: foundations, development, applications*, Bertalanffy (1968) argumenta que a crescente especialização da ciência moderna leva a uma fragmentação do conhecimento, dificultando a comunicação e a integração entre diferentes áreas de estudo. Para resolver esse problema, o autor introduz a *Teoria Geral dos Sistemas*, que busca formular princípios e leis universais aplicáveis a sistemas em geral, independentemente de sua natureza específica. Bertalanffy (1968) acredita que essa abordagem pode levar a uma visão unificada da ciência. Os conceitos de organização, totalidade, diretividade, teleologia e diferenciação são apresentados como *frameworks* para representar fenômenos reais, aplicáveis em diferentes campos do conhecimento.

Para sustentar o uso da transdisciplinaridade e a proposição do modelo neste trabalho, é fundamental mencionar a abordagem de Le Moigne (1994) na *Teoria Geral dos Sistemas*, apresentada originalmente em *La Théorie du Système Général*. Diferentemente de Bertalanffy, que busca princípios universais, Le Moigne propõe a teoria como uma ferramenta para modelar e compreender fenômenos complexos da realidade. Ele argumenta que, para lidar com a complexidade dos problemas da vida, é essencial uma abordagem não linear e abrangente. Nesse sentido, sua perspectiva incorpora a complexidade fenomenológica ao integrar diferentes perspectivas e disciplinas, possibilitando a construção de modelos mais completos e eficazes.

Os conceitos-chave da *Teoria Geral dos Sistemas* são:

- **Sistema:** conjunto de elementos interdependentes que interagem entre si e com o ambiente.
- **Modelagem:** processo de construção de representações simplificadas da realidade para fins de compreensão e intervenção.
- **Complexidade:** característica dos sistemas que apresentam múltiplas interações, *feedback* e comportamentos emergentes.
- **Transdisciplinaridade:** abordagem que busca integrar diferentes disciplinas para a compreensão de fenômenos complexos.

Nota-se que a obra mencionada de Le Moigne (1994) vai na contramão de soluções reducionistas e lineares, na busca pela compreensão dos fenômenos do mundo. Para o autor, a modelagem não se resume a simplificar o complexo, mas sim abraçar a teia de interações próprios dos sistemas, o que nos permite vislumbrar o processo de modelagem de um sistema como um processo criativo.

Sendo assim, o “Sistema Geral”, e aqui traça-se um paralelo ao sistema do *framework*, não é um fim em si, mas um instrumento para a “modelagem sistêmica”, que busca representar a complexidade de forma holística e inteligível, respeitando a autonomia e a

individualidade de cada sistema menor que o compõe. Por exemplo, o sistema de diagnóstico por imagem é composto por processos que envolvem procedimentos diversos, como cadastramento do paciente, entrada na sala de exames, seleção de um protocolo, aquisição das imagens, pós-processamento dessas imagens, envio para o sistema de laudos, laudo médico, retorno ao médico solicitante e conduta.

O sistema de uma campanha ativa de cessação ao tabagismo implica em processos como a segmentação do público-alvo, a produção de conteúdo, a seleção do veículo de comunicação dessa campanha, os pontos de apoio, um cronograma, métricas de avaliação dos resultados e análise da percepção do público. Por conseguinte, é possível expandir a perspectiva do presente modelo para uma análise de “sistema sobre sistema” ou “conjunto de microssistemas”.

A seguir, apresentam-se outras perspectivas sobre a importância da transdisciplinaridade. Yeh (2019) argumenta que a integração de várias disciplinas para criação de soluções inovadoras deve ser prática e, ao mesmo tempo, profunda. Nessa perspectiva, os autores destacam pontos fundamentais para a construção de uma solução transdisciplinar: a transformação interna e externa, unidades de ações, convergência de disciplinas, integração cultural e considerações éticas. Ou seja, é preciso que a solução proposta, baseada na integração de *insights*, resulte em mudanças estruturais que considerem os fatores particulares de cada contexto, o que leva à percepção de que se trata de uma metodologia responsável por criar soluções transformacionais, cujo foco final é mediar a lacuna entre a consciência superior e todo o coletivo.

Bernstein (2015) considera que a transdisciplinaridade é essencial para a educação do século XXI, já que proporciona a análise multidimensional das questões e problemas envolvidos, contribuindo para serem identificadas conexões ocultas entre as disciplinas. Embora a transdisciplinaridade não ofereça soluções definitivas para os problemas complexos, esse conceito é útil para a pesquisa e práticas socialmente responsáveis.

Na obra de Bernstein (2015), a transdisciplinaridade pode ser definida como uma abordagem que busca integrar e sintetizar conhecimentos de diferentes disciplinas para abordar problemas complexos e os *wicked problems*. Essa abordagem não se limita às interações entre disciplinas, mas propõe uma nova forma de pensar e se engajar na pesquisa, transcendendo as limitações das disciplinas tradicionais.

Lawrence (2020) apresentou um *framework* conceitual transdisciplinar para análise de fenômenos complexos, especialmente em contextos com a pandemia de Covid-19. O autor concluiu que a transdisciplinaridade é essencial para essa compreensão, e que o modelo deve promover a colaboração intersetorial. Essa perspectiva é reforçada no artigo de Mokiý e Lukyanova (2022), cujo modelo proposto para a unificação e generalização do conhecimento possui quatro aspectos principais, os quais:

I. Unificação do conhecimento disciplinar: a conexão de diferentes disciplinas resulta em um todo interconectado. Isso permite a colaboração de especialistas de diferentes áreas, enriquecendo a compreensão de problemas complexos.

II. Generalização do conhecimento: pressupõe a organização do conhecimento sob a perspectiva filosófica do holismo, que considera o todo, ao invés de partes. Isso objetiva preencher lacunas combinando *insights* de diferentes disciplinas, fortalecendo a resolução de problemas.

III. Foco em *wicked problems*: para enfrentar esse tipo de problema, é necessário um esforço conjunto capaz de cruzar as fronteiras individuais de cada disciplina, resultando em soluções abrangentes e eficazes.

IV. Benefícios do modelo: criação de métodos de pesquisa universais que podem ser aplicados em diferentes contextos, facilitando a avaliação de riscos e a implementação de soluções.

2.1.15 Distribuição do conhecimento e a simetria da ignorância

Pombo (2008) apresenta as bases epistemológicas da interdisciplinaridade a partir de perspectivas de autores como Piaget, Bertalanffy e Apostel, que argumentam que a interdisciplinaridade se expressa na capacidade de regular disciplinas e discursos, contrapondo-se à visão fragmentada, ou melhor dizendo, unitária, na busca do equilíbrio entre a especialização e a globalização.

Em *L'épistémologie génétique*, Piaget (1970) argumenta que o conhecimento não é uma cópia da realidade, mas a construção ativa do sujeito do conhecimento com o objeto. Para o autor, o aumento do conhecimento requer a colaboração de especialistas de diversas áreas, demandando a colaboração e a interação entre elas. Em outras palavras, pode-se dizer que **o aumento do conhecimento pressupõe o aumento da complexidade**.

No contexto da educação, Boden (1990) destaca a importância de uma epistemologia interdisciplinar, alinhando-se com a visão de Piaget sobre a integração do conhecimento colaborativamente. No livro *Introduction à la pensée complexe* de Morin (2005), a percepção do sentido de conhecimento transcende a mera acumulação de informações, sendo compreendido como um processo dinâmico, contínuo e multidimensional de construção e reconstrução de sentido sobre a realidade.

Ainda conforme Morin (2005), esse processo exige a interação constante entre sujeito e objeto, a integração de perspectivas diversas e a interpretação crítica dos fenômenos, reconhecendo as incertezas, contradições e interconexões que permeiam o mundo. Assim, o conhecimento não é estático ou definitivo, mas uma atividade que abraça a complexidade e a auto-organização, desafiando as abordagens lineares e tradicionais de pensamento ao explorar as múltiplas dimensões da realidade. Em vista disso, assumem-se as perspectivas de Morin

(2005) sobre o conhecimento como:

- Um processo dinâmico e multidimensional.
- Uma atividade complexa que integra diferentes perspectivas.
- Um processo que desafia as formas tradicionais de pensamento.
- Um processo contínuo de reconstrução e sentido.

Para concluir essa parte da fundamentação, é essencial enfatizar, ainda com base em Morin (2005), que o conhecimento humano é sempre incompleto e limitado, e que, mesmo com avanços científicos, sempre haverá aspectos que permanecem desconhecidos ou incertos. Esse olhar é fundamental para a compreensão do conceito de “simetria da ignorância”, cuja adoção para elaborar a estrutura do presente modelo reconhece que, apesar dos esforços para “orquestrar” os diferentes saberes, existem limites que podem necessitar de expansões ou remodelagens de perspectivas. Isso caracteriza e torna os processos do modelo como dinâmicos, baseado em análises e possíveis intervenções nas etapas de sua validação ou aplicação, para garantir resultados mais consistentes.

2.2 Métodos

A presente tese é fundamentada por um **método misto**, que envolve dados quantitativos e qualitativos. De acordo com Creswell e Clark (2018, p. 5, tradução própria), esse tipo de metodologia “combina uma orientação de métodos, desenho de pesquisa e filosofia”. Na perspectiva desses autores, a combinação desses tipos de dados contribui integradamente para responder ao problema de pesquisa, por meio de uma estrutura lógica teórica e filosófica.

Essa definição baseia-se no trabalho de Greene, Caracelli e Graham (1989), que destacam que os desenhos de métodos mistos são definidos como aqueles que envolvem, pelo menos, um método quantitativo (destinado a coletar dados numéricos) e um método qualitativo (voltado para a coleta de informações textuais), onde nenhum dos métodos está vinculado de maneira exclusiva a um paradigma de pesquisa específico.

A abordagem mista adotada na tese permitiu não somente uma análise quantitativa do estado da arte da IA no diagnóstico por imagem oncológica, mas também uma interpretação qualitativa das barreiras e oportunidades para a implementação posterior do *framework* na ALC. Pode-se dizer que a presente tese está diretamente relacionada aos conceitos apresentados por Greene, Caracelli e Graham (1989) sobre o uso de métodos mistos, como descrito a seguir:

- a. **Triangulação:** utiliza a triangulação de múltiplas fontes de dados (bibliométricos, revisão de literatura, estudo transversal) para fortalecer os resultados sob uma

perspectiva abrangente das proposições de pesquisa, aumentando a sua validade.

b. **Complementaridade:** utiliza métodos quantitativos e qualitativos para medir diferentes aspectos do mesmo fenômeno, como a análise bibliométrica na compreensão do “estado da arte” da IA em imagens médicas e o estudo transversal para avaliar o acesso desigual à infraestrutura em saúde.

c. **Integração de dados:** fundamenta o desenvolvimento do *framework* por meio da integração de várias fontes, teorias, conceitos e *insights*, resultando na proposta de uma solução abrangente.

d. **Desenvolvimento:** expande-se ao incluir um conceito de desenvolvimento, onde os resultados da pesquisa ancoram a estrutura do *framework*.

Nas próximas seções, são apresentados os conceitos gerais sobre as metodologias empregadas na condução das três partes principais da pesquisa, quais sejam: (i) estudo transversal; (ii) análise bibliométrica; e (iii) desenvolvimento do *framework*. As teorias que sustentam os fundamentos do *framework* foram apresentadas nas Seções 2.12 a 2.15, enquanto as explicações sobre a sua modelagem (desenvolvimento) foram apresentadas em 2.5.

Ressalta-se que **não foi necessária a autorização do comitê de ética**, uma vez que foram analisadas apenas fontes secundárias para a extração de dados quantitativos, avaliação de equipamentos e profissionais, além da utilização de indicadores e métricas na análise da literatura. Por isso, não houve acesso a dados sensíveis de pacientes ou de qualquer outra natureza que exigisse sigilo ou consentimento ético.

2.2.1 Etapa 1: estudo transversal

As pesquisas clínicas podem ser classificadas em estudos experimentais e observacionais. Os estudos experimentais envolvem a atribuição controlada de exposições aos participantes (amostras randomizadas ou não), enquanto os observacionais analisam os dados sem intervenção direta do pesquisador. Entre os estudos observacionais, destacam-se os estudos transversais, que oferecem um panorama único ao medir exposição e desfecho em um único momento ou espaço temporal. Além disso, os estudos observacionais podem ser analíticos, quando há um grupo de controle para comparação, ou descritivos, como relatos de casos, que não permitem análises comparativas ou avaliação de associações (Grimes; Schulz, 2002).

Diante dessa classificação, adota-se, nesta pesquisa, a seguinte perspectiva: o estudo transversal é um tipo de pesquisa observacional em que dados são coletados em um único ponto no tempo, para examinar a prevalência de desfechos ou fenômenos em uma população. Esse tipo de estudo permite a descrição das características de uma população ou subgrupo em determinado momento, considerando variáveis como equipamentos e profissionais

especialistas, sem a intenção de estabelecer relações causais, mas sim identificar associações entre as variáveis investigadas.

2.2.1.1 *Justificativa para o uso dessa metodologia*

De acordo com Volpato (2015, p. 7), “a pesquisa descritiva é importante para a ciência, pois a descrição é geralmente o primeiro e essencial passo para caminharmos em direção à compreensão do fenômeno”. Outros tipos lógicos de pesquisa descritos por Volpato (2015) são: (i) pesquisa de associação sem interferência entre as variáveis; e (ii) pesquisa de associação com interferências entre as variáveis. Logo, pode-se dizer que o estudo transversal descritivo é particularmente útil para identificar padrões ou tendências em uma população e serve como base para a formulação posterior de hipóteses que possam ser investigadas em estudos longitudinais ou experimentais.

Diferente dos estudos de coorte, que estimam a incidência ao longo do tempo, os estudos transversais focam na prevalência, ou seja, na proporção de indivíduos com uma condição em um dado momento (Newman; Browner; Hulley, 2007; Setia, 2016). Essa compreensão é fundamental para evitar equívocos na hora de classificar um estudo, mantendo a perspectiva adequada na metodologia e a expectativa dos resultados, contribuindo para o uso mais assertivo dos resultados aplicados à prática.

O relatório da *Lancet Oncology Commission* (Hricak *et al.*, 2021) examinou globalmente a distribuição dos recursos de imagem e MN, apresentando um modelo de microsimulação que demonstrou que a ampliação do acesso a esses recursos poderia evitar 3,2% das mortes por câncer. Com a expansão do tratamento e da qualidade do cuidado, essa porcentagem poderia aumentar para 12,5% entre 2020 e 2030. Entretanto, o relatório apontou uma escassez significativa de equipamentos e profissionais em países de baixa e média renda.

Hricack *et al.* (2021), baseado no editorial da *Nature*, *Think globally about cancer*, e por Shah *et al.* (2019), afirmam que, embora a incidência de câncer nos países de baixa e média renda seja inferior à observada em países de alta renda, as taxas de mortalidade relacionadas ao câncer são significativamente mais elevadas nesses países, especialmente entre indivíduos com menos de 65 anos. Esse cenário se deve, ao menos em parte, a atrasos no diagnóstico — impactados pelo acesso limitado a exames de imagem e outras ferramentas diagnósticas —, à dificuldade de acesso a tratamentos locais e sistêmicos adequados, além da maior prevalência de cânceres associados a infecções nos países de baixa e média renda.

A metodologia empregada no estudo transversal visa descrever a situação atual da região da ALC, por meio da coleta de dados em um único ponto no tempo, **sem realizar inferências causais**. Trata-se, portanto, de um estudo transversal de prevalência, classificado como observacional analítico com abordagem descritiva. Esse tipo de estudo permite descrever a prevalência de recursos e indicadores relacionados ao câncer, analisando sua associação com a disponibilidade de equipamentos e médicos especialistas. Além disso,

possibilita comparações entre países e regiões com diferentes níveis de renda. A escolha dessa metodologia se justifica por sua capacidade de examinar associações e características de desfechos em saúde no mesmo período, contribuindo para o planejamento sanitário e a alocação eficiente de recursos.

Foram analisados dados já publicados pela International Atomic Energy Agency (2016), em um banco de dados global e extenso com informações sobre infraestrutura e recursos de imagem médica e MN em mais de 170 países. Também foram adicionados gráficos complementares do International Agency for Research on Cancer (1965-2025d). Foram coletados dados disponíveis de 32 países da ALC, os quais foram organizados em planilhas no formato XLSX, compatíveis com programas como Excel e LibreOffice Calc.

Os dados foram coletados durante a minha estadia no Canadá (abril a agosto de 2024) sob a orientação do professor Dr. Fabio Ynoe de Moraes, que os revisou posteriormente. A análise foi realizada em linguagem R por Felipe Lazar Neto, que apresentou um relatório estatístico, enquanto as figuras, como os mapas apresentados no estudo transversal (veja 2.3, figuras 9, 11, 12 e 13), foram elaboradas por André G. Gouveia, com intenção de publicarmos os resultados em formato de artigo, posteriormente. Para a presente tese, a minha análise se concentrou na descrição dos dados, sem utilizar estatísticas complexas.

2.2.1.2 *Variáveis e desfechos*

As variáveis preditoras consideradas no estudo incluem o número de equipamentos de TC, RM, PET, Aceleradores Lineares (LINAC, do inglês *Linear Accelerator*), o número de radiologistas, o número de médicos nucleares e os gastos com saúde, expressos em porcentagem do Produto Interno Bruto (PIB). Esses fatores refletem a disponibilidade e o investimento em infraestrutura de imagem médica, o que pode impactar diretamente a capacidade diagnóstica e de tratamento dos países estudados.

Os desfechos considerados foram as taxas de incidência e mortalidade por câncer, tanto em 2022 quanto as projeções para 2045. Além dessas taxas, o estudo também avaliou a taxa de sobrevida em 5 anos para diferentes tipos de câncer, como mama, pulmão, colo do útero e reto. Com isso, foi possível explorar possíveis associações entre a disponibilidade de infraestrutura de imagem médica e os resultados de sobrevida, sem implicar relação causal, dado o delineamento transversal do estudo.

O PIB é a totalidade dos bens e serviços finais gerados por um país, estado ou município, normalmente durante um ano. Cada país realiza o cálculo do seu PIB utilizando sua moeda local (Instituto Brasileiro de Geografia, 2025). Desse modo, pode-se dizer que se trata de uma síntese geral da economia, mas que não expressa a complexidade que pode haver na distribuição de renda e qualidade de vida.

Por outro lado, “as despesas com saúde fornecem uma medida do consumo final de bens e serviços de saúde” (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2019,

p. 150, tradução própria). Tendo em vista isso, as Despesas Correntes com Saúde (DCS) representam um indicador que se refere aos gastos com saúde em um país durante um ano, abrangendo todas as despesas relacionadas aos cuidados com a saúde, tanto públicas quanto privadas. Isso inclui doações internacionais, aquisição de equipamentos médicos, infraestrutura de saúde, salários dos profissionais da área e programas de prevenção e promoção da saúde. Essa abordagem abrangente possibilita comparações internacionais e análises do impacto econômico das políticas de saúde (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2019).

Os equipamentos e profissionais foram apresentados em unidades por 1 milhão de habitantes devido à baixa frequência desses recursos na população de diversos países, o que torna essa escala mais adequada para comparações entre países e facilita a compreensão da notação. Além disso, optou-se por utilizar a proporção do gasto público total destinada à saúde como indicador principal, por se tratar de uma métrica amplamente empregada em análises de políticas públicas. Esse indicador permite avaliar o grau de prioridade conferido ao setor saúde dentro do orçamento governamental, refletindo escolhas estruturais e políticas de financiamento. Diferentemente do gasto *per capita*, que expressa a disponibilidade absoluta de recursos por indivíduo, a proporção do gasto público fornece uma perspectiva relativa, mais adequada para comparações intertemporais e entre diferentes contextos orçamentários.

2.2.2 Etapa 2: análise bibliométrica

Para compreender a metodologia de análise bibliométrica, é necessário, primeiramente, conhecer os fundamentos da bibliometria e da cienciometria. A origem do termo bibliometria apresenta divergências na literatura, sendo associada tanto a Paul Otlet quanto a Alan Pritchard. Conforme Momesso e Noronha (2017), é plausível que Paul Otlet tenha cunhado o termo em seu livro *Traité de documentation* (1934), onde abordou o conceito em uma perspectiva abrangente e complexa de documentação. No entanto, Alan Pritchard (1969) foi responsável por formalizar o termo, definindo “bibliometria” como a aplicação de métodos estatísticos na análise de publicações.

Alvarenga (1998) destaca que a bibliometria oferece uma visão sobre os processos de construção e legitimação do conhecimento, promovendo uma análise crítica das práticas científicas contemporâneas. A cienciometria, por sua vez, surgiu posteriormente ao termo bibliometria, com uma abordagem mais ampla, englobando não somente a análise de publicações, mas também a análise de outros aspectos da ciência, como a produtividade dos pesquisadores, a colaboração científica e o impacto de pesquisas e instituições. Assim, tem-se por definição que cienciometria é o estudo quantitativo da ciência, da comunicação científica e da política científica (Hess, 1997).

Na perspectiva de Price (1963), a ciência é um ecossistema interdependente, onde a

interconectividade entre os pesquisadores e a complexidade do sistema científico desempenham papéis cruciais no avanço do conhecimento. Desta forma, o aumento exponencial das publicações resulta em redes de citação e aumenta a complexidade do campo. Neste processo, são criados “nós centrais” (artigos, autores ou periódicos altamente citados) que dominam as interações das redes.

Os conceitos de Price (1963) formam a base para muitas análises modernas de sistemas científicos e redes de conhecimento, como na metodologia de análise bibliométrica. Os princípios descritos por Price, de interconectividade e complexidade, estão relacionados à forma como a ciência se estrutura, ou melhor dizendo, molda-se como uma rede dinâmica de conhecimento. A respeito desses princípios, tem-se:

- **Interconectividade:** artigos, pesquisadores e áreas de conhecimento estão interligados por redes de citação e colaboração. As citações formam uma teia que reflete a evolução do conhecimento e identifica os trabalhos mais influentes. O fluxo de conhecimento é coletivo, com ideias sendo refinadas e ampliadas por meio de interações entre cientistas. A colaboração interdisciplinar e internacional também fortalece essa rede (Price, 1963).
- **Complexidade:** a ciência é um sistema dinâmico, onde descobertas geram novos avanços. A hierarquia de influências dentro dessas redes cria um efeito cumulativo, com alguns pesquisadores ou artigos (nós) ocupando posições centrais. A especialização crescente e as lacunas nos campos de pesquisa também aumentam a complexidade. Cientistas mais citados tendem a receber mais citações, um fenômeno resultante em um ciclo de maior reconhecimento e influência no campo científico (Price, 1963; Merton, 1968).

De acordo com Alvarenga (1998, p. [n.p.]), “a literatura que forma uma área de conhecimento é polifônica, dispersa, descontínua, intertextual e dependente de estratégias persuasivas e pragmáticas, estas estreitamente dependentes das posições de poder ocupadas por seus produtores”. Ainda segundo a autora, a análise de citações é crucial para identificar padrões e práticas, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos discursos e das formações discursivas que emergem da intertextualidade da pesquisa científica.

A bibliometria oferece uma ferramenta poderosa para analisar grandes conjuntos de dados, mas é essencial reconhecer suas limitações e buscar métodos complementares, como a revisão por pares, para uma avaliação mais abrangente da pesquisa (Wallin, 2005). Ela desempenha um papel fundamental na compreensão da produção acadêmica, especialmente ao analisar padrões e interconexões estabelecidas por meio das citações, sendo crucial para o avanço científico (Hjørland, 2005; Ball, 2018).

Como visto no *Preliminary guideline for reporting bibliometric reviews of the biomedical literature* (BIBLIO) (Montazeri *et al.*, 2023, p. 7-8, tradução própria):

Uma revisão bibliométrica é uma ferramenta útil para resumir com precisão e confiabilidade as evidências, especialmente quando existe um grande número de artigos sobre um determinado tema (Szomszor *et al.*, 2021). Os estudos bibliométricos bem realizados geralmente ajudam a compreender a literatura atual, identificar lacunas no conhecimento, gerar novas ideias para investigação e posicionar suas contribuições pretendidas para a área (Donthu *et al.*, 2021). Os métodos bibliométricos são, por natureza, quantitativos e descritivos, mas também são usados para fazer afirmações sobre aspectos qualitativos. O principal objetivo dos estudos bibliométricos é transformar o conhecimento intangível (qualidade científica) em entidades gerenciáveis (Wallin, 2005). As bibliometrias não são revisões profundas e avaliativas. No entanto, podem relatar brevemente sobre eficácia e avaliações¹⁴ (Montazeri *et al.*, 2023, p. 7-8, tradução própria).

Enquanto a revisão bibliométrica sintetiza esses dados para compreender tendências e impactos, conforme corroborado por Öztürk *et al.* (2023), a definição adotada nesta tese para análise bibliométrica é a de uma abordagem quantitativa da literatura, que aplica métodos estatísticos para investigar a produção científica em um determinado campo, sob a óptica da produtividade, influências e conexões formadas entre os elementos.

A análise bibliométrica possibilita investigar a dispersão dessa literatura e as relações e conexões que se formam entre os pares, principalmente por meio das citações (Tague-Sutcliffe, 1992; Alvarenga, 1998). Logo, esse mapeamento da literatura possibilita o estudo do domínio do conhecimento ou das comunidades discursivas (Hjørland, 2005).

A importância dessa metodologia reside, principalmente, na contribuição para indicar tendências de pesquisas recentes, identificando tópicos em alta; obter uma visão histórica da produção científica, identificando, ainda, lacunas de pesquisas e contribuindo para o aporte de tempo de investimentos de maneira mais assertiva para a condução da ciência. Adicionalmente, os dados resultantes dessa análise podem contribuir para a tomada de decisões em diferentes esferas da sociedade, como educação, pesquisa e políticas públicas.

A condução dessa metodologia requer um conjunto de pré-requisitos e o reconhecimento de dificuldades inerentes ao processo, como: o domínio das bases de dados, a habilidade na análise e correção de dados, a capacidade de elaborar indicadores bibliométricos e o preparo para todas as etapas da análise. Esses fatores são imprescindíveis para a condução efetiva de um estudo bibliométrico. Por outro lado, o sucesso da análise depende também da integração entre bibliotecários e pesquisadores, que podem suprir a falta de experiência e habilidades com a força da colaboração (Silva; Hayashi; Hayashi, 2011)¹⁵.

Problemas como incompatibilidade, ausência de metadados e falta de homogeneidade das palavras-chave podem comprometer a integração de dados de múltiplas bases, afetando a representatividade da amostra e induzindo vieses, como a contagem duplicada de produção,

¹⁴ As referências mencionadas na citação estavam apresentadas de forma numérica, no texto original. No entanto, foram adaptadas para o estilo de normas utilizadas na presente tese.

¹⁵ A presente análise bibliométrica foi desenvolvida em paralelo a outros estudos similares, que contaram com a colaboração da Profa. Dra. Regina Celia Baptista Belluzo, bibliotecária e Doutora em Ciências da Comunicação, e do Prof. Dr. João Pedro Albino, da área de Processamento de Dados e Ciência da Computação, Doutor em Administração de Empresas, Métodos Quantitativos e Informática. Esse trabalho em conjunto atendeu às sugestões da literatura, para a colaboração com especialistas, e contribuiu para a consistência da aplicação da metodologia na presente tese.

quando um autor está vinculado a mais de uma instituição. Além disso, a análise bibliométrica enfrenta diversos desafios, como a incompletude de metadados e divergências nos formatos de exportação das bases, conforme identificado em artigo de revisão e proposição de um *framework* metodológico para condução de uma análise bibliométrica, que publiquei com colaboradores (Celestino *et al.*, 2024).

É importante reforçar alguns pontos fundamentais:

- a. A análise bibliométrica é, por definição, um estudo quantitativo e descritivo.
- b. Embora seja possível fazer inferências qualitativas a partir dos dados, essa metodologia foca na análise do capital bibliométrico, e não nas metodologias dos estudos analisados.
- c. As discussões resultantes de uma análise bibliométrica são orientadas pela identificação de lacunas, tendências e influências em um cenário mais amplo, diferentemente de revisões sistemáticas ou integrativas, que baseiam suas conclusões em evidências diretas dos estudos revisados.
- d. Diversos estudos bibliométricos não relataram claramente a seleção por pares dos artigos ou como lidaram com a incompletude dos metadados, reforçando a importância de se trabalhar com uma metodologia rigorosa e clara quanto às limitações, já que decisões podem ser tomadas com base em conclusões enviesadas.

2.2.2.1 *Justificativa para o uso dessa metodologia*

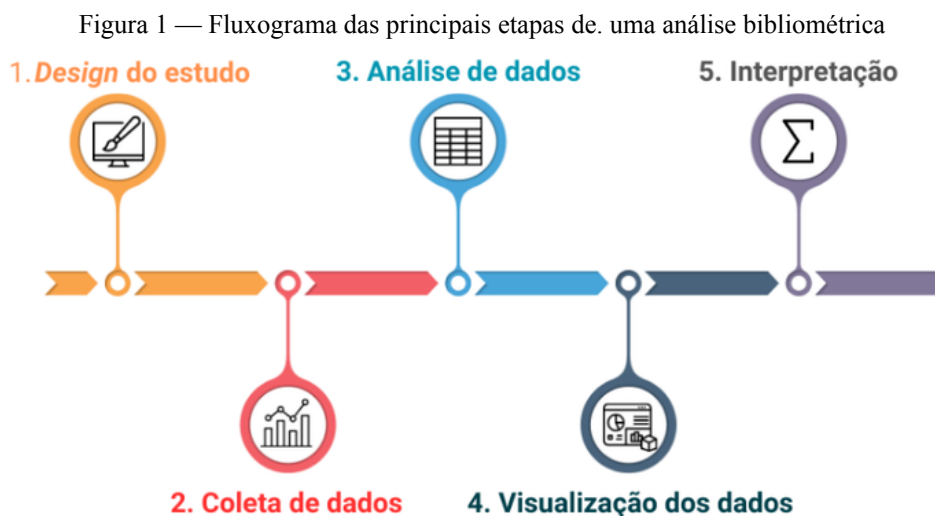
O crescimento exponencial da pesquisa em IA aplicada à imagem médica justifica a necessidade de uma análise bibliométrica para mapear o estado da arte e as tendências de pesquisa dessa área (veja 2.1.11.1). No recorte específico do *framework*, em que a TC surge como TC como principal método de imagem, é imperativo mapear as tendências da fusão dessas tecnologias e explorar as suas possibilidades de seu uso na prática clínica real.

Por isso, a análise bibliométrica apresentada na Seção 2.4 mostra-se relevante ao evidenciar não apenas a dispersão da literatura, mas também os temas nos quais essa convergência tem sido explorada, gerando *insights* sobre modelos e aplicações de ferramentas de IA no diagnóstico oncológico por imagem. Optou-se por uma investigação abrangente das aplicações de IA — sem foco inicial no câncer de pulmão — visando traçar um panorama que sirva de base para futuros recortes de pesquisa.

2.2.2.2 *Procedimentos adotados*

Existe uma variedade de métodos e formas de conduzir uma análise bibliométrica. Aria e Cuccurullo (2017) apresentam um fluxograma para a condução de

análises bibliométricas, baseado em Zupic e Čater (2015), que consiste em cinco etapas principais, conforme ilustrado no fluxograma da figura 1.



Fonte: Reproduzido de Celestino *et al.* (2024), baseado em Aria e Cuccurullo (2017) e Zupic e Čater (2015).

Este fluxograma sintetiza, a grosso modo, os cinco passos gerais utilizados na condução de uma análise bibliométrica. Contudo, eles podem ser formados por etapas menores, como visto em nosso artigo (Celestino *et al.*, 2024). As principais perspectivas utilizadas nessa etapa foram delineadas com base em Donthu *et al.* (2021), Passas (2024) e Öztürk, Kocaman e Kanbach (2024).

Além disso, foram consultados artigos de diferentes áreas para se obter uma compreensão das possibilidades de aplicação, *insights* gerais de pesquisa e forma de otimizar a metodologia (Wallin, 2005; Pizzani; Silva; Hossne, 2010; Vasconcelos, 2015; Volpe *et al.*, 2023; Karger; Kureljusic, 2023; Celestino *et al.*, 2024b; Gencer, 2024; Oladimeji; McLoughlin; Unnikrishnan, 2024). Por fim, consultou-se o BIBLIO (Montazeri *et al.*, 2023), disponível na rede EQUATOR, uma iniciativa que objetiva melhorar a qualidade e a transparência nas pesquisas da área da saúde.

Ademais, seguiu-se como base o estudo de Volpe *et al.* (2023), para seleção de métricas e técnicas consideradas necessárias e suficientes para a condução dos nossos estudos, semelhantemente ao dos autores. A seguir, são descritos os procedimentos realizados.

2.2.2.3 Design do estudo

A presente análise bibliométrica é um estudo retrospectivo, empírico-analítico e descritivo da literatura, não exigindo análises estatísticas complexas. O foco dessa metodologia é a análise quantitativa dos dados recuperados da própria literatura, diferenciando-se de outras metodologias de revisão de literatura, cujo foco está na análise do

conteúdo das evidências e na qualidade da metodologia empregada nas pesquisas. Apesar disso, é possível traçar inferências qualitativas em uma análise bibliométrica (Wallin, 2005), ampliando a compreensão do tema investigado.

2.2.2.4 Coleta de dados

Se, por um lado, Echchakoui (2020) afirma que o estudo bibliométrico com dados das bases Scopus e Web of Science (WoS) simultaneamente possui maior potencial para identificar padrões e a evolução temática de maneira mais assertiva do que a utilização de apenas uma das bases, visto que elas se complementam, por outro, Donthu *et al.* (2021) e Öztürk, Kocaman e Kanbach (2024) **recomendam o uso de apenas uma base de dados**, pois podem ocorrer falhas no processo de junção de conjuntos de dados provenientes de diferentes bases. Isso foi confirmado nos testes na tentativa de mesclar dados das bases Scopus, WoS, Dimensions, Cochrane e PubMed, na pesquisa publicada em nosso artigo (Celestino *et al.*, 2024b).

De acordo com Echchakoui (2020), a Scopus possui maior abrangência, enquanto a WoS apresenta estudos de maior impacto e relevância. Vale mencionar que, embora a PubMed seja amplamente utilizada na área médica, os arquivos adquiridos nessa base não contêm todos os metadados exportados, como ocorre com a Scopus e a WoS (Aria; Cuccurullo, 2017). Ademais, durante os testes realizados por Celestino *et al.* (2024b), confirmou-se que os dados exportados da PubMed apresentavam lacunas importantes, como a ausência de informações sobre o Total de Citações (TCit)¹⁶ e referências citadas, o que comprometeria a análise de redes de cocitação, fundamental para atingir os objetivos propostos na pesquisa. Dessa forma, qualquer tentativa de tratamento desses dados poderia demandar um tempo extra, sem garantia de obtenção de uma amostra adequadamente representativa para a análise.

Existem alternativas, como o uso de aplicações das próprias bases de dados, como as Interfaces de Programação de Aplicações (API, do inglês *Application Programming Interfaces*), que possibilitam a integração e a comunicação entre *softwares* e bancos de dados para a coleta automática de informações. No entanto, essas soluções não foram testadas para este estudo.

Lim, Kumar e Donthu (2024) apresentam uma metodologia para a junção de dados das bases Scopus e WoS. Os autores propõem uma abordagem automática utilizando o *software bibliometrix* e uma abordagem manual, que pode ser realizada diretamente na interface gráfica com a função *biblioshiny()* do *bibliometrix*. Contudo, optou-se por não realizar a junção dos dados devido às (já mencionadas) possibilidades de erros associados ao processo, deixando essa abordagem para outro momento de pesquisa.

Assim, a escolha por não mesclar as bases de dados para a análise bibliométrica se

¹⁶ Convencionalmente, a sigla utilizada para o total de citações seria TC, mas optou-se por utilizar TCit a fim de evitar confusão, já que a sigla TC também é amplamente utilizada para se referir à Tomografia Computadorizada

justifica pelo interesse em obter resultados de forma ágil e eficiente, seguindo pressupostos e exemplos da literatura. Diante disso, priorizou-se a coleta de dados na base Scopus. Essa escolha também se fundamenta em precedentes de estudos relevantes que utilizaram exclusivamente uma única base de dados, como o estudo de Volpe *et al.* (2023), publicado no *European Radiology*, um periódico de referência na área de diagnóstico por imagem, que utilizou apenas a base Scopus para conduzir uma análise bibliométrica sobre a radiômica, ou de Wu *et al.* (2024), que utilizaram apenas a Web of Science Core Collection (WoSCC) para conduzir uma análise bibliométrica publicada no *Frontiers in Oncology*, sobre a evolução dos tópicos de pesquisa sobre células T reguladoras, que são células que fazem parte do sistema imunológico.

Foi criada uma *query*¹⁷ (consulta) de busca cuja primeira parte visou recuperar estudos relacionados aos métodos de imagem TC e RM, utilizando termos como “*Computed Tomography*” e “*Magnetic Resonance Imaging*”. A segunda parte da *query* abrangeu termos associados aos estudos sobre IA, como “*Deep Learning*”. Já a terceira parte trouxe a especificidade das aplicações dessas tecnologias para o diagnóstico oncológico. Nessa parte, foi incluído o termo “*Cancer Treatment*” (tratamento do câncer), a fim de identificar também relações diretas entre os métodos de imagem e o tratamento. Por fim, a última parte da *query* excluiu termos como “*ultrasonography*” (ultrassonografia) ou “*Industrial*” (Industrial), a fim de evitar resultados similares, mas sem adesão, já que a radiologia industrial utiliza TC, e alguns estudos poderiam aparecer correlatamente, associando TC a outras modalidades diagnósticas, como ultrassonografia. O termo “*Nuclear Medicine*” (medicina nuclear), embora seja amplamente utilizado em oncologia, foi excluído da *query* para reforçar a especificidade do estudo em TC e RM, já que a revisão de literatura mostrou que a TC é o principal método para estudos de câncer de pulmão, e que a RM também apresenta uma contribuição importante nesse tipo de pesquisa.

Foram utilizados termos do *Medical Subject Headings*¹⁸ (MeSH), como “*Tomography*”, “*X-Ray Computed*”, e termos livres, como “*Industrial*”, excluindo modalidades de imagem não relacionadas. Apesar de ser preferível o uso desses descritores, optou-se por incluir também termos livres, devido à flexibilidade desses termos em capturar uma gama mais ampla de variações terminológicas, já que nem todos os estudos são indexados com descritores previamente estabelecidos, como os termos MeSH. A busca foi realizada na base de dados Scopus em 20 de julho de 2024.

A busca inicial foi realizada selecionando “todos os campos”, resultando em um total de 10.149 artigos. Em seguida, a busca foi refinada para os campos “título do artigo, resumo e palavras-chave”, aumentando a especificidade e reduzindo o total para 2.725 artigos. Foram aplicados os seguintes filtros de inclusão: artigos em inglês, em sua versão final e publicados em periódicos, o que resultou na exclusão de 1.047 artigos, totalizando 1.678 artigos. A *query*

¹⁷ Conjunto estruturado de termos utilizados na consulta para recuperar informações da base Scopus. Diferencia-se do termo string, que se refere à sequência específica de caracteres ou palavras na consulta.

¹⁸ Vocabulário controlado utilizado para indexar e organizar artigos científicos na área da saúde.

utilizada na busca é apresentada no quadro 5.

Quadro 5 — Query utilizada na busca na base Scopus

("Computed Tomography" OR "CT scan" OR "Tomography, X-Ray Computed" OR "Angio CT") OR ("Magnetic Resonance Imaging" OR "MRI" OR "Magnetic Resonance" OR "NMR Imaging" OR "Angio MRI") OR ("Diagnostic Imaging") AND ("Artificial Intelligence" OR "AI" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning") AND ("Cancer Diagnosis" OR "Oncology Diagnosis" OR "Cancer Detection" OR "Cancer Treatment") AND NOT ("Positron Emission Tomography" OR PET OR "Ultrasound" OR "Mammography" OR "Fluoroscopy" OR "Radiography" OR "Industrial" OR "Orthodontic" OR "Orthodontics" OR "Nuclear Medicine" OR "Nuclear Imaging" OR "Radionuclide Imaging" OR "Scintigraphy")

Fonte: O autor (2024).

Após as buscas, os dados foram exportados da base Scopus, com todas as informações selecionadas nos formatos de arquivos CSV, XLSX, BIB e RIS, permitindo sua utilização, caso necessário, em diferentes ferramentas, como Zotero ou Rayyan, para gerenciamento de referências ou triagem posterior dos artigos.

2.2.2.5 Análise de dados

Um arquivo contendo os 1.678 artigos foi importado no ambiente RStudio (Posit, 2024). Os pacotes *readr()*, *writexl()*, *dplyr()*, *ggplot2()* e *bibliometrix()* foram carregados utilizando a função *library()*. As seguintes etapas foram realizadas:

- A função *convert2df()* foi utilizada para converter o conjunto de dados em um *dataframe*¹⁹.
- A função *duplicatedMatching()*, baseada no campo DOI, foi aplicada, resultando na remoção de 19 entradas duplicadas, deixando um total de 1.659 artigos.
- Um artigo que não possuía dados na coluna de afiliação²⁰ foi removido, resultando em 1.658 artigos.

Optou-se por não utilizar recorte temporal e analisar todos os artigos até o momento da busca, já que os artigos de 2024 poderiam contribuir para uma caracterização atualizada dos tópicos emergentes e do mapa temático.

2.2.2.6 Segunda triagem

Donthu *et al.* (2021) recomendam que a análise bibliométrica seja realizada em áreas com pelo menos 500 artigos para garantir uma base significativa de dados. A literatura

¹⁹ Estrutura bidimensional de dados, que os armazena em forma de tabelas, semelhante a uma planilha.

²⁰ Após acessar a planilha XLSX e o DOI desse artigo, não foi possível identificar a informação de afiliação, bem como outros metadados relevantes do artigo, como o resumo.

apresenta análises bibliométricas com diferentes tamanhos de amostras, como 6.450 estudos (Karger; Kureljusic, 2023), 31.169 (Ruiz-Fresneda; Gijón; Morales-Álvarez, 2023) e 164 artigos (İnan, 2023).

Em nosso artigo sobre o impacto do ChatGPT no marketing (Celestino; Valente, 2025), analisamos 35 artigos extraídos de um total de 1.629 de um estudo prévio (Celestino; Valente, 2024c). A amostra indicou o ChatGPT como uma tendência emergente em PG e MKT. Embora pequena, contrastando com Donthu *et al.* (2021), concluímos que essa análise pode mapear bases bibliométricas de temas emergentes, sugerindo sua repetição periódica para acompanhar a evolução da produção na área.

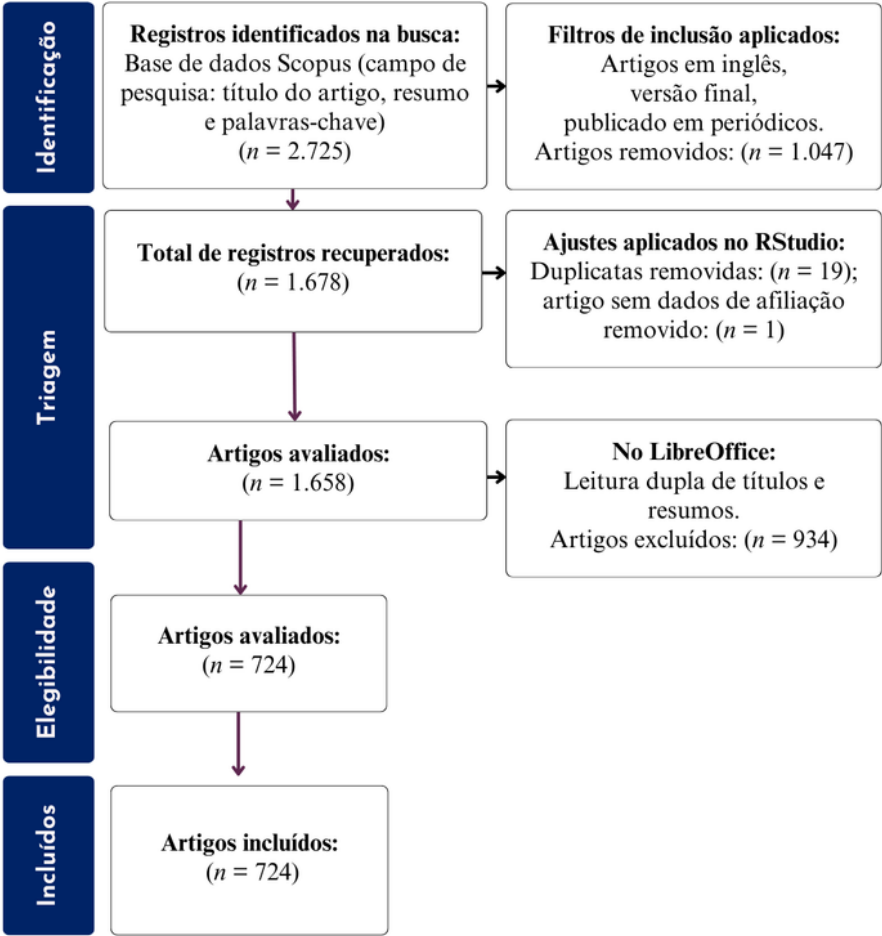
Para essa etapa da pesquisa, optou-se por analisar uma amostra mínima de 500 artigos. Foi realizada a dupla leitura dos resumos dos 1.658 artigos, conforme explicamos em nosso artigo (Celestino *et al.*, 2024b), sendo selecionados aqueles que respondessem positivamente à questão: **o estudo trata sobre a aplicação da IA em TC ou RM no contexto do diagnóstico oncológico?** Como critérios de exclusão, adotaram-se estudos que:

- Utilizavam outras modalidades de imagem;
- Apresentavam resumos pouco claros quanto à aderência específica ao uso de TC ou RM;
- Aderiram parcialmente ao tema, incluindo: (i) a detecção de cânceres fora do escopo de TC e RM; ou (ii) a análise de patologias que não fossem cânceres, como pólipos no cólon; ou (iii) a classificação de cânceres em tecidos histopatológicos e exames endoscópicos, entre outros.
- Apesar de mencionarem TC ou RM, focavam nos aspectos de desenvolvimento do algoritmo de aprendizado, e não na aplicação em si;
- Abordavam técnicas de IA no contexto geral de algoritmos, ou seja, sem especificidade da TC ou RM;
- Enfatizavam aspectos de tratamento sem relação direta com TC ou RM;
- Tratavam de patologias distintas do câncer, mesmo que o estudo também mencionasse o câncer, como câncer de pulmão e pneumonia;
- Não possuíam resumo.

A exclusão desses trabalhos foi essencial para garantir o rigor da pesquisa e uma análise baseada em uma amostra homogênea. Foram excluídos 934 artigos, resultando em uma amostra final de 724 artigos.

O diagrama apresentado na figura 2 representa o fluxo de seleção dos artigos.

Figura 2 — PRISMA: diagrama de fluxo para seleção dos artigos



Fonte: O autor (2024).

Após o procedimento de triagem, prosseguiu-se para a análise da completude dos metadados dos artigos, afim de garantir a maior precisão possível das métricas e indicadores.

2.2.2.7 Completude dos metadados

Na interface gráfica (*bibloshiny*), o *software* classifica a qualidade dos metadados por condição: bom (*good*), pobre (*poor*), excelente (*excellent*) e aceitável (*acceptable*). Nessa etapa, identificou-se a falha dos seguintes metadados:

- Autor correspondente (*Corresponding Author*): 3,72% ($n = 27$).
- Palavras-chave adicionais (*Keywords Plus*): 8,15% ($n = 59$).
- Palavras-chave dos autores (*Keywords*): 11,86% ($n = 86$).

A figura 3 ilustra essa classificação, bem como a porcentagem dos dados faltantes.

Figura 3 — Completude dos metadados dos artigos

Metadata	Description	Missing Counts	Missing %	Status
AB	Abstract	0	0.00	Excellent
C1	Affiliation	0	0.00	Excellent
AU	Author	0	0.00	Excellent
CR	Cited References	0	0.00	Excellent
RP	Corresponding Author	0	0.00	Excellent
DI	DOI	0	0.00	Excellent
DT	Document Type	0	0.00	Excellent
SO	Journal	0	0.00	Excellent
LA	Language	0	0.00	Excellent
PY	Publication Year	0	0.00	Excellent
TI	Title	0	0.00	Excellent
TC	Total Citation	0	0.00	Excellent
ID	Keywords Plus	59	8.15	Good
DE	Keywords	86	11.88	Acceptable
WC	Science Categories	724	100.00	Completely missing

Fonte: Dados da pesquisa analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017). Nota: AB = Resumo; AU = Autor; C1 = Afiliação; CR = Referências Citadas; DE = Palavras-chave (dos autores); *Description* = Descrição; DI = *Digital Object Identifier* (DOI); DT = Tipo de Documento; ID = Palavras-Chave Adicionais; LA = Idioma; Metadata = Metadados; *Missing %* = Ausentes %; *Missing Counts* = Contagens Ausentes; PY = Ano da Publicação; RP = Autor Correspondente; SO = Fonte (Periódico); TC = Total de Citações; TI = Título; WC = Categorias Científicas.

Por se tratar de uma quantidade relativamente pequena de artigos com falha de metadados no campo de autor correspondente, optou-se por preencher manualmente esses dados. Para isso, o arquivo “scopus_724” XLSX foi aberto no LibreOffice, as páginas foram acessadas, e os dados foram coletados (nos sites dos artigos) e preenchidos na coluna correspondente. Por outro lado, os dados referentes às palavras-chave adicionais não foram possíveis de serem preenchidos, já que são gerados automaticamente pelos algoritmos com base nos artigos relacionados; e os dados das palavras-chave dos autores não foram identificados nas páginas dos artigos.

Uma das limitações, também identificadas na literatura, é o vínculo de autores com mais de uma instituição, de modo que uma instituição pode pontuar duplamente com a menção em um determinado artigo. Torna-se inviável contactar os autores para preencher o campo com maior precisão; logo, foi considerada a primeira instituição mencionada. Para os artigos nos quais o autor correspondente não estava claramente indicado, foi adicionado o primeiro autor. Essa escolha, embora deliberada, foi necessária para que os artigos não fosse

excluído da análise, diminuindo a representatividade do estudo.

Para a análise temática e de tópicos emergentes, são utilizadas as palavras-chave dos autores e dos títulos dos trabalhos. Na planilha de dados, foram filtrados 86 artigos com falha na completude das palavras-chave dos autores. As páginas dos artigos e o texto dos artigos foram acessados; contudo, não havia palavras-chave dos autores, somente termos de vocabulários indexados como *MeSH*, *Engineering Main Heading*, *Engineering Uncontrolled Terms*, *EMTREE Medical Terms*.

Em relação aos 59 artigos com falha na completude das palavras-chave adicionais, não foi possível preenchê-las manualmente, já que se trata de um campo gerado automaticamente por algoritmo, a partir dos títulos das referências citadas por um artigo. Tais termos não podem ser alterados e seu papel é expandir a busca por artigos relacionados com base nas citações (Clarivate, 2022).

Optou-se por manter os artigos com falhas nas palavras-chave, pois sua exclusão poderia comprometer ainda mais a representatividade da amostra e reduzir a abrangência dos resultados. Embora a falta de palavras-chave possa afetar minimamente a precisão dos dados, ao mantê-los, a diversidade temática foi preservada, minimizando o risco de viés de seleção. Além disso, o *software* classificou a amostra como boa e aceitável (Figura 3), o que reforçou a decisão de manter os artigos. Dessa forma, assegurou-se uma visão mais sólida e representativa do conjunto de pesquisas.

Por outro lado, estudos como o de Wu *et al.* (2024, p. 2, tradução própria) relatam abordagens metodológicas em que corrigiram “[...] manualmente palavras com erros ortográficos.” Esse tipo de procedimento não foi adotado e não é recomendado, porque qualquer alteração de termos representa uma intervenção do pesquisador e manipulação dos dados.

Vale ressaltar que a Scopus não fornece dados do campo *Science Categories* (categorias científicas), o que pode ser realizado diretamente na base de dados. Neste caso, uma alternativa seria trabalhar com os dados da WoS, que fornece os dados referentes a essa *tag*²¹, caso seja de interesse do estudo mapear as diferentes categorias científicas que se relacionam com o tema investigado, como, por exemplo, identificar quais áreas além da medicina investigam o câncer de pulmão.

2.2.2.8 Fundamentos das técnicas e métricas essenciais para a pesquisa

Na perspectiva de Aria e Cuccurullo (2017), o mapeamento científico pode ser considerado todo o processo investigado na análise bibliométrica. Por outro lado, Donthu *et al.* (2021) classificam uma análise bibliométrica em três grandes partes, as quais:

I. Análise descritiva: inclui a quantidade de artigos, taxa de crescimento anual, idade

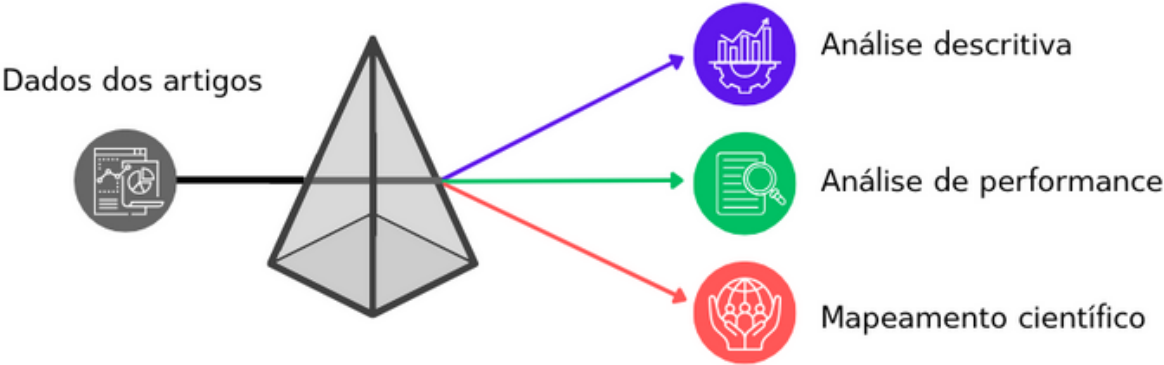
²¹ Variável que represente a dimensão das Categorias Científicas no conjunto de dados.

média dos documentos e taxa de colaborações internacionais. Também são analisadas a distribuição temporal dos artigos, a média de anos desde a publicação, a média de citações por documento, o número de autores, a quantidade de documentos com autoria única e múltipla, o número médio de coautores por documento, apresentados por meio de uma tabela. A identificação do primeiro artigo da amostra possibilita uma contextualização histórica, como sugerido no *BIBLIO* (Montazeri *et al.*, 2023). Os nomes dos autores foram mantidos como apresentados pelo *bibliometrix*.

II. Análise de performance: os dados da análise de performance devem ser apresentados separadamente em seções (Montazeri *et al.*, 2023). Uma alternativa a isso é o uso de *frameworks* integrativos (Öztürk; Kocaman; Kanbach, 2024), que possibilitam uma análise holística dos dados. Donthu *et al.* (2021, p. 288, tradução própria) afirmam que “As medidas mais proeminentes são o número de publicações e citações por ano ou por constituinte de pesquisa, em que a publicação é um indicador de produtividade, enquanto a citação é uma medida de impacto e influência.” De acordo com Durieux e Gevenois (2010), além da produtividade, é possível considerar outros indicadores de desempenho que colaboram para uma melhor avaliação do impacto de uma pesquisa, como a frequência de citação, seja de um autor, artigo ou periódico. Quanto maior o número de citações, maior o desempenho. Logo, é possível “analisar as publicações mais influentes em um campo de pesquisa para obter uma compreensão da dinâmica intelectual desse campo” (Donthu *et al.*, 2021, p. 288, tradução própria). Além disso, a *Lei de Bradford* (Alabi, 1979) pode ser aplicada para avaliar a distribuição da produção em periódicos em três zonas de importância.

III. Mapeamento científico: o mapeamento científico está relacionado aos elementos e às relações entre as interações estruturais e intelectuais resultantes na produção científica analisada, ou seja, alinha-se com as chamadas métricas relacionais. Essas métricas têm por objetivo identificar e visualizar as relações estruturais e intelectuais entre diferentes atores, publicações e conceitos na produção científica. As técnicas empregadas são análise de cocitação, de copalavras e coautoria (Stuart, 2014). Outrossim, é possível perceber que o interesse do mapeamento científico é identificar as forças construídas na “rede” de conexões por meio de elementos como publicações mais influentes, relações entre as publicações, as palavras-chave, que podem trazer luz a um determinado tema ou, ainda, às relações sociais que ocorrem por meio da prática colaborativa em pesquisa. A figura 4 representa as três dimensões da análise bibliométrica utilizadas na análise dos dados.

Figura 4 — Dimensões da análise bibliométrica



Fonte: O autor (2024).

O quadro 6 apresenta uma seleção e síntese de técnicas e métricas utilizadas em análises bibliométricas.

Quadro 6 — Seleção de métricas e técnicas utilizadas em análises bibliométricas (continua)

Item	Descrição
Análise de cocitação	Examina a frequência de cocitação para identificar áreas de pesquisa relacionadas (Callon <i>et al.</i> , 1983; Zupic; Čater, 2015).
Artigos mais citados	Avalia os documentos de maior impacto na amostra, indicando trabalhos seminalmente relevantes (Donthu <i>et al.</i> , 2021)
Autores mais prolíficos e influentes	Calcula métricas como o <i>h-</i> e <i>g-index</i> e o TCit, para determinar o impacto acadêmico. A <i>Lei de Lotka</i> é aplicada para identificar a prolificidade individual dos autores (Lotka, 1926; Hirsch, 2005; Egghe, 2006).
Citações locais	As citações locais indicam quantas vezes um documento da coleção foi citado por outros da mesma coleção, ou seja, analisa as conexões e similaridades entre autores ou trabalhos em um contexto específico, focando em informações imediatas e próximas na rede de citações (Vital; Amâncio, 2022).
Colaboração e coautoria	Análise da colaboração entre pesquisadores e instituições, que pode influenciar a visibilidade e o impacto das publicações (Wallin, 2005).
Dados iniciais e contexto histórico	Total de documentos, período de publicação, quantidade de artigos, quantidade de autores, taxa de coautorias internacionais, total de palavras-chave, total de referências, etc. (Aria; Cuccurullo, 2017; Volpe <i>et al.</i> , 2023).
Fontes mais produtivas e influentes	Identifica os periódicos mais citados e frequentemente usados em cocitações (Rahman <i>et al.</i> , 2024).
<i>g-index</i>	Índice que amplifica as citações dos artigos mais citados para destacar distinções entre

Quadro 6 — Seleção de métricas e técnicas utilizadas em análises bibliométricas (conclusão)

Item	Descrição
	pesquisadores. É uma extensão do <i>h-index</i> (Egghe, 2006).
<i>h-index</i>	Métrica que fornece uma visão equilibrada da produtividade e impacto do autor. Ex.: um <i>h-index</i> de 10 indica 10 publicações citadas ao menos 10 vezes (Hirsch, 2005).
Instituições e países mais produtivos e influentes	Mapeia a contribuição de instituições e nações, avaliando colaborações internacionais (Donthu <i>et al.</i> , 2021; Volpe <i>et al.</i> 2023; Öztürk; Kocaman; Kanbach, 2024).
<i>m-index</i>	Métrica complementar ao <i>h-index</i> , que caracteriza a influência do pesquisador ao longo do tempo (Hirsch, 2005).
Produção anual e anos citáveis	Analisa a evolução temporal das publicações, destacando os períodos de maior produtividade (Montazeri <i>et al.</i> , 2023).
TP	Quantifica o total de documentos publicados por autores, instituições, países e periódicos. Fundamentada pela <i>Lei de Bradford</i> , identifica as fontes mais produtivas e influentes (Alabi, 1979; Donthu <i>et al.</i> 2021; Passas, 2024).
TCit	Contagem de quantas vezes os trabalhos de um autor ou instituição foram citados por outros pesquisadores (Durieux; Gevenois, 2010; Donthu <i>et al.</i> 2021; Vital; Amâncio, 2022).

Fonte: O autor (2024). Nota: *g-index* = Índice g; *h-index* = Índice h; *m-index* = Índice m; *Clusters* = Agrupamentos; TCit = Total de Citações; TP = Total de Publicações.

As técnicas utilizadas no mapeamento científico do presente estudo são explicadas a seguir:

a. **Análise de palavras-chave (frequência e coocorrência):** a análise de palavras-chave apropriadas possibilita a identificação de tópicos que ocorrem com frequência nas publicações e apresenta a estrutura conceitual da rede, cuja unidade avaliada são as “palavras” (Aria; Cuccurullo, 2017; Donthu *et al.*, 2021). Essas palavras podem ser extraídas de partes do artigo, como o resumo, título e palavras-chave (Glänzel, 2003). Donthu *et al.* (2021) explicam, com base em Chang, Huang e Lin (2015), que essa técnica pode ser utilizada inicialmente para reforçar os achados do acoplamento bibliográfico. Além disso, os autores continuam explicando que ela também pode ser usada para identificar tendências futuras de pesquisa, corroborando com Geisler (2002) e Chen *et al.* (2024). Cassettari *et al.* (2015) alertam que a análise de palavras-chave pode enviesar interpretações se a semântica não for bem considerada, reforçando a necessidade de critérios rigorosos na seleção de amostras e bases de dados. Neste caso, deve-se optar por trabalhar com descritores indexados, mas também deve-se considerar que a inclusão de termos livres pode ampliar a representatividade da amostra. Essa é uma decisão metodológica que deve ser tomada pelos autores

durante a elaboração do *design* da pesquisa. Com base em Leydesdorff (1997), Geisler (2002) menciona que a repetição de palavras-chave também gera métricas incorretas, e o fato de não utilizar o texto completo impossibilita a compreensão da essência do pensamento dos autores.

b. **Mapa temático:** para uma melhor compreensão da relação entre as palavras-chave, a análise temática Para uma melhor compreensão da relação entre as palavras-chave, a análise temática (Van Raan, 2014; Volpe *et al.*, 2023), conforme proposta por Aria e Cuccurullo (2017), possibilita a geração automática de representações visuais que sintetizam os principais temas de um conjunto textual, permitindo também a análise da estrutura e da relevância desses temas dentro de uma rede mais ampla. Utilizou-se o algoritmo *Louvain* devido à sua capacidade de identificar grupos temáticos em redes bibliométricas, por meio da detecção de comunidades (Smith *et al.*, 2020).

c. **Acoplamento bibliográfico:** a técnica do acoplamento bibliográfico identifica a relação entre dois artigos quando eles compartilham pelo menos uma referência em comum, ou seja, a proximidade temática entre trabalhos ao analisar referências compartilhadas (Öztürk; Kocaman; Kanbach, 2024). Dois critérios são considerados nessa relação: (i) um grupo de artigos é considerado relacionado se cada membro desse grupo estiver associado a um artigo de teste específico por meio de pelo menos uma referência em comum. A intensidade dessa associação é medida pelo número de referências compartilhadas (unidades de acoplamento) entre o artigo de teste e cada membro do grupo; (ii) grupos relacionados de artigos são formados nos quais cada membro possui pelo menos uma unidade de acoplamento com todos os outros membros desse mesmo grupo. Isso implica que os artigos no grupo estão interligados por uma rede densa de referências mútuas (Kessler, 1963).

d. **Tópicos em tendência ou emergentes:** essa técnica é utilizada para identificar os tópicos que estão ganhando relevância e se destacando nas publicações científicas em determinado período. Isso é feito com base na frequência de palavras-chave extraídas de seções dos artigos científicos, como as palavras-chave dos autores, o título ou o resumo. A identificação desses tópicos serve como ponto de partida para a continuidade de pesquisas relevantes, além de fornecer um norte para o direcionamento de investimentos e esforços acadêmicos (Katsurai; Ono, 2019; Volpe *et al.*, 2023).

O quadro 7 sumariza as medidas de *Callon* e *Rank*, como densidade e centralidade, utilizadas para formação das redes e identificação da posição e relevância dos nós, atuando como elementos integradores das interconexões que se formam na produção científica.

Quadro 7 — Medidas de centralidade e densidade das redes

Métricas	Descrição
<i>Callon Centrality</i>	Refere-se à relevância do <i>cluster</i> no contexto de pesquisa, ou seja, o quão central é o tópico no campo de estudo (Callon; Courtial; Laville, 1991).
<i>Callon Density</i>	Indica o grau de desenvolvimento do <i>cluster</i> , ou seja, como o tema está estruturado e explorado nas publicações (Callon; Courtial; Laville, 1991).
<i>Rank Centrality</i>	Classifica a relevância de um <i>cluster</i> , destacando sua importância e a interconexão com outros <i>clusters</i> na rede de pesquisa (Callon; Courtial; Laville, 1991; Newman, 2010; Urbizagástegui-Alvarado, 2022).
<i>Rank Density</i>	Avalia a proporção de conexões em um <i>cluster</i> , refletindo seu desenvolvimento e a relação com outros grupos na rede (Callon; Courtial; Laville, 1991; Newman, 2010; Urbizagástegui-Alvarado, 2022).
<i>PageRank</i>	Algoritmo que classifica a importância de artigos científicos com base em citações. Foi introduzido pela Google em seu motor de busca para classificar as páginas da web conforme a importância e relevância (Page, 1999; Yates; Dixon, 2015).
<i>Cluster Frequency</i>	Representa a frequência com que o <i>cluster</i> é mencionado nas publicações, ajudando a entender sua popularidade e importância no estudo (Huh, 2021).

Fonte: O autor (2024). Nota: *Cluster* = Agrupamento.

O diagrama estratégico (Callon; Courtial; Laville, 1991) é uma ferramenta que permite compreender a relevância e o desenvolvimento, com base em um mapa dividido em quatro quadrantes. Em síntese, os quatro *clusters* podem ser definidos como:

- **Quadrante I:** *clusters* centrais e desenvolvidos (alta centralidade e alta densidade). Esses *clusters* são considerados o núcleo do campo de pesquisa.
- **Quadrante II:** *clusters* centrais e subdesenvolvidos (alta centralidade, baixa densidade). Esses *clusters* são importantes, mas ainda não estão totalmente explorados.
- **Quadrante III:** *clusters* periféricos e desenvolvidos (baixa centralidade, alta densidade). Esses *clusters* podem ter sido relevantes no passado, mas estão se tornando menos centrais.
- **Quadrante IV:** *clusters* periféricos e subdesenvolvidos (baixa centralidade e baixa densidade). Esses *clusters* são menos relevantes e menos explorados.

A figura 5 ilustra essa divisão de maneira adaptada para facilitar a compreensão da posição dos *clusters* segundo o seu desenvolvimento no campo investigado.

Figura 5 — Diagrama estratégico



Fonte: O autor (2024).

A centralidade avalia a relevância dos vértices (ou arestas) em uma rede, sendo uma medida amplamente utilizada por analistas de redes sociais (Newman, 2010). Logo, a análise do diagrama se dá basicamente pela posição do *cluster* em um dos quatro quadrantes, analisando a sua relação ou proximidade com o centro do gráfico. Essa adaptação, ou melhor dizendo, esse ato de emprestar o uso dessa medida em redes sociais para o diagrama, tem aplicabilidade na análise bibliométrica, sendo de suma importância para identificar a relevância de um *cluster*, sua interconexão e desenvolvimento, otimizando a compreensão da rede que se forma na pesquisa.

Tópicos no quadrante IV, por exemplo, ao mesmo tempo, em que sugerem baixa relevância, podem significar um tema potencial de pesquisa, com base naquilo que os autores deixaram de mencionar em seus resultados. Já os temas do quadrante II são aqueles que estão em alta ou se tornaram “populares” no meio científico, indicando que se tratam de temas atuais. Por outro lado, os temas do quadrante III refletem pesquisas que foram relevantes, mas que perderam a consistência e o interesse ao longo do tempo. Isso não significa que não serão relevantes em outro momento, com o surgimento de uma nova tecnologia ou aplicação, por exemplo. Por fim, os temas do quadrante I são aqueles considerados o núcleo da pesquisa, ou seja, o que está consolidado no campo investigado e serve de alicerce científico para novas pesquisas.

2.2.2.9 *Análise exploratória preliminar*

Utilizando as funções `summary(object = file, k = 10, pause = FALSE)` e `biblioAnalysis(file, sep = ";")`, do pacote²² *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2025), foi realizada uma análise exploratória inicial, incluindo os 10 países mais produtivos, os artigos mais citados e os periódicos líderes, entre outras métricas. Além disso, gráficos básicos foram plotados com a função `plot(x = results, k = 10, pause = FALSE)`, fornecendo uma visão geral da produtividade dos elementos do conjunto de dados. Um gráfico de produção ao longo do tempo e das taxas de citação, apresentando adiante na figura 16, foi criado utilizando o pacote `ggplot2()`. Por fim, a interface gráfica do *bibliometrix* foi acessada por meio da função `biblioshiny()`, onde cada subconjunto de dados, que havia sido exportado previamente, foi carregado.

2.2.2.10 *Técnicas e métricas selecionadas para a análise*

A Elsevier (2009) recomenda que uma métrica nunca seja avaliada individualmente para caracterizar a influência da literatura, sendo sugerida a análise de múltiplas métricas associadas à opinião de especialistas da área. Da mesma forma, vale a pena mencionar o *Manifesto de Leiden* (Hicks *et al.*, 2015), que defende que a avaliação da produção deve ser baseada em múltiplos indicadores, por intermédio de modelos personalizados para cada contexto. Esse manifesto apresenta 10 princípios que enfatizam a importância de considerar o contexto socioeconômico e cultural na avaliação da pesquisa, a necessidade de proteger a excelência em pesquisas localmente relevantes e a importância de manter processos de coleta de dados e análises transparentes e abertos. Isso reforça a importância da ciência ética e dos seus impactos sociais.

A seleção das métricas e técnicas foi realizada após a simulação da análise bibliométrica em sua versão final, considerando as limitações já apresentadas e identificando a capacidade dos dados de responder adequadamente aos objetivos da pesquisa. Foi adicionada uma etapa de simulação (Celestino *et al.*, 2024b), onde foram realizados testes exploratórios com a *query* de busca em diferentes bases de dados e, posteriormente, entre os dados dos artigos e as métricas e técnicas de interesse do estudo. Isso foi crucial para refinar o processo, por meio de um ciclo de *feedback*, contribuindo para a seleção adequada das técnicas e métricas.

A figura 6 ilustra as métricas e técnicas, que foram analisadas no presente estudo, agrupadas pelas três dimensões dessa parte da pesquisa.

²² Um pacote pode ser compreendido como um conjunto de funções agrupadas para realizar determinadas tarefas, como análise estatística de dados, visualização de gráficos, edição de planilhas entre outras. Cada pacote precisa ser instalado e carregado no ambiente RStudio antes de ser utilizado.

Figura 6 — Detalhamentos das dimensões da análise bibliométrica



Fonte: O autor (2024).

O conjunto das métricas e técnicas selecionadas de maneira objetiva proporciona uma compreensão suficiente do estado da arte da literatura investigada e, principalmente, atende à necessidade da pesquisa sobre a aplicação da IA no diagnóstico precoce do câncer por meio da TC ou RM. Apesar da divisão em três categorias para a análise bibliométrica, Volpe *et al.* (2023) apresentaram objetivamente as técnicas necessárias e suficientes para responder ao seu problema de pesquisa, agrupando em uma mesma seção dados como o TP dos países e a rede de colaboração que se forma entre eles. Essa abordagem menos fragmentada e mais integrativa proporciona uma compreensão imediata de múltiplos pontos da análise, tornando a apresentação dos resultados mais dinâmica e eficiente.

2.2.2.11 Visualização dos dados e interpretação dos resultados

Foram utilizadas tabelas e gráficos exportados e adaptados da interface gráfica acessada com a função *biblioshiny()* (Aria; Cuccurullo, 2025). A interpretação dos resultados concentrou-se em revelar a estrutura do campo, como sugerem Öztürk, Kocaman e Kanbach (2024), enfatizando o mapeamento, as relações e inferências entre os itens e elementos bibliométricos, sob uma perspectiva atual, de tendências futuras e lacunas de pesquisa.

2.2.3 Etapa 3: construção do *framework*

Em 1.6, foram apresentados os desafios e propostas de Raez *et al.* (2018). A seguir, o quadro 8 apresenta os desafios e as propostas para o rastreamento por TCBD do modelo aqui proposto.

Quadro 8 — Desafios e propostas para o rastreamento por TCBD

Desafios	Propostas
Diagnóstico tardio reduz a possibilidade de cura e de maior sobrevida livre da doença em pacientes com câncer de pulmão.	Campanha ativa de rastreamento por TCBD para a população de risco para o câncer de pulmão, com uso de IA para: (i) suportar o diagnóstico médico de forma ágil e assertiva; (ii) classificar os casos conforme a sua gravidade (urgência e importância), para gerenciar o fluxo de atendimento posterior, conforme a disponibilidade de recursos.
Falta de infraestrutura: equipamentos de imagem médica e médicos radiologistas.	(i) uso do conceito de descentralização: (a) iniciativa local — deslocamento para cidades vizinhas para realização de exames; (b) plataforma integrada para laudo remoto; (c) parcerias público/privadas; (d) criação de uma rede colaborativa de especialistas para acesso a laudos.
Imprecisão ou demora no diagnóstico por imagem.	(i) centralidade no paciente, com agendas dedicadas de exames; (ii) pré-triagem por IA associada a um sistema de classificação de prioridades para laudo e tratamento; (iii) algoritmos de <i>machine learning</i> para melhorar a precisão de diagnósticos.
Falta de profissionais especialistas.	(i) uso da telerradiologia; (ii) plataforma de educação continuada; (iii) serviços móveis de TC; (iv) formação de equipes multidisciplinares com enfoque em rastreamento; (v) programa de mentoria e treinamento para novos especialistas sobre o uso do sistema.
Dificuldade de acesso à saúde por populações em áreas remotas.	(i) campanha de conscientização sobre doenças e prevenção; (ii) descentralização da saúde por meio de unidades móveis de saúde ou transporte dos pacientes; (iii) telemedicina/telerradiologia; (iv) tecnologias móveis para fornecer informações e consultas remotas; (v) parcerias com organizações locais para facilitar o acesso da população ao serviço.
Baixo letramento digital ou deficiência no letramento digital entre pacientes, familiares e profissionais de saúde.	(i) criar uma plataforma digital integrada para ofertar cursos, materiais interativos e suporte remoto; (ii) oferecer treinamentos presenciais em locais como clínicas e centros de saúde; (iii) utilizar agentes de apoio telefônico para ajudar usuários a navegar na plataforma e tirar dúvidas; (iv) promover eventos comunitários para demonstrar a plataforma e suas funcionalidades.
Falta de programas de cessação do tabagismo, sendo o principal fator de risco para o desenvolvimento do câncer de pulmão.	(i) criação de programas de cessação do tabagismo, integrados com a campanha de rastreamento do câncer de pulmão por TCBD; (ii) suporte psicológico e educacional durante o processo de cessação do tabagismo; (iii) uso de aplicativos e plataformas digitais para monitoramento e apoio ao processo de cessação de tabagismo.

Fonte: O autor (2024). Nota: TC = Tomografia Computadorizada; TCBD = Tomografia Computadorizada de Baixa Dose.

O modelo foi construído, inicialmente, sobre uma perspectiva micro, de pequenos centros urbanos que não têm equipamentos de imagem de TC²³, como São Francisco do Sul, em Santa Catarina, uma cidade em que morei por alguns períodos em 2023 e 2024 e cujo serviço de transporte dos pacientes para realização de exames em um município vizinho e

23 Informação referente ao ano de 2024

parceiro merece atenção. Na ocasião, utilizei esse serviço de saúde da cidade e fui conduzido, por meio de uma van coletiva, sem custos, até a cidade vizinha de Joinville, para a realização de um exame de RM, cujo laudo foi disponibilizado remotamente para avaliação do médico solicitante e do especialista em ortopedia.

Além de apresentar uma abordagem mais abrangente e integrada dos desafios e soluções para o problema em comparação a Raez *et al.* (2018), o modelo proposto adiciona elementos que não foram considerados por esses autores, como a telemedicina e a telerradiologia para melhorar o acesso, a integração de campanhas de conscientização para profissionais de saúde e a descentralização dos serviços por via de unidades móveis. Adicionalmente, incorpora programas comunitários de cessação do tabagismo e o uso de IA para otimizar triagens e diagnósticos.

O modelo também foi influenciado pelo conhecimento prévio sobre a campanha internacional de prevenção do câncer de mama, Outubro Rosa, em que o movimento tornou-se popular e praticamente parte do calendário anual²⁴. Nessa perspectiva, o modelo atual se aproxima por criar uma estratégia ativa para convidar pacientes de risco a realizarem o exame de rastreamento do câncer de pulmão periodicamente. Durante a pesquisa, como visto em 2.3.4, a sobrevida nos casos de câncer de mama está acima de 70% em países da ALC, enquanto no câncer de pulmão varia entre 7,6% e 21,8%. Embora cada tipo de câncer tenha suas particularidades e desfechos, esse fato despertou a atenção para a possível maior eficiência das estratégias de diagnóstico precoce do câncer de mama em relação ao câncer de pulmão. Isso reforça a hipótese de que uma estratégia ativa de rastreamento do câncer de pulmão, possa também potencializar os resultados em termos de detecção precoce, sobrevida e redução da mortalidade.

Foi também influenciado pelo modelo adotado pelo Hospital de Amor (2020), como mencionado em 2.1.10. Contudo, o *framework* está inserido em um contexto diferente do modelo quatro anos atrás do Hospital de Amor, pois vivenciamos o *boom* da IA aplicada à medicina diagnóstica, diferenciando-se do modelo utilizado na época. Por fim, apresenta uma expansão e aplicação em comparação ao modelo de Raez *et al.* (2018), como visto em 1.6 e como será descrito em 2.5.

2.2.3.1 Esferas do modelo

Precedendo a construção do modelo, delineou-se, de forma empírica e holística, a infraestrutura e os processos que permeariam, de maneira integrada, o fluxo que levaria ao diagnóstico por imagem precoce do câncer de pulmão. A figura 7 ilustra a estrutura idealizada de acesso ao diagnóstico por imagem precoce do câncer de pulmão, construída com base na compreensão teórica adquirida na presente pesquisa.

²⁴ Embora essa iniciativa seja voltada para o câncer de mama, consideram-se suas características de campanha ativa e amplamente difundida

Toda a estrutura é sustentada pela infraestrutura em tecnologias e permeada por questões como investimentos, processos de gestão e competências técnicas e clínicas, além da forma como os recursos são utilizados em benefício da saúde coletiva. As seis esferas que formam a pirâmide invertida são ilustradas na figura 7.

Figura 7 — Pirâmide invertida apresentando as esferas do modelo



Fonte: O autor (2024). Nota: IA = Inteligência Artificial; TDCI = Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação.

As esferas que sustentam o modelo envolvem infraestrutura composta pelo equipamento de imagem — no caso em questão, o equipamento de TC —, profissionais e gestão desses serviços (esfera 6); o suporte financeiro e parcerias de investimentos, como, por exemplo, fomento à pesquisa e o aporte financeiro utilizado para gastos como materiais, pessoal, bolsas, manutenção do projeto, campanhas de mídia etc. (esfera 5); e as políticas públicas e governança (esfera 4). O mapeamento desses recursos é essencial para identificar e classificar a viabilidade da implementação do modelo e para elaborar o planejamento estratégico.

As esferas 2 e 3 da pirâmide relacionam-se com a capacidade de desempenho técnico dos médicos especialistas, como radiologistas e médicos nucleares, na aplicação do seu conhecimento para um diagnóstico mais assertivo com base nas imagens, além das competências em TDCI e para o uso de ferramentas de IA. Por fim, a esfera 1 representa o objetivo maior do diagnóstico precoce do câncer de pulmão, que norteia a organização hierárquica e funcional das demais esferas, funcionando como eixo central de alinhamento estratégico entre recursos, competências, processos e políticas, garantindo coerência e integração sistêmica na implementação do modelo.

2.2.3.2 Conceitos e pressupostos que sustentam o modelo

Esta seção apresenta o alinhamento conceitual que fundamenta a construção do modelo proposto. São retomados conceitos teóricos já discutidos na revisão de literatura, além da adição de perspectivas complementares. O alinhamento apresentado no quadro 9 evidencia que o modelo, embora parta de premissas gerais, busca, em sua aplicação, adaptar-se a contextos locais claramente definidos.

Quadro 9 — Alinhamento conceitual do modelo

Conceito	Aderência ao modelo
Crítica à adoção de tecnologias desenvolvidas em outros contextos sociais e econômicos (Rogers, 1971).	Considerar o contexto cultural e as particularidades da região de interesse na difusão de inovações; trocar experiências com profissionais experientes para identificar barreiras na adoção e ajustar as estratégias de implementação.
A centralidade nas necessidades individuais do paciente pode contribuir para a eficácia dos diagnósticos em contextos variados (Donabedian, 1988).	Modelos de IA conseguem classificar os tumores com especificidade. Um sistema automático de classificação de prioridades pode tornar o processo mais ágil e contribuir para o diagnóstico precoce.
Integração do pensamento estratégico com a realidade operacional, priorizando ao invés do planejamento rígido e formal. Alinhar com a realidade do negócio (Mintzberg, 1994).	O <i>framework</i> proposto possui uma estrutura flexível com um ciclo de <i>feedback</i> contínuo, avaliando, não somente o resultado, mas abrindo oportunidade para o aprendizado contínuo e responsivo.
Crítica aos programas primários e verticais; desconexão entre os objetivos e técnicas; fragmentação dos programas de saúde são barreiras para implementação da atenção primária à saúde (Cueto, 2004).	A integração de intervenções técnicas, programas de desenvolvimento socioeconômico e formação de recursos humanos para a saúde; os programas devem considerar quatro fatores cruciais na saúde internacional: (i) o contexto; (ii) os atores (líderes e instituições); (iii) os alvos (metas de saúde); e (iv) as técnicas (métodos e intervenções).
A <i>Teoria da Contingência</i> enfatiza o ambiente externo (político, econômico, social e tecnológico), desenvolvendo estratégias adaptativas e com processos de monitoramento contínuo (Chiavenato, 2004).	(i) Adaptação do modelo às realidades regionais, adaptando estratégias de diagnóstico do câncer conforme as variáveis políticas, locais e socioeconômicas, possibilitando um gerenciamento mais eficaz; (ii) as estratégias dinâmicas auxiliam a gestão da variabilidade no acesso a recursos e disparidades locais; (iii) a resiliência proativa pode contribuir para antecipar tendências e preparar a infraestrutura para novas tendências; e (iv) a colaboração dos stakeholders pode assegurar que o programa de triagem e diagnóstico estejam alinhados com as necessidades e expectativas da população atendida.

Fonte: O autor (2024). Nota: IA = Inteligência Artificial.

De todos os conceitos apresentados no quadro 9, a *Teoria da Contingência* reforça o

caráter de adaptabilidade do modelo, emprestando o conceito de que não existe somente uma maneira de gerenciar ou organizar uma “empresa” (Chiavenato, 2004), ou seja, um sistema como o proposto no modelo, com diversos elementos, deve ser gerenciado de forma aberta, interagindo com os fatores externos e peculiares de cada região. A estrutura do modelo é influenciada pelo grau de incerteza e pelo tamanho da “empresa” (ou seja, da cidade ou região em que se pretende aplicar o modelo), e o sucesso dependerá dos ajustes frente às demandas do ambiente, com a possibilidade de adaptações e da adoção de soluções diferentes para problemas similares.

Por exemplo: uma cidade que não possui equipamentos públicos de diagnóstico por imagem poderia: (i) enviar os pacientes para realizar os exames em outra cidade; (ii) realizar parcerias com empresas de diagnóstico locais para atender os pacientes durante a campanha ativa para o rastreamento por TCB; ou (iii) contratar serviços de TC móveis para realizar as campanhas de rastreamento.

Em vista disso, é possível considerar que a *Teoria da Contingência* apresenta-se como **elemento representativo da dinâmica do modelo**, uma vez que se idealiza a aplicação em diferentes centros urbanos, estados e países, o que seguramente demandará alta capacidade de flexibilidade e adaptação por parte das estratégias gerenciais que precedem e integram o planejamento estratégico para o desenvolvimento e aplicação do *framework*.

Isso pressupõe que as práticas administrativas em uma futura implementação do modelo sejam flexíveis, respondendo às dinâmicas externas, rejeitando padrões fixos e priorizando a capacidade de adaptação ao contexto. Vale destacar que o pensamento de Mintzberg (1994) refere-se ao contexto de “empresas e negócios”, mas, para a presente tese, empresta-se e adapta-se esse pensamento para a realidade do sistema resultante do modelo proposto.

A *Lei n.º 8.080, de 19 de setembro de 1990* (Brasil, 1990a) possui perspectiva similar, já que coloca a saúde não mais como ausência de doença, mas como um estado do indivíduo permeado por questões que envolvem aspectos de bem-estar físico, mental e social, tendo como determinantes da saúde, dentre outros, “o acesso a bens e serviços essenciais”. Isso, reforça o caráter preventivo e humanizado do modelo. Dessa forma, a interação entre todos os fatores, conceitos, teorias e *insights* no *framework* cria um ciclo de interdependência que fortalece a abordagem sistêmica da proposta, garantindo que as soluções adotadas sejam contextualizadas e ajustáveis às necessidades locais.

Chiavenato (2004), por exemplo, aborda a importância da flexibilidade e da adaptabilidade dos modelos de gestão, enquanto Johnson (2007) considera as particularidades do ambiente externo e das incertezas, destacando a importância do planejamento estratégico para a gestão em situações complexas (como, por exemplo, no caso de desastres naturais). Somado a isso, tem-se a perspectiva de Cueto (2004), que defende um modelo de saúde mais integrado, e de Donabedian (1988), que enfatiza a importância da qualidade do cuidado em

saúde e do impacto das relações humanas nos resultados esperados.

Na perspectiva de Cueto (2004), os programas internacionais de saúde devem se apoiar em quatro pilares, dentre os quais: (i) o contexto político e social no qual as políticas são formuladas, pois isso impacta diretamente sua eficácia; (ii) os atores, que são os responsáveis por viabilizar as agendas e definir recursos; (iii) as metas de saúde, variáveis em função do contexto; e (iv) as técnicas ou métodos utilizados para atingir as metas.

Cueto (2004) aborda de forma crítica, em seu trabalho, o sistema vertical de saúde e defende uma abordagem mais integrada e holística. Documentos como o *Report of the International Conference on Primary Health Care, Alma-Ata, USSR, 6-12 September 1978* (World Health Organization, 1978) e a *Declaration of Astana* (World Health Organization, 2019) destacam a necessidade de uma saúde universal, integral e preventiva, com ênfase na atenção primária, que valoriza aspectos como a prevenção e o tratamento de doenças comuns.

Para Donabedian (1988), a qualidade do cuidado técnico é proporcional à sua capacidade de promover melhorias na saúde, avaliada com base no melhor desempenho observado na prática. Ainda sob a perspectiva do autor, a qualidade em saúde é uma questão que transcende medidas claras e objetivas, envolvendo a análise das interações humanas, das contribuições individuais e coletivas, bem como do impacto acumulado desses elementos sobre a saúde.

Os conceitos e pressupostos foram organizados de forma a fornecer base lógica para a estruturação do *framework*, articulando teoria e prática conforme a proposta metodológica adotada. Essa integração possibilitou a criação de um modelo eficaz que considera não apenas aspectos técnicos e estruturais, mas também as dimensões humanas, sociais e políticas.

Após as considerações teóricas e conceituais, estabelece-se, em síntese, que a base operacional do modelo se fundamenta em cinco dimensões: integração de saberes, conhecimento e comunicação, processos de melhoria contínua, tomada de decisão e gestão sistêmica com visão de futuro. Essas dimensões organizam e articulam os fundamentos teóricos-filosóficos e os princípios práticos-operacionais, estruturando-se em dois níveis, um de base conceitual e outro de aplicação prática. Cada nível é composto por cinco princípios norteadores que se complementam de forma sinérgica, conforme representado na figura 8.

Figura 8 — Dimensões e princípios norteadores do modelo

Dimensões do modelo	Nível 1 - Fundamentos teóricos-filosóficos	Nível 2 - Princípios práticos-operacionais
 Integração de saberes	Transdisciplinaridade e <i>Teoria Geral dos Sistemas</i>	Tecnologia Integrada
 Conhecimento e comunicação	Simetria da ignorância	Comunicação estratégica e inclusiva
 Processos de melhoria contínua	Observação, experimentação e <i>feedback</i>	Logística pragmática e escalável
 Tomada de decisão	Abstração e representação	Flexibilidade para adaptação contextual
 Gestão sistêmica e visão de futuro	Pensamento e planejamento estratégicos	Sustentabilidade e aprendizado

Fonte: O autor (2025).

Na sequência, detalham-se os dois níveis do modelo, os fundamentos teóricos-filosóficos e os princípios práticos-operacionais, com seus respectivos cinco pilares norteadores. Esses princípios fundamentam a estrutura do *framework*, orientando sua implementação e evolução. Na seção posterior, apresentam-se as etapas operacionais que detalham a aplicação prática desse modelo integrado.

Nível 1 - Fundamentos teóricos e filosóficos transversais

- I. **Transdisciplinaridade e a *Teoria Geral dos Sistemas***: o modelo integra saberes de diferentes áreas do conhecimento para abordar os desafios multifacetados que se conectam no contexto do diagnóstico por imagem do câncer de pulmão. Essa abordagem é essencial para o enfrentamento de *wicked problems*, quando é necessário transpor barreiras e limites tradicionais disciplinares.
- II. **Simetria da ignorância e educação**: a distribuição do conhecimento é o aspecto central a ser considerado para a implementação do *framework*. Isso implica a necessidade de treinamento prévio e esclarecimentos gerais para todos os envolvidos,

a fim de garantir compreensão coletiva e colaboração integrada, além da adoção de estratégias de educação continuada para o desenvolvimento de competências em TDCI, potencializando a eficiência do modelo.

III. Observação, experimentação e *feedback*: a avaliação contínua é essencial para garantir a eficácia da(s) ferramenta(s) de IA utilizada(s). Essa abordagem iterativa, baseada em um ciclo de *feedback*, permite que as ferramentas sejam aprimoradas com base em dados observacionais e experimentais, garantindo seu desenvolvimento, evolução e aplicabilidade no contexto prático.

IV. Abstração e representação: o uso de ferramentas de IA possibilita abstrair informações complexas provenientes de imagens digitais e representá-las objetivamente, seja como um resultado positivo ou negativo para câncer, seja para classificação e segmentação dos tipos de tumores. Esse processo de simplificação dos resultados permite uma prática eficiente e orientada a resultados.

V. Planejamento e pensamento estratégicos: trata-se de uma dimensão prospectiva, considerada o eixo integrador dos pressupostos teóricos, articulando uma abordagem metodológica transversal com fundamentação conceitual e filosófica. Essa dimensão organiza recursos, processos e competências com base em teorias de gestão estratégica, *Teoria Geral dos Sistemas*, *Teoria da Contingência*, análise de cenários e metas de saúde pública. Essa perspectiva garante decisões embasadas em dados, promovendo replicabilidade, escalabilidade e adaptação a diferentes contextos.

Nível 2 - Princípios operacionais e práticos

I. Tecnologia integrada: o modelo incorpora soluções tecnológicas como IA aplicada ao pré-diagnóstico (triagem) e classificação dos possíveis positivos para câncer, telerradiologia para emissão de laudos à distância e um sistema de controle de qualidade. Essas ferramentas otimizam os fluxos clínicos e operacionais, mitigam gargalos e garantem maior acurácia no diagnóstico do câncer de pulmão, especialmente em cenários de restrição de recursos.

II. Comunicação estratégica e inclusiva: adota-se uma estratégia de comunicação multicanal, que combina mídias digitais, tradicionais e redes locais, além do contexto de mHealth, por meio do uso de *smartphones* e aplicativos, assegurando abrangência e inclusão sociocultural. Essa abordagem é fundamental tanto para mobilização da população-alvo quanto para processos educativos contínuos, fortalecendo o engajamento dos pacientes, familiares e profissionais de saúde.

III. Logística pragmática escalável: estrutura-se uma logística operacional flexível e escalável, capaz de atender diferentes configurações territoriais e institucionais. O modelo prevê desde parcerias público-privadas até o uso de unidades móveis de TC,

otimizando o acesso, a distribuição dos recursos e a realização dos exames em localidades desassistidas.

IV. Flexibilidade para a adaptação contextual: as soluções são desenhadas para se ajustar às especificidades locais, considerando variáveis como capacidade instalada, disponibilidade de profissionais, contexto socioeconômico e infraestrutura. Essa flexibilidade, que contempla princípios de gestão de risco e resiliência organizacional, permite que o *framework* mantenha sua efetividade frente às disparidades regionais, institucionais e culturais.

V. Sustentabilidade e aprendizado: a sustentabilidade do modelo está ancorada em processos contínuos de capacitação técnica, científica e operacional, integrados à aprendizagem organizacional. Simultaneamente, fomenta-se a criação de comunidades de aprendizagem e redes colaborativas entre profissionais, pacientes e familiares. Essa dinâmica amplia a educação permanente, fortalece o compartilhamento de saberes, consolida práticas de apoio mútuo e estimula a geração de conhecimento aplicado, garantindo a perenidade e a evolução constante do ecossistema.

2.2.3.3 *Desafios identificados e proposições interventivas do framework*

Após a explanação dos preceitos e fundamentos do modelo, a seguir são descritos os problemas identificados e as respectivas proposições interventivas, fundamentadas na literatura e na perspectiva do autor da tese.

1 — Projeção do aumento de caso

- *Desafio:* projeção de aumento de aproximadamente 77% nos casos de câncer até 2050 (Bizuyehu *et al.*, 2024); com destaque para o câncer de pulmão, que apresenta pior prognóstico (Siegel; Miller; Jemal, 2024).
- *Proposição:* diagnóstico precoce como estratégia para redução da mortalidade e custos à saúde pública (fundamentação detalhada na Seção 2.1.10 e no quadro 3).

2 — Subutilização da TCBD

- *Desafio:* uso insuficiente da TCBD (Japuntich *et al.*, 2024).
- *Proposição:* campanha de rastreamento inspirada em modelos consolidados, como Outubro Rosa, baseada no direito ao diagnóstico precoce previsto no Estatuto da Pessoa com Câncer (Brasil, 2021).

3 — Critérios de seleção dos pacientes

- *Desafio:* necessidade de definir pacientes elegíveis para rastreamento.
- *Proposição:* comitê de oncologistas especialistas para estabelecer critérios, aumentando a eficácia da estratégia (Horeweg *et al.*, 2014; U.S. Preventive Services Task Force; 2021; Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, 2021).

4 — Campanha ativa de divulgação do exame

- *Desafio*: baixa adesão e mobilização da população público-alvo; dificuldade de alcance para divulgar a campanha.
- *Proposição*: uso de mídias sociais, televisão e rádio locais para convocação, além das unidades de saúde; estratégias de comunicação multicanal e culturalmente adaptadas, aproveitando fluxos informacionais em rede (Castells, 1997; Raez *et al.*, 2018; Oliveira; Pigatto G.; Pigatto G. A., 2019).

5 — Confirmação da adesão dos pacientes para o rastreamento

- *Desafio*: necessidade de garantir que os pacientes inscritos atendam aos critérios de elegibilidade para o rastreamento.
- *Proposição*: triagem inicial para confirmar a adesão dos pacientes conforme os critérios estabelecidos para realização dos exames; os dados de inscrições provenientes de múltiplas fontes (canais digitais e pontos presenciais, como as unidades de saúde) são agrupados (convergência), garantindo a inclusão de pessoas com diferentes níveis de letramento digital (perspectiva do autor da tese).

6 — Falta de equipamentos públicos/privados de TC

- *Desafio*: ausência de TC (pública ou privada) na localidade.
- *Proposição*: convênios com redes urbanas (cidades parceiras) ou uso de TC móvel a curto prazo; planejamento para aquisição do equipamento a longo prazo; estratégia em saúde descentralizada, planejamento e pensamento estratégicos (Bordenave, 1976; Mintzberg, 1994).

6.1 — Disponibilidade de equipamentos públicos de TC

- *Desafio*: necessidade de otimizar o uso dos equipamentos existentes.
- *Proposição*: criação de agenda dedicada e centralizada para rastreamento, aumentando eficiência (Donabedian, 1988).

7 — Pré-triagem assistida por IA

- *Desafio*: necessidade de diagnóstico precoce eficiente, a fim de minimizar biópsias desnecessárias.
- *Proposição*: aplicação de IA para pré-triagem e classificação do câncer pulmonar, acelerando e otimizando o diagnóstico (Geis, 2019; Briganti; Le Moine, 2020; Massion *et al.*, 2020; Nagendran *et al.*, 2020; Sun M., Sun J.; Li, 2024; Zayed *et al.*; 2024; Bojsen *et al.*; 2024; Liu *et al.*; 2024).

7.1 — Classificação de urgência assistida por IA

- *Desafio*: priorização dos casos mais graves.
- *Proposição*: após o pré-diagnóstico por IA, um segundo modelo de IA cria uma fila de prioridade, baseada na gravidade e probabilidade positiva; expansões do modelo poderão considerar a integração com os sistemas de saúde para alocar as consultas ou procedimentos conforme a disponibilidade em cada unidade de saúde (perspectiva do autor da tese).

8 — Falta de médicos especialistas para laudar os exames

- *Desafio*: escassez de radiologistas especialistas.
- *Proposição*: telerradiologia com suporte da IA para emissão de laudos e tradução automática, ampliando o alcance (Bashshur *et al.*, 2016; Celestino; Valente, 2024a) e participação de médicos de outros países envolvidos no projeto (perspectiva do autor da tese).

9 — Controle de qualidade dos laudos

- *Desafio*: necessidade de implementar um sistema de controle de qualidade para os laudos emitidos por telerradiologia.
- *Proposição*: sistema de treinamento contínuo, padronização de protocolos, revisão por pares e auditoria da qualidade (Morozov *et al.*, 2018; Hetenyi *et al.*, 2022).

10 — Notificação

- *Desafio*: subnotificação dos casos de câncer.
- *Proposição*: desenvolvimento de registros de câncer; integração dos sistemas de saúde para notificação compulsória, melhorando precisão dos dados. A subnotificação dos casos de câncer resulta na imprecisão de dados e distorce a análise, comprometendo a saúde pública (Bray *et al.*, 2018).

11 — Conduta clínica

- *Desafio*: necessidade de encaminhamento para exames diferenciais, biópsias ou tratamento rápidos.
- *Proposição*: encaminhamento imediato para exames complementares e tratamento, reduzindo mortalidade associada a atrasos (Moraes, 2021); uma demora de quatro semanas no tratamento pode aumentar a mortalidade em 13% (Hanna *et al.*, 2017).

11.1 — Acompanhamento dos pacientes diagnosticados

- *Desafio*: perda de seguimento e abandono dos pacientes do programa.
- *Proposição*: protocolo para intervalo de exames e gestão de nódulos (Koning *et al.*, 2020); auditoria do registro de dados e aprimoramento do programa (Fintelman

et al., 2015; Mazzone *et al.*, 2021); contato contínuo com pacientes e reforço estratégico da divulgação (perspectiva do autor da tese).

12 — Educação, pesquisa e engajamento

- *Desafio*: baixo nível de conhecimento populacional sobre o tema câncer de pulmão; baixo letramento digital; e necessidade de engajamento dos envolvidos
- *Proposição*: criação da comissão científica para análise, publicação de resultados (Fintelmann *et al.*, 2015) e monitoramento do *framework* com base em pesquisas; desenvolvimento de interface para troca de informações e capacitação de profissionais, pacientes e familiares, promovendo comunidades de aprendizagem e apoio mútuo, reforçando a cultura preventiva e participativa, mesmo fora do período de campanha (perspectiva do autor da tese).

Fintelmann *et al.* (2015) apresentaram 10 pilares essenciais para a implementação de um programa de rastreamento de câncer de pulmão. A presente tese não se aprofundou em aspectos econômicos, pois se entendeu que essa análise será realizada em uma etapa posterior. Contudo, ela se diferencia dessas diretrizes nos seguintes pontos:

(i) a integração de tecnologias avançadas, como a IA, na triagem e priorização dos casos representa uma abordagem mais inovadora, contrastando com sistemas tradicionais como o Lung-RADS (American College of Radiology, 2022) e processos ainda baseados predominantemente na intervenção humana;

(ii) ênfase na comunicação multicanal e a adaptação sociocultural na disseminação da campanha de rastreamento, refletindo uma estratégia moderna de engajamento comunitário e e-saúde;

(iii) adota uma abordagem pragmática da logística de equipamentos, diferenciando estratégias de curto e longo prazo para locais com ou sem tomógrafo, facilitando uma ampliação do acesso;

(iv) promover o uso de telerradiologia e sistemas de controle de qualidade contínuos, reforçando a importância de manter a precisão e confiabilidade do programa, alinhando-se parcialmente com os pilares de qualidade e melhoria contínua apresentados no estudo de Fintelmann *et al.* (2015), mas com uma ênfase maior na implementação tecnológica.

O uso de IA na pré-triagem e na ordenação dos exames por gravidade pode funcionar como uma estratégia complementar aos protocolos clínicos consolidados, como o *Lung-RADS* (American College of Radiology, 2022), sem os alterar. A proposta é que a IA contribua para a organização do fluxo de trabalho ao indicar previamente a probabilidade de malignidade, facilitando a identificação e priorização dos casos mais críticos. Além disso, com o seu desenvolvimento poderia, ainda, integrar-se às agendas e disponibilidade das unidades de

saúde para indicar o local e data mais próximos para o atendimento conforme a necessidade de cada caso. Esse apoio tecnológico torna-se especialmente valioso em contextos com alta demanda por exames, otimizando o uso dos recursos disponíveis, sem substituir a análise e o julgamento médico.

Embora as etapas do *framework* não explicitem o requisito de que o rastreamento deva ser realizado exclusivamente em centros com capacidades multidisciplinares e organização estruturada — como sugerem Fintelmann *et al.* (2015) — isso se justifica pelo fato de o modelo ter sido concebido para atender regiões com limitações estruturais.

Ainda assim, ao promover a integração de equipes especializadas, o uso de tecnologias para acompanhamento dos pacientes e processos de comunicação eficazes, o modelo favorece a formação de ambientes colaborativos e organizados. Essa flexibilidade permite sua adaptação a diferentes contextos institucionais e socioeconômicos, enquanto assegura os elementos essenciais à segurança e à efetividade do programa de rastreamento.

2.3 Resultados e discussão do estudo transversal

Esta seção apresenta um estudo transversal, com base em dados coletados da base de dados IAEA Medical Imaging and Nuclear Medicine Global Resources Database (IMAGINE), e descreve a associação entre a disponibilidade de recursos de imagem médica, o perfil demográfico e socioeconômico dos países — como o seu perfil de renda e os gastos do PIB em investimentos em saúde —, além dos indicadores de incidência e mortalidade por câncer nos 32 países da amostra (International Atomic Energy Agency, 2016).

2.3.1 Caracterização da amostra e perfil de renda

O presente estudo transversal analisou a distribuição populacional, classificação de renda e recursos de saúde em 32 países da ALC. Com uma população total de aproximadamente 634,6 milhões na amostra, o Brasil (211.049.527 habitantes) e Antígua e Barbuda (93.763 habitantes) representam os extremos populacionais. Em termos de renda, 32% dos países são de alta renda, 56,25% de renda média-alta, e 12,5% de renda média-baixa. Três países (Guiana, Haiti e El Salvador) mudaram de categoria entre 2019 e 2024, refletindo melhorias econômicas. A tabela 1 sumariza os dados gerais da amostra, incluindo população, renda (2024) e investimentos como percentual do PIB (2021).

Tabela 1 — Indicadores econômicos e demográficos de países da ALC

País	População	Grupo de Renda (2024)	(%) PIB	DCS (% do PIB, 2021)
Antígua e Barbuda	93.763	A	1	5,85
Argentina	44.938.712	B	2	9,71
Bahamas	389.482	A	2	7,14
Barbados	281.635	A	2	8,09
Belize	390.353	B	1	4,98
Bolívia	11.513.100	C	2	8,16
Brasil	211.049.527	B	2	9,89
Chile	18.952.038	A	2	9,02
Colômbia	50.339.443	B	2	7,57
Costa Rica	5.047.561	B	2	13,79
Cuba	11.333.483	B	1	6,5
República Dominicana	11.434.110	B	2	9,72
Equador	17.373.662	B	NA	NA
El Salvador	6.453.553	B	1	5,7
Guiana Francesa	283.539	A	NA	NA
Guadalupe	16.604.026	B	1	4,94
Guatemala	16.604.026	B	1	3,48
Guiana	782.766	A	2	9,16
Haiti	11.263.077	C	2	7,19
Honduras	9.746.117	C	NA	NA
Jamaica	2.948.279	B	1	6,08
México	127.575.529	B	2	9,68
Nicarágua	6.545.502	C	2	8,03
Panamá	4.246.439	A	1	6,15
Paraguai	7.044.636	B	NA	NA
Peru	32.510.453	B	NA	NA
Porto Rico	3.193.694	A	1	6,16
Santa Lúcia	179.857	B	1	5,68
São Vicente e Granadinas	103.683	B	NA	NA
Suriname	581.372	B	2	9,36
Trindade e Tobago	1.394.973	A	1	4,04
Uruguai	3.461.734	A	2	8,30

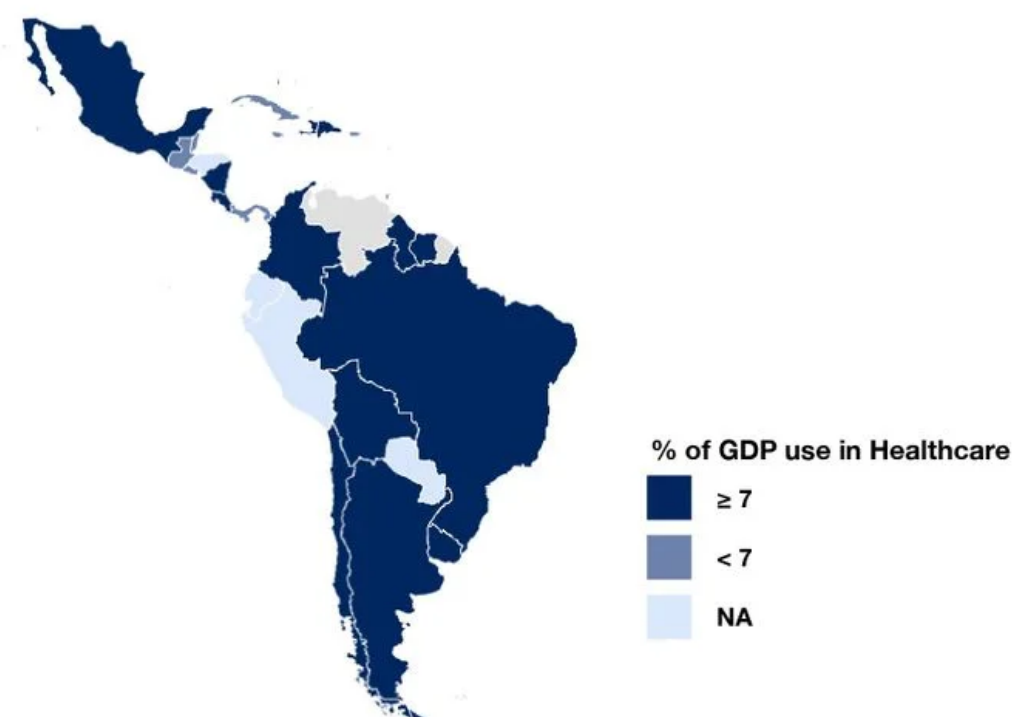
Fonte: O autor (2024). Nota: A = Alta Renda; B = Renda Média-Alta; C = Renda Média-Baixa; DCS = Despesas Correntes com Saúde (2021); NA = Indisponível; PIB = Produto Interno Bruto; % do PIB: 1 = <7; 2 = ≥7.

A análise dos dados da tabela 1 mostra uma considerável heterogeneidade entre os países da ALC em relação à população e ao gasto com saúde como proporção do PIB, cuja média regional é de 7,47%. Países de alta renda, como Bahamas e Barbados, tendem a apresentar um percentual do PIB destinado à saúde relativamente elevado, embora haja exceções como Trindade e Tobago.

Já entre os países de renda média-alta (Grupos B), a situação é mais diversificada, com a Costa Rica destacando-se pelo expressivo investimento em saúde (13,79% do PIB), contrastando com países como Guatemala (3,47%). Por fim, entre os países de renda média-baixa, cujos dados estão disponíveis, essa distribuição permaneceu equilibrada (entre 7,19 e 8,16). Essa variação sugere que o nível de renda não é o único fator determinante para o investimento em saúde, havendo outras prioridades e contextos socioeconômicos específicos a cada nação.

A figura 9 representa a distribuição dos gastos com saúde, com base no PIB, na ALC. Os países foram classificados conforme o grupo de renda (A, B, C) e o percentual do PIB destinado à saúde: aqueles com gasto inferior a 7% foram classificados como 1, enquanto os que apresentaram gastos iguais ou superiores a 7% receberam a classificação 2.

Figura 9 — Distribuição dos gastos com saúde na ALC com base no PIB



Fonte: O autor e colaboradores (2024). Nota: Porcentagem do Produto Interno Bruto (PIB) destinada à saúde em cada país. A média regional é de 7,47%, com variação entre 5,91% e 9,13%. Azul escuro: países que destinam 7% ou mais do PIB para a saúde. Azul médio: países que destinam menos de 7% do PIB para a saúde. Azul claro: países com dados não disponíveis (NA). GDP = *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto).

A análise da tabela 1 e da figura 9 revela uma distribuição desigual do PIB destinado à saúde, que não acompanha proporcionalmente o tamanho populacional dos países, como no exemplo da Costa Rica, que apresentou percentual relativamente alto de investimento em comparação a países maiores, como Brasil, Chile, Colômbia e México. Isso sugere haver uma distribuição desigual na capacidade e priorização dos gastos com saúde em diferentes contextos econômicos e políticos, com reflexo imediato das estratégias de alocação e investimento por parte dos governos.

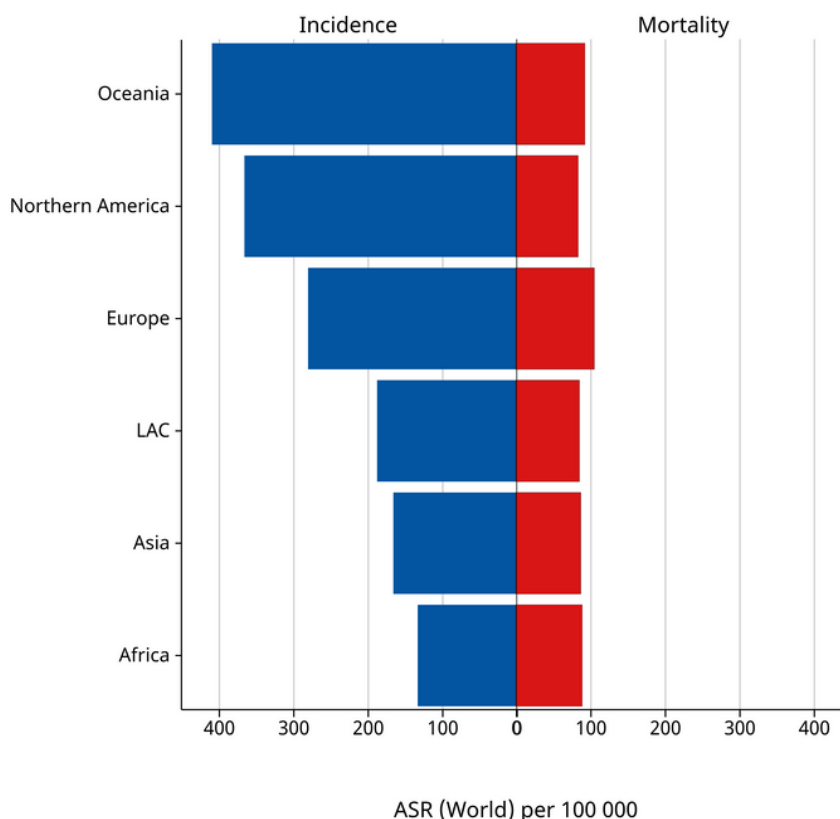
2.3.2 Indicadores de câncer

A Taxa Padronizada por Idade (ASR, do inglês *Age-Standardized Rate*) por 100.000 habitantes é uma medida estatística utilizada para comparar a incidência ou mortalidade de determinada doença ou condição em populações diferentes entre si de forma mais justa, independentemente da distribuição etária (World Health Organization, 2025). A análise da ASR não apenas oferece uma visão quantitativa do problema, mas também aponta para áreas críticas que necessitam de intervenção para melhorar a saúde pública e os resultados no tratamento do câncer.

Em 2022, a incidência global de câncer foi de 19.976.499 casos, com um risco médio global de 196,9 casos a cada 100.000 pessoas, ajustado pelo ASR. O número de mortes foi de 9.743.832, com uma ASR da mortalidade ajustada de 91,7 mortes por 100.000 pessoas, considerando a homogeneização da estrutura etária por meio da ASR (International Agency for Research on Cancer, 1965-2025b; International Agency for Research on Cancer, 1965-2025c).

A figura 10 apresenta gráficos comparativos entre a incidência e mortalidade do câncer (todos os tipos) em ambos os sexos, por continente. Conforme mostram esses gráficos, a ALC ocupa uma posição intermediária ($ASR = 185,95$) no contexto global em termos de incidência e mortalidade de câncer em 2022. O número total de casos nessa região (1.551.060) foi menor em comparação com a Europa (4.471.422) e a Ásia (9.826.539); contudo, o número absoluto de mortes (749.242), sugere que essa região enfrenta desafios estruturais significativos em relação a regiões mais desenvolvidas, como Oceania, América do Norte e norte da Europa.

Figura 10 — Comparativo da incidência e mortalidade global de câncer (2022)



Fonte: International Agency for Research on Cancer/World Health Organization (1965-2024a), utilizado com autorização. Nota: ASR = *Age-Standardized Rate* (Taxa Padronizada por Idade); *Incidence* = Incidência; *Mortality* = Mortalidade; LAC = *Latin America and Caribbean* (América Latina e Caribe).

No contexto global, o pior cenário é observado na África, onde a mortalidade supera a incidência, revelando deficiências na infraestrutura e nas políticas de combate à doença. Nota-se que a América do Norte apresenta, simultaneamente, o segundo maior número de casos acompanhado do menor número de óbitos. Isso sugere que essa região dispõe de estratégias mais eficazes para notificação, diagnóstico precoce e tratamento, com maior acesso à tecnologia e intervenções precoces.

2.3.3 Razão mortalidade/incidência

A razão mortalidade/incidência é, por vezes, utilizada como um indicador simplificado da sobrevida em câncer, embora sua interpretação demande cautela. Ela relaciona o número de óbitos ao de casos novos em um mesmo ano, oferecendo uma ideia geral da gravidade da doença. No entanto, as mortes nem sempre correspondem aos casos incidentes do período, o que pode distorcer a análise (Ellis *et al.*, 2014). Os dados da tabela 2 relacionam a razão mortalidade/incidência do câncer (em 2022 e projetada para 2045) com a classificação do grupo de renda.

Tabela 2 — Razão mortalidade/incidência do câncer dos países

País	Grupo de Renda (2024)	Razão M/I (2022)	Razão M/I (2045)
Antígua e Barbuda	A	NR	NR
Argentina	B	0,54	0,57
Bahamas	A	0,59	0,68
Barbados	A	0,67	0,72
Belize	B	0,56	0,61
Bolívia	C	0,65	0,61
Brasil	B	0,47	0,5
Chile	A	0,55	0,6
Colômbia	B	0,49	NR
Costa Rica	B	0,51	0,57
Cuba	B	0,6	0,66
República Dominicana	B	0,59	0,63
Equador	B	0,54	0,58
El Salvador	B	0,55	0,57
Guiana Francesa	A	0,41	0,5
Guadalupe	B	0,59	0,6
Guatemala	B	0,59	0,6
Guiana	A	0,5	0,52
Haiti	C	0,65	0,65
Honduras	C	0,65	0,66
Jamaica	B	0,62	0,63
México	B	0,48	0,53
Nicarágua	C	0,58	0,6
Panamá	A	0,46	0,5
Paraguai	B	0,49	0,51
Peru	B	0,51	0,54
Porto Rico	A	0,44	0,5
Santa Lúcia	B	0,5	0,52
São Vicente e Granadinas	B	NR	NR
Suriname	B	0,57	0,62
Trindade e Tobago	A	0,57	0,65
Uruguai	A	0,57	0,6

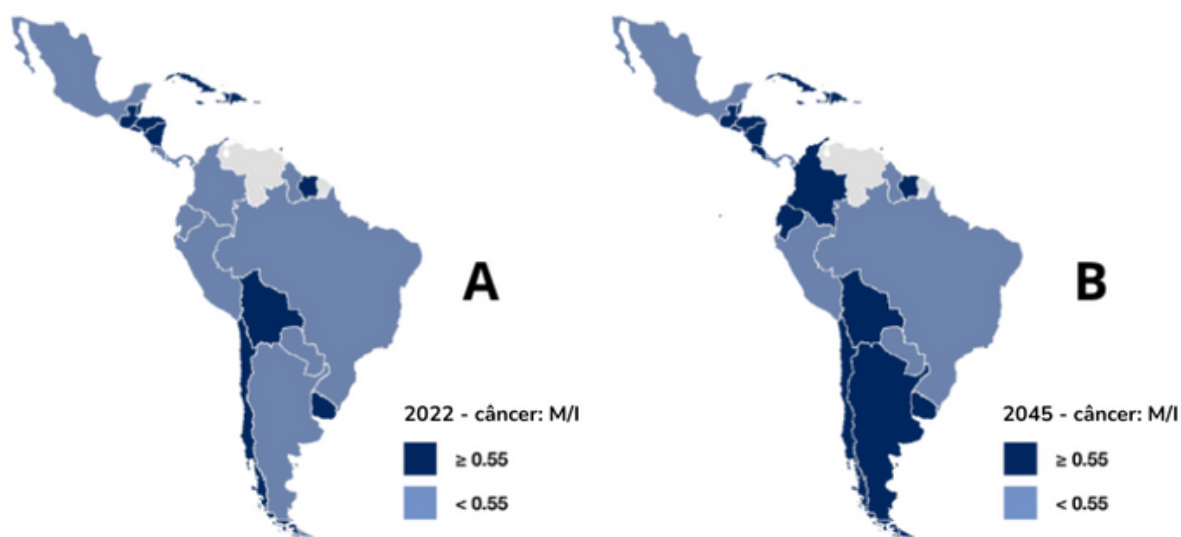
Fonte: O autor (2024). Nota: A = Alta Renda; B = Renda Média-Alta; C = Renda Média-Baixa; Razão M/I = Razão Mortalidade/Incidência.

Observa-se, na tabela 2, uma variação considerável nessa razão entre os países, independentemente da sua categoria econômica. Por exemplo, Barbados (alta renda) apresenta a maior razão mortalidade/incidência em 2022 (0,67), enquanto Porto Rico (também alta renda) exibe uma das menores (0,44). Similarmente, dentro do grupo de renda média-alta, o Brasil demonstra uma razão de 0,47. Nos países com perfil de renda média-baixa, Haiti e Honduras registram elevada razão mortalidade/incidência (0,65 e 0,66, respectivamente).

As projeções para 2045 indicam, em alguns casos, uma tendência de aumento dessa razão, como em Bahamas e Barbados, enquanto em outros, como Bolívia, projeta-se uma leve diminuição. Essa análise inicial sugere que o nível de renda, embora possa influenciar o acesso a recursos de saúde, não pode ser considerado o único determinante da relação entre a incidência e a mortalidade por câncer na região da ALC.

A figura 11 ilustra o mapa do câncer da ALC em 2022 e a projeção para 2045.

Figura 11 — Impacto (2022) e projeção do câncer na ALC (2045)



Fonte: O autor e colaboradores (2024). Nota: Dados por 100.000 habitantes. M/I = Razão Mortalidade/Incidência; A) Razão Mortalidade/Incidência por câncer em 2022. B) Razão projetada de Mortalidade/Incidência por câncer a cada 100 novos casos em 2045.

A análise da razão mortalidade/incidência da ALC indica que a renda não é o único fator diretamente relacionado a essa razão, já que países de renda mais alta podem apresentar valores elevados, enquanto alguns de renda mais baixa exibem razões menores. Isso mostra que aspectos como acesso ao diagnóstico precoce, tratamento e organização dos sistemas de saúde também fazem diferença. No entanto, este estudo não dispõe de dados sobre as políticas locais de cada país, sendo mais prudente, nesta etapa da pesquisa, focar apenas na estrutura e no perfil profissional dessas nações.

2.3.4 Sobrevivência em cinco anos

A variabilidade na razão mortalidade/incidência por câncer entre diferentes países da América do Sul revela um panorama complexo, ligado ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a fatores socioeconômicos (Sierra *et al.*, 2016). A tabela 3 apresenta dados percentuais de sobrevida de cinco tipos de câncer de pulmão em nove países da ALC. Os outros 23 países da amostra não foram incluídos devido à ausência de dados em todos os campos.

Tabela 3 — Sobrevida líquida de cinco anos por tipo de câncer

País	Mama SL 5 anos (%)	Colo do Útero SL 5 anos (%)	Reto SL 5 anos (%)	Pulmão SL 5 anos (%)
Argentina	73,6	52,3	41,6	10,9
Brasil	72,9	50,6	51,8	12,6
Chile	72,3	59,9	30,8	5
Colômbia	71,2	54,8	38,7	6,8
Costa Rica	79,4	73,7	47,1	21,8
Equador	74,2	54,7	46,4	14,5
Peru	71,8	54,3	44,3	10
Porto Rico	77,4	60	52,6	15,4
Uruguai	NA	57,7	41,6	7,6

Fonte: O autor (2024). Nota: NA = Não Disponíveis; SL = Sobrevida Líquida.

Conforme mostram os dados da tabela 3, a sobrevida líquida em 5 anos apresenta variações entre os diferentes tipos de câncer analisados. Os maiores valores percentuais de sobrevida para o câncer de mama são observados em Porto Rico (77,4%) e Costa Rica (79,4%). Nota-se que todos os países com dados disponíveis desse tipo de câncer possuem percentuais acima de 70%, sugerindo que as ações e políticas públicas desses países estão alinhadas e com graus de eficácia semelhantes.

Esse equilíbrio não ocorre com os valores dos outros tipos de câncer, sendo mais evidente a discrepância no câncer de pulmão, cujos percentuais são significativamente mais baixos em toda a região, com destaque mais positivo na Costa Rica (21,8%) e em Porto Rico (15,4%), em contraste com números preocupantes de países como Chile (5%), Colômbia (6,8%) e Uruguai (7,6%).

Ao comparar os dados do câncer de mama com os referentes ao câncer de pulmão — desconsiderando-se momentaneamente as diferenças inerentes à agressividade e mortalidade da doença —, confirma-se a maior letalidade do câncer de pulmão (Siegel; Giaquinto; Jemal, 2024). Essa disparidade evidencia não apenas as características clínicas distintas entre os tipos

de câncer, mas também levanta questionamentos sobre a eficácia dos sistemas de saúde no diagnóstico e tratamento. **Se um país consegue alcançar 21,8% de sobrevida em câncer de pulmão, o que explicaria a taxa ínfima de 5% em outro? O que poderia ter feito de diferente?**

Outrossim, se, por um lado, é possível inferir que a área da mamografia está mais bem estruturada em relação às outras áreas de imagem, com resultados mais eficazes, por outro, deve-se considerar que a mera disponibilidade de equipamentos de imagem e especialistas para a detecção precoce do câncer, bem como de equipamentos para seu tratamento, não garante, por si só, o alcance dos resultados esperados. Existem fatores inerentes à doença que, se não tratados em sua origem, podem comprometer ou inviabilizar qualquer planejamento de investimentos para ampliar o acesso a recursos de imagem. Para isso, considera-se também a necessidade de avaliar e intervir em fatores socioeconômicos, comportamentais e em políticas públicas de prevenção e educação em saúde.

Isso traz um alerta para a visão excessivamente otimista que existe em relação aos recursos de imagem como soluções “definitivas” no diagnóstico ou tratamento do câncer, uma vez que essas tecnologias isoladas, sem considerar os fatores supracitados, podem ter sua eficácia reduzida, corroborando com a perspectiva de Hricak *et al.* (2021).

2.3.5 Distribuição dos equipamentos e médicos especialistas na ALC

A disponibilidade de recursos humanos e tecnológicos em imagem médica (Tabela 4) apresenta um padrão desigual. Países como a Argentina, Brasil e Cuba lideram em número de radiologistas (entre 50 e 100 por 1 milhão de habitantes), mas apresentam uma discrepância na distribuição dos equipamentos de TC, com destaque para a Argentina (mais de 30). Ainda considerando esses três países, no caso dos equipamentos de RM, destaca-se o Brasil (entre 15 e 30), enquanto Cuba é o pior deles em relação à disponibilidade dos equipamentos de imagem, o que sugere serem formados mais médicos especialistas do que a capacidade estrutural para a atuação deles. São Vicente e Granadinas apresenta uma relação similar à do Brasil na quantidade de equipamentos de RM, mas menos radiologistas (entre 25 e 50) em comparação à Argentina, Brasil e Cuba. Antígua e Barbuda apresenta uma relação de equipamentos de TC similar à da Argentina, mas com uma quantidade menor de radiologistas, comparável a países como Chile, Colômbia e São Vicente e Granadinas (Tabela 4).

A razão média de LINAC por 1 milhão de habitantes é de 2,56, com destaque para Antígua e Barbuda, que possui 10,67, apesar de não contar com médicos especialistas em MN. Ao mesmo tempo, Argentina e Uruguai apresentam entre 5,1 e 10 médicos especialistas em MN, com razões de LINAC por 1 milhão de habitantes de 2,98 e 5,2, respectivamente. Já São Vicente e Granadinas possui o mesmo número de especialistas, mas não há dado disponível sobre a razão de LINAC por milhão de habitantes (NA).

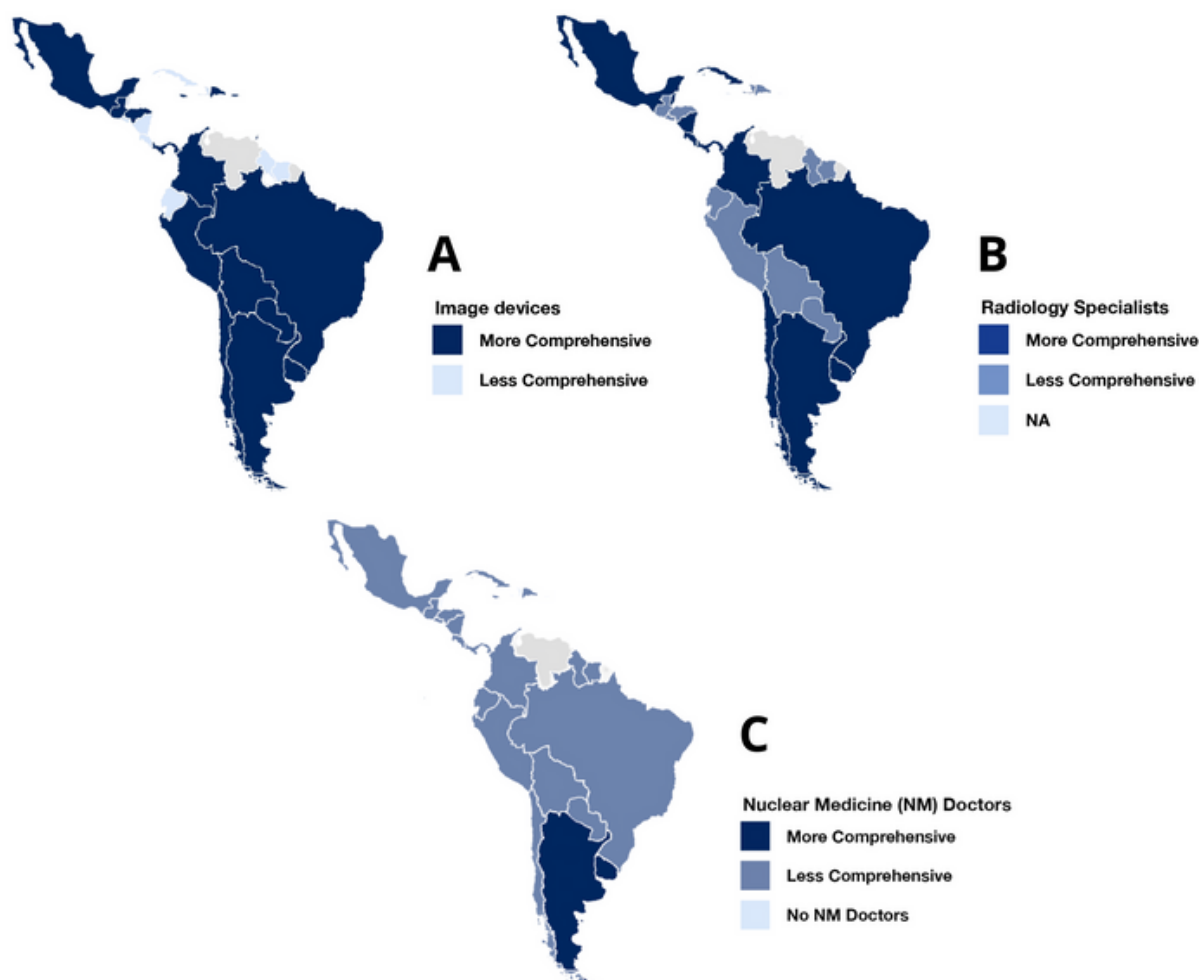
Tabela 4 — Distribuição dos equipamentos de imagem e médicos na ALC

País	TC/1M	RM/1M	PET/1M	LINAC/1M	Radiol./1M	M.N./1M
Antígua e Barbuda	> 30	10-15 (inc)	0	10,67	25-50 (inc)	0
Argentina	> 30	5-7,5 (inc)	0-1	2,98	50-100 (inc)	5,1-10 (inc)
Bahamas	15-20	0-2,5 (inc)	0	2,57	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Barbados	5-10	0	0	3,55	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Belize	15-20	5-7,5 (inc)	0	NA	25-50 (inc)	0
Bolívia	5-10	0-2,5 (inc)	0-1	1,22	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Brasil	20-30	15-30 (inc)	0-1	1,77	50-100 (inc)	0,1-5 (inc)
Chile	20-30	10-15 (inc)	0-1	2,22	25-50 (inc)	0,1-5 (inc)
Colômbia	20-30	5-7,5 (inc)	0-1	1,89	25-50 (inc)	0,1-5 (inc)
Costa Rica	0-5	0-2,5 (inc)	0-1	1,39	25-50 (inc)	0,1-5 (inc)
Cuba	0-5	0-2,5 (inc)	0-1	1,59	50-100 (inc)	0,1-5 (inc)
República Dominicana	10-15	0-2,5 (inc)	0-1	1,84	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Equador	0-5	0-2,5 (inc)	0-1	1,5	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
El Salvador	0-5	10-15 (inc)	0	2,01	0-10 (inc)	0,1-5 (inc)
Guiana Francesa	10-15	2,5-5 (inc)	0	NA	NA	0,1-5 (inc)
Guadalupe	5-10	0-2,5 (inc)	0-1	0,42	0	0,1-5 (inc)
Guatemala	5-10	0-2,5 (inc)	0-1	0,42	0	0,1-5 (inc)
Guiana	5-10	2,5-5 (inc)	0	1,28	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Haiti	0-5	0	0	NA	0	0
Honduras	0-5	0-2,5 (inc)	0-1	0,82	0	0,1-5 (inc)
Jamaica	0-5	0-2,5 (inc)	0-1	1,7	NA	0,1-5 (inc)
México	5-10	2,5-5 (inc)	0-1	1,5	25-50 (inc)	0,1-5 (inc)
Nicarágua	0-5	0-2,5 (inc)	0	0,76	25-50 (inc)	0,1-5 (inc)
Panamá	0-5	2,5-5 (inc)	0-1	1,65	25-50 (inc)	0,1-5 (inc)
Paraguai	0-5	0-2,5 (inc)	0-1	1,42	0	0,1-5 (inc)
Peru	0-5	0-2,5 (inc)	0-1	1,94	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Porto Rico	10-15	10-15 (inc)	0-1	6,58	NA	NA
Santa Lúcia	10-15	10-15 (inc)	0	NA	25-50 (inc)	0
São Vicente e Granadinas	15-20	15-30 (inc)	0	NA	25-50 (inc)	5,1-10 (inc)
Suriname	5-10	2,5-5 (inc)	0	5,16	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Trindade e Tobago	10-15	2,5-5 (inc)	0-1	5,02	10-25 (inc)	0,1-5 (inc)
Uruguai	10-15	2,5-5 (inc)	0-1	5,2	25-50 (inc)	5,1-10 (inc)

Fonte: O autor e colaboradores (2024). Nota: Legenda: Inc. = Inclusive; TC = Tomografia Computadorizada; RM = Ressonância Magnética; LINAC = Acelerador Linear; Radiol. = Radiologistas; M.N. = Médicos Nucleares; 1M = 1 Milhão de Habitantes.

A análise da tabela 4 sugere, principalmente, um descompasso entre infraestrutura tecnológica e força de trabalho especializada, indicando possíveis gargalos na gestão de recursos ou divergências nas prioridades das políticas de saúde entre os países. A figura 12 ilustra a distribuição dos equipamentos de imagem, e dos médicos especialistas em radiologia e MN.

Figura 12 — Distribuição dos equipamentos de imagem e especialistas na ALC



Fonte: O autor e colaboradores (2024). Nota: A cor azul indica a densidade, aumentando conforme a tonalidade mais escura. A = Equipamentos de Imagem; B = Radiologistas; C = Médicos Nucleares.

A análise da densidade de recursos em relação à densidade populacional dos três países mais populosos, Brasil, México e Colômbia, reforça a desigualdade nessa distribuição. Os três são países com perfil de renda média-alta e possuem DCS maiores do que 7. Embora o México possua uma população correspondente a mais de metade da população do Brasil, o gasto com saúde em relação ao PIB de ambos é semelhante. Com exceção da quantidade de equipamentos de PET e médicos nucleares, que é igual nesses três países, o Brasil se destaca na quantidade de equipamentos de TC e RM.

Entretanto, os dados de equipamentos de TC, RM e LINAC por milhão no México são

menores que os da Colômbia, que possui a menor população e o menor gasto com saúde entre os três países citados, indicando que a Colômbia adota uma política de investimentos nessa área superior à do México. Em relação aos três países menos populosos, Santa Lúcia, São Vicente e Granadinas e Antígua e Barbuda, os dois primeiros não possuem dados dos LINAC, os três são equilibrados na quantidade de radiologistas (entre 25 e 50), e São Vicente e Granadinas se destaca na quantidade de médicos nucleares (entre 5,1 e 10).

A análise dos países menos populosos reforça a percepção de que não existe uma padronização na distribuição dos recursos entre os países em função do PIB. Para confirmar essa perspectiva, ao se comparar Brasil e Chile, que possuem perfil semelhante de PIB e DCS próximo, nota-se que a distribuição de equipamentos de RM no Brasil é um pouco melhor do que no Chile, que, por sua vez, tem maior densidade de LINAC por 1 milhão de habitantes em relação ao Brasil. O mesmo ocorre ao comparar a Costa Rica, com o mesmo perfil de renda do Brasil e o maior DCS da amostra, mas expressa resultados piores em relação à densidade de equipamentos de TC, RM, LINAC e radiologistas, em relação ao Brasil.

Chama a atenção o fato de a Costa Rica apresentar a maior taxa de sobrevivência de 5 anos do câncer de pulmão, já que possui baixos índices de infraestrutura em TC e RM. Por outro lado, como ela possui o mais alto DCS de todos os países da amostra, é possível inferir que este país investe mais na adoção de estratégias com ênfase no tratamento do câncer, ou seja, nas consequências da doença, ao invés de uma abordagem mais preventiva.

Em síntese, os dados evidenciam a falta de padronização na distribuição de recursos e médicos especialistas em diagnóstico por imagem oncológico na ALC, independentemente de sua renda ou densidade populacional, e destacam a necessidade de políticas mais equilibradas e eficazes para otimização do acesso à saúde, sobretudo para o paciente oncológico.

2.3.6 Comparativo global da infraestrutura em imagem diagnóstica em oncologia

A seguir, apresenta-se uma análise comparativa direta da distribuição de equipamentos de imagem e profissionais entre a ALC e outras regiões globais. Isso contribui para identificar oportunidades de melhoria no acesso a tal infraestrutura, além de compreender amplamente o posicionamento da ALC no contexto globalizado.

A amostra global, utilizada para fins de comparação, incluiu regiões com variação na categoria de renda e na infraestrutura de tecnologias de diagnóstico por imagem e médicos especialistas. Para a comparação da ALC no contexto global, optou-se por comparar com: (i) Europa e América do Norte, regiões de alta renda que oferecem um contraste em termos de diversidade de contexto econômico e de desenvolvimento; (ii) Austrália/Nova Zelândia (ANZ), devido à alta densidade de equipamentos de diagnóstico e infraestrutura avançada, trazendo uma perspectiva de alto nível de acesso às tecnologias e profissionais; e (iii) África Subsaariana, que possui baixa densidade de equipamentos e profissionais, evidenciando as disparidades extremas em infraestrutura de saúde em diagnóstico por imagem. Essa

abordagem comparativa proporciona uma compreensão abrangente da ALC no contexto global, contribuindo para a formulação posterior de estratégias de melhoria e fortalecimento da infraestrutura na região. O quadro 10 apresenta uma síntese do contexto de investimentos em saúde dessas áreas, com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2023).

Quadro 10 — Características da saúde nas regiões globais

Região	Características Principais
América do Norte (Canadá)	Modelo universal, programas sólidos de triagem, foco em doenças crônicas.
América do Norte (EUA)	Inovação tecnológica, desafios de custo e acessibilidade.
ANZ	Modelos mistos público-privado, bom acesso à tecnologia e limitações em áreas rurais.
África Subsaariana	Desafios em recursos e infraestrutura, alto índice de mortalidade; necessidade de investimentos.
ALC	Diversidade nos sistemas de saúde, desigualdade no acesso e qualidade, expansão na triagem, mas com lacunas em áreas rurais.
Europa	Compromisso com saúde de alta qualidade, ênfase em triagem e diagnóstico precoce; diferenças de acesso e equidade entre países.

Fonte: Adaptado de Organisation for Economic Co-operation and Development (2023). Nota: ALC = América Latina e Caribe; ANZ = Austrália/Nova Zelândia.

Conforme os dados do quadro 10, os sistemas de saúde globalmente variam em qualidade e acesso, refletindo as diferenças regionais em infraestrutura e recursos. Em regiões desenvolvidas, como Europa e América do Norte, prevalecem modelos focados em prevenção e triagem. A ANZ possui um sistema misto, com alta capacidade tecnológica, enquanto a África Subsaariana enfrenta desafios de infraestrutura e recursos limitados. Na ALC, a diversidade de modelos de saúde implica desigualdade significativa entre áreas urbanas e rurais, revelando um panorama global onde a eficiência dos cuidados e o diagnóstico precoce do câncer são profundamente influenciados pelas condições locais (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2023). O quadro 11 apresenta uma síntese comparativa entre a densidade de equipamentos e profissionais por 1 milhão de habitantes, entre a ALC e as regiões selecionadas.

Quadro 11 — Análise comparativa entre a ALC e as regiões selecionadas

Equipamento/ Profissional	Observação
TC	ALC x Europa e América do Norte: ALC apresenta infraestrutura inferior, destacando a necessidade de investimentos para fortalecer sua posição, mesmo ocupando uma faixa intermediária no cenário global. ALC x ANZ: ALC tem desempenho inferior. ALC x África Subsaariana: ALC possui uma infraestrutura superior, mas ainda há margem para melhorias, especialmente quando comparada a regiões mais desenvolvidas.
RM	ALC x Europa e América do Norte: ALC apresenta infraestrutura inferior, com necessidade de investimentos em infraestrutura e diagnóstico por imagem. ALC x ANZ: ALC tem desempenho inferior. ALC x África Subsaariana: ALC apresenta situação superior, embora ainda esteja distante das regiões mais desenvolvidas, como ANZ e Europa/América do Norte.
PET	ALC x Regiões de Alta Renda: ALC apresenta infraestrutura inferior, evidenciando a necessidade de investimentos significativos para se aproximar dos padrões das regiões desenvolvidas. ALC x ANZ: ALC tem desempenho inferior. ALC x África Subsaariana: ALC é superior, com densidade mais alta, mas ainda enfrenta desafios para ampliar o acesso e melhorar a infraestrutura.
Radiologistas	ALC x Regiões de Alta Renda: ALC apresenta infraestrutura inferior, com necessidade de mais radiologistas para atender à crescente demanda por exames de imagem. ALC x ANZ: ALC tem desempenho inferior. ALC x África Subsaariana: ALC é superior, mas enfrenta desafios relacionados à distribuição desigual de radiologistas, concentrados majoritariamente em áreas urbanas.
Médicos Nucleares	ALC x Regiões de Alta Renda: ALC apresenta infraestrutura inferior, com necessidade de mais médicos nucleares para atender à crescente demanda na área. ALC x ANZ: ALC tem desempenho inferior. ALC x África Subsaariana: ALC é superior, mas enfrenta desafios relacionados à distribuição desigual de médicos nucleares, concentrados principalmente em áreas urbanas.

Fonte: O autor (2024). Nota: Análise com base na densidade por 1 milhão de habitantes. ALC = América Latina e Caribe; ANZ = Austrália/Nova Zelândia; PET = Tomografia por Emissão de Pósitrons; RM = Ressonância Magnética; TC = Tomografia Computadorizada.

A comparação entre os diferentes níveis de renda na ALC e outras regiões do mundo destaca a centralidade do desenvolvimento econômico como fator determinante no acesso às tecnologias e médicos especialistas no âmbito das imagens médicas em oncologia, sugerindo que cada nível de renda na ALC requer estratégias específicas para alocação de recursos assertivamente, a fim de enfrentar suas respectivas carências e garantir uma saúde mais equitativa para todas as populações da região.

Em um contexto global sobre o gasto em saúde por provedor em 2021, a Costa Rica

apareceu em segundo lugar, com destaque no investimento em saúde pública, atrás da Turquia, apresentando uma distribuição equilibrada entre diferentes provedores, incluindo hospitais, serviços ambulatoriais e cuidados a longo prazo. Essa distribuição pode impactar melhores indicadores de saúde, como a expectativa de vida e a mortalidade infantil, em comparação a outras nações, servindo de exemplo regional para o acesso à saúde equitativa (Organisation For Economic Co-Operation And Development, 2023).

Consoante o *Relatório Macroeconômico da América Latina e Caribe* (Galindo; Nuguer, 2023), a ALC enfrenta um cenário desafiador que envolve questões complexas de ordem econômica, social e ambiental. Cerca de 18% da população vive com menos de US\$ 3,10 por dia em um cenário de desigualdade que cresce a cada dia. A região foi altamente impactada pela pandemia de Covid-19, bem como pela guerra na Ucrânia, o que resultou em uma dívida de 70% do PIB. Dessa forma, o potencial de investimento dos governos é colocado em um patamar de limitações e restrições que comprometem a capacidade de direcionamento de recursos.

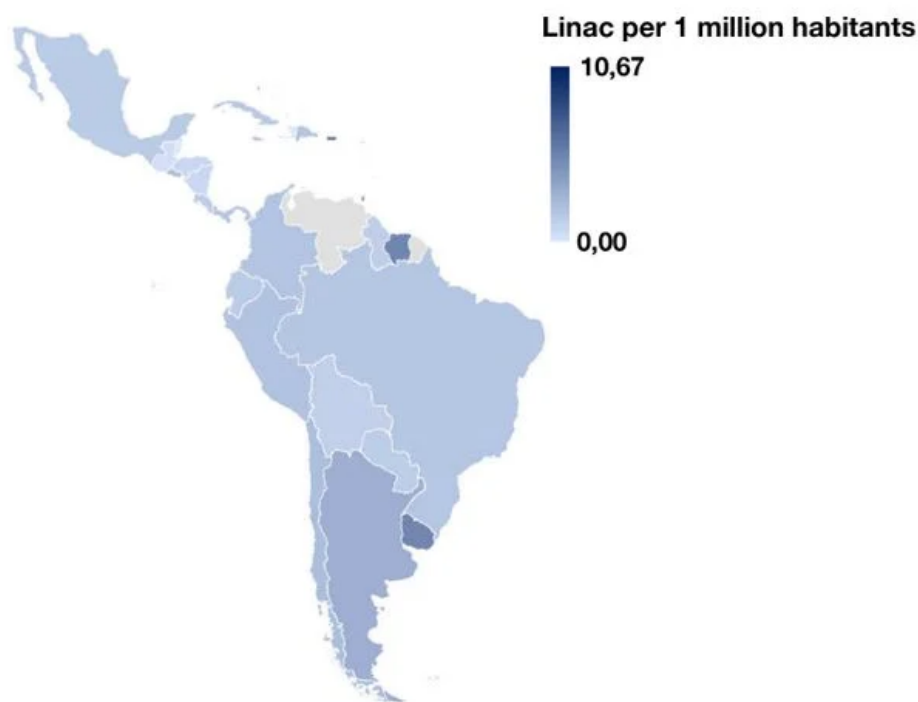
Ainda de acordo com esse relatório, oscilações financeiras na economia dos EUA e crises globais também exercem influência, já que ALC é dependente desses fatores. Consideram-se, ainda, questões concernentes às mudanças climáticas, que agravam os riscos para setores fundamentais, como a agricultura, ocasionando um desequilíbrio na segurança alimentar e saúde pública local. Por isso, pode-se dizer que essa região apresenta como desafios: pobreza e desigualdade; desafios fiscais; crescimento econômico lento; riscos externos; e mudanças climáticas (Galindo; Nuguer, 2023).

Em contrapartida, o relatório apresenta como oportunidades para o desenvolvimento da ALC: reformas estruturais; investimentos em infraestrutura; diversificação econômica; inovação e tecnologia; e cooperação regional. Com a melhora desses fatores, acredita-se que a região possa experimentar uma melhora na qualidade de vida, inclusão social e se posicionar competitivamente no mercado global (Galindo; Nuguer, 2023).

2.3.7 LINAC

A disponibilidade de LINAC para radioterapia apresenta a razão média de 2,56 por 1 milhão de habitantes, destacando-se Antígua e Barbuda (10,67 por milhão) e Porto Rico (6,58). Os países com menor densidade de LINAC por milhão são Guadalupe e Guatemala (ambos com 0,42) (Tabela 4). A figura 13 ilustra a distribuição dos LINAC na ALC. Essa variável, juntamente com outros fatores como gastos com saúde e número de especialistas, influencia a capacidade diagnóstica e de tratamento em oncologia na região.

Figura 13 — Distribuição de LINAC na ALC



Fonte: O autor e colaboradores (2024). Nota: Densidade por 1 milhão de habitantes. A cor mais intensa indica maior disponibilidade de equipamentos para radioterapia. LINAC = Aceleradores Lineares.

É possível inferir, com base nos dados, que não existe uma relação direta entre os gastos com saúde e a mortalidade, já que há países com baixo investimento do PIB, como Trindade e Tobago (4,04%), com uma razão mortalidade/incidência projetada de 0,65, enquanto Barbados investe aproximadamente o dobro (8,09%) e apresenta, como já mencionado, a maior razão mortalidade/incidência projetada para 2045 e também para 2022. Apesar do maior investimento, Barbados possui menor infraestrutura de imagem do que Trindade e Tobago.

Observa-se que a Guiana possui uma baixa razão mortalidade/incidência de câncer em 2022 (0,5) e projetada para 2045 (0,52), apesar de não contar com equipamentos de PET. No entanto, o país possui entre 2,5 e 5 unidades de RM, sugerindo que essa modalidade esteja fazendo diferença no diagnóstico e controle do câncer.

Classificado como país de alta renda, o Panamá possui menos unidades de TC e menor densidade de LINAC do que Barbados, mas conta com 2,5 e 5 unidades de RM e entre 0 e 1 unidade de PET, enquanto Barbados não dispõe de nenhum desses equipamentos. Isso sugere que as tecnologias de RM e PET podem ter impacto direto na redução da razão mortalidade/incidência de câncer no Panamá em comparação a Barbados.

Isso sugere que a presença de tecnologias como o LINAC, por si só, não basta para combater a crise do câncer, reforçando o papel crucial do diagnóstico por imagem na redução das mortes por câncer, especialmente no diagnóstico precoce. Essa perspectiva é fortalecida

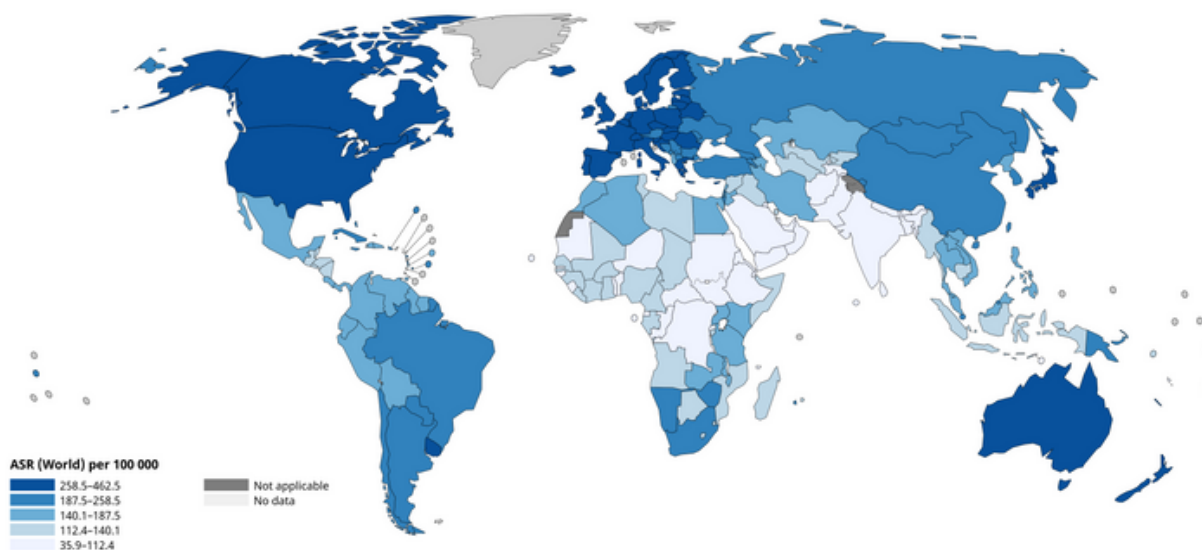
ao comparar os dados do Panamá, que está entre os países com menor razão mortalidade/incidência projetada para 2045 (0,50) (Tabela 2), apesar de investir uma porcentagem menor do PIB em saúde em comparação ao Brasil, que possui razão mortalidade/incidência similar.

2.3.8 Panorama do câncer

Países da América do Norte, Europa e ANZ apresentam elevada ASR de incidência de câncer nos dois sexos (Figura 14) (International Agency for Research on Cancer/World Health Organization, 1965–2025b). Ao mesmo tempo, ao cruzar com os dados da presente pesquisa, nota-se que essas regiões apresentam a maior densidade de equipamentos de imagem, radiologistas e médicos nucleares, em contraste com a África Subsaariana e partes da Ásia, que apresentam menores incidências de câncer e infraestrutura limitada. A ALC, por sua vez, se encontra em uma posição intermediária, tanto no mapa da incidência quanto na disponibilidade de recursos.

O mapa da figura 14 mostra a ASR de incidência de câncer por 100.000 habitantes em diferentes países, em ambos os sexos, variando de tons mais claros (indicando menor incidência) a mais escuros (indicando maior incidência). Regiões em cinza representam áreas com ausência de dados ou não aplicáveis.

Figura 14 — ASR da incidência por 100.000 habitantes nos dois sexos



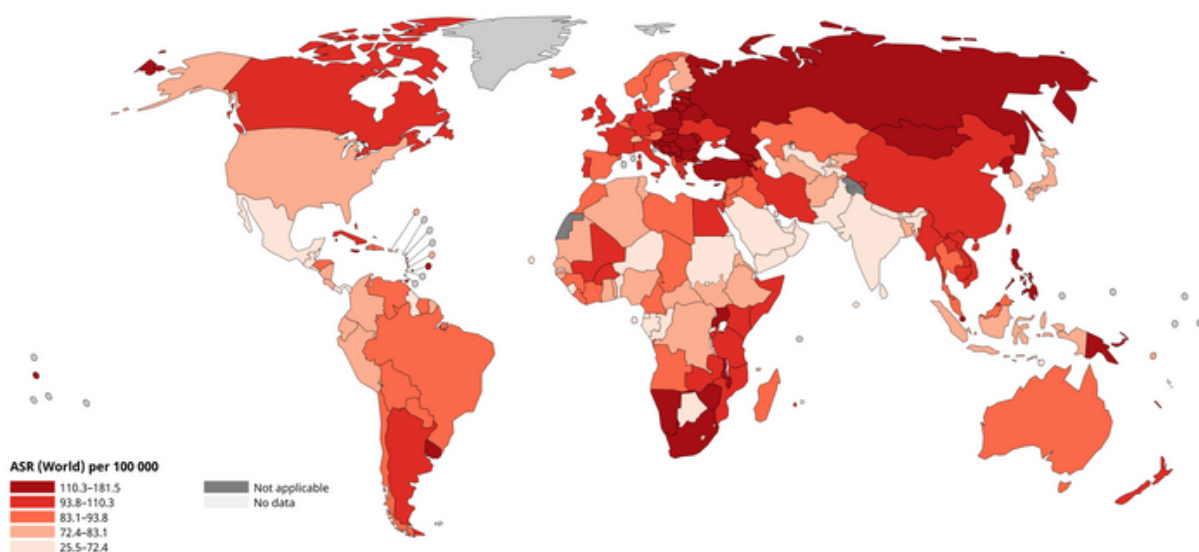
Fonte: International Agency for Research on Cancer/World Health Organization (1965-2025b), utilizado com autorização. Nota: ASR = *Age-Standardized Rate* (Taxa Padronizada por Idade).

Em relação à mortalidade (Figura 15), nos países da Europa Oriental, Leste e Sul Asiáticos e África Subsaariana, onde a mortalidade por câncer é mais elevada, há uma infraestrutura de saúde visivelmente deficiente, o que se repete na Ásia Central, apesar da alta

densidade de TC. O oposto se observa em regiões como América do Norte e ANZ, que possuem maiores recursos em termos de equipamentos e médicos especialistas, e apresentam ASR de mortalidade por câncer comparativamente mais baixas, apesar de sua alta incidência.

O mapa da figura 15 exibe a ASR da mortalidade por câncer por 100.000 habitantes em diferentes países, em ambos os sexos. Os tons variam de vermelho claro a escuro, indicando uma progressão de menor para maior taxa de mortalidade. Regiões em cinza representam áreas com ausência de dados ou não aplicáveis.

Figura 15 — ASR da mortalidade por 100.000 habitantes nos dois sexos



Fonte: International Agency for Research on Cancer/World Health Organization (1965-2024c), utilizado com autorização. Nota: ASR = *Age-Standardized Rate* (Taxa Padronizada por Idade).

Os contrastes observados entre regiões de alta e baixa renda (Figuras 14 e 15) deixam claro que a mortalidade por câncer não depende apenas da incidência, mas da capacidade de resposta dos sistemas de saúde. A infraestrutura adequada, o acesso a diagnóstico por imagem e a presença de especialistas são fatores decisivos na redução dos óbitos. A desigualdade global em saúde oncológica, evidenciada nos mapas, exige ações concretas e direcionadas, sob risco de perpetuação das disparidades já consolidadas.

2.3.9 Perspectivas e implicações deste estudo transversal

A seguir, apresenta-se uma discussão dos achados do estudo, comparando os países da ALC entre si e em relação a outras regiões globais. Também são exploradas as implicações e os possíveis impactos nas esferas clínica, social e científica, com apoio em dados da literatura.

2.3.9.1 *Demografia e investimentos em saúde*

A análise dos dados apresentados neste estudo transversal confirmou as disparidades internas e externas quanto ao acesso à infraestrutura de imagem médica em oncologia nos países analisados, predominando aqueles com perfil de renda média-alta. Embora essa região esteja posicionada de forma intermediária no contexto global — superiormente em relação a regiões de baixa renda, como a África Subsaariana —, ainda apresenta deficiências em comparação com as regiões de alta renda, como Europa e América do Norte. Países de alta renda na ALC contam com infraestrutura relativamente robusta, mas inferior a dessas regiões desenvolvidas.

No contexto geral, existe uma distribuição desigual do PIB para a saúde em relação à proporção do tamanho dos países. A disponibilidade de serviços de diagnóstico por imagem e de profissionais é mais ampla nas regiões desenvolvidas, resultando, possivelmente, em diagnósticos mais rápidos. Por outro lado, nas regiões de baixa renda, observa-se o inverso em relação à disponibilidade de infraestrutura investigada, resultando, supostamente, em um menor índice de diagnósticos precoces, o que pode agravar as condições de saúde e aumentar a razão mortalidade/incidência, conforme demonstrado pelos dados de 2022 e nas projeções para 2045 (Tabela 2).

Como observado em Hricak *et al.* (2021), a incidência de câncer aparenta ser maior nos países de regiões desenvolvidas. Contudo, é possível que isso seja um reflexo da maior quantidade de casos notificados. Isso leva a inferência de que, em países de renda mais baixa, onde a taxa de mortalidade é mais elevada, a falta de infraestrutura ou mesmo a falta de normas específicas pode contribuir para a subnotificação dos casos, resultando em uma aparente menor incidência da doença.

Consequentemente, a razão mortalidade/incidência nesses países pode ser artificialmente elevada, refletindo mais a limitação na detecção e no registro dos casos do que necessariamente uma diferença real na ocorrência de câncer. Entretanto, essa análise extrapola o escopo da metodologia aplicada no presente estudo, sendo aqui sugerido somente como uma perspectiva para futuros aprofundamentos e desdobramentos da pesquisa.

2.3.9.2 *Correlação entre a razão mortalidade/incidência e a infraestrutura*

As tecnologias de imagem investigadas desempenham um papel essencial na medicina moderna, facilitando diagnósticos cada vez mais precisos, além do rastreamento e acompanhamento de casos oncológicos. Conforme os indicadores da Organisation for Economic Co-operation and Development (2023), entre 2019 e 2020 houve uma queda no uso de exames de imagem, sobretudo em RM em diversos países. Isso foi atribuído ao cenário da pandemia de Covid-19, em que exames foram adiados ou cancelados. Nesse período, os EUA tiveram uma redução acima de 30%. Contudo, em 2021, houve uma recuperação no uso dos

exames de imagem, superando os níveis de 2019, o que se pressupõe que esteja diretamente atrelado a uma demanda reprimida das agendas de exames do período da pandemia.

Ainda conforme os indicadores da Organisation for Economic Co-operation and Development (2023), embora a maioria dos países tenha dados sobre a disponibilidade de equipamentos de diagnóstico por imagem, a cobertura pode ser limitada em algumas nações. Por exemplo, Costa Rica, Portugal, Suíça (para unidades de RM) e o Reino Unido reportam equipamentos disponíveis somente em hospitais, enquanto outros países, como Colômbia e Costa Rica, têm dados que cobrem somente o setor público.

Ao se analisar a relação entre a mortalidade e a incidência do câncer com a infraestrutura, destacam-se Barbados com a maior razão mortalidade/incidência projetada para 2045 (Tabela 2). Este país apresenta DCS de 8,09%, mas estruturalmente, é pior nos quesitos de TC, RM e radiologistas em relação a Belize, com DCS igual a 4,98% e a razão mortalidade/incidência menor que Barbados.

Ao comparar a infraestrutura de Belize (DCS = 4,98%) e Brasil (DCS = 9,89%) em relação à razão mortalidade/incidência do câncer, o país com maior investimento apresenta uma menor previsão de mortalidade/incidência (0,5). Entretanto, essa não é uma relação absoluta entre percentual de investimentos e a razão mortalidade/incidência, já que existem exemplos de países que investem mais de 9% do PIB em saúde e ainda possuem uma razão mortalidade/incidência igual ou superior a 6, como a República Dominicana, o Suriname e o Chile.

Por outro lado, países com menor projeção de razão mortalidade/incidência para 2045 e menor DCS, como Porto Rico (0,50, 6,16%), dispõem de uma gama superior de equipamentos de TC, RM, PET e LINAC por 1 milhão de habitantes, em comparação ao exemplo inicial de Barbados. Neste caso, supõe-se que o planejamento de Porto Rico nesses quesitos, apesar da ausência de dados sobre médicos especialistas, seja mais eficiente que o de Barbados, já que investe menos e tem uma projeção melhor para a razão mortalidade/incidência.

O Panamá, que apresenta a mesma razão de mortalidade/incidência projetada (0,50) e um DCS (6,15%) próximo ao de Porto Rico, quando comparado inicialmente a Barbados — que possui a maior razão de mortalidade/incidência projetada para 2045 —, demonstra estratégias que sugerem ser mais eficazes, mesmo com a otimização de seus recursos. O Panamá conta com a menor oferta de equipamentos de TC (0 a 5), RM (2,5 a 5) e LINAC (1,65) por 1 milhão de habitantes entre os três, mas possui uma maior disponibilidade de radiologistas (25 a 50), em comparação a Barbados. Não é possível afirmar que no Panamá sejam realizados menos exames em comparação aos outros dois países mencionados, já que a capacidade de atendimento ao público está relacionada, muitas vezes, com fatores como organização da agenda de pacientes, horário de atendimento e capacidade, em volume e agilidade, de acordo com cada tipo de aparelho.

Contudo, os dados sugerem que, mesmo em um cenário estrutural desfavorável, a

presença de médicos radiologistas parece ser, neste caso, a variável que contribuiu para a agilidade dos diagnósticos, impactando supostamente na razão mortalidade/incidência projetada. Isso leva à seguinte perspectiva: **Dentre os elementos estruturais da infraestrutura em diagnóstico por imagem em oncologia, a quantidade de radiologistas parece exercer uma influência mais direta na agilidade e precocidade dos diagnósticos do que somente a disponibilidade de equipamentos. Assim, uma maior presença desses profissionais tende a resultar em uma razão mortalidade/incidência mais baixa em um país.**

Outro exemplo comparando três países da ALC com relação à mortalidade/incidência para 2045 são Bahamas (0,68), Honduras (0,66) e Cuba (0,66). Honduras e Cuba são similares na quantidade de equipamentos de TC (0 e 5), de RM (0 e 2,5) e de PET (0 e 1), mas Cuba possui quase o dobro de LINAC por 1 milhão (1,59) em relação a Honduras (0,82), e apresenta uma discrepância alta em relação à quantidade de radiologistas (50 a 100), enquanto Honduras possui 0; ambos possuem o mesmo intervalo de médicos nucleares (0,1 e 5).

Os três países mencionados possuem uma razão mortalidade/incidência projetada próxima, e, apesar de Honduras e Cuba terem uma infraestrutura tecnológica similar, em certo ponto, em termos de equipamentos de imagem, a discrepância no número de LINAC e radiologistas parece ser um fator importante que explica a diferença na razão mortalidade/incidência entre esses países. Isso significa que a maior disponibilidade de especialistas e equipamentos avançados em Cuba pode contribuir para uma projeção de mortalidade menor em relação à incidência, de modo que, apesar da semelhança em outros recursos, a presença de profissionais qualificados e tecnologias específicas pode impactar nos resultados da saúde no combate ao câncer. Isso corrobora a perspectiva da importância dos radiologistas no exemplo comparativo entre Panamá, Porto Rico e Barbados.

2.3.9.3 *Análise das variáveis*

A seguir, apresentam-se algumas considerações sobre cada uma das variáveis investigadas:

TC: a densidade de TC varia na ALC de modo que os países com maior desenvolvimento econômico tendem a possuir uma maior disponibilidade de equipamentos. Além da renda, fatores locais como a urbanização e as políticas de saúde, bem como os planejamentos estratégicos de cada região, podem influenciar a densidade de tomógrafos. É preciso considerar que a pandemia de Covid-19 pode ter afetado a disponibilidade e o acesso a exames de TC em algumas regiões, já que essa modalidade ganhou destaque no diagnóstico por imagem durante esse período.

RM: a densidade de RM varia na ALC sob a mesma perspectiva da TC, com o diferencial de que essa modalidade apresenta como desafio maior o alto custo dos equipamentos e exames. Embora a densidade deste equipamento na ALC esteja próxima à

média global, alguns países ainda enfrentam escassez na oferta dessa modalidade de imagem.

PET: o desafio é ainda maior quando comparado aos equipamentos de TC e RM, já que essa modalidade requer, além de um investimento mais alto em infraestrutura, a capacitação dos profissionais que atuam especificamente nessa área, para garantir a segurança, tanto dos pacientes quanto dos próprios profissionais. Isso pode esbarrar, muitas vezes, no interesse de profissionais especialistas de outros países, que optem por residir em regiões com menor desenvolvimento.

Radiologistas e Médicos Nucleares: a distribuição de radiologistas pode ser desigual na ALC, com a maior concentração desses profissionais em centros urbanos e capitais. O envelhecimento da população e o aumento da razão mortalidade/incidência do câncer projetada para 2045 sugerem a necessidade de ampliar a oferta desses profissionais. Destaca-se a importância da telerradiologia e da telemedicina nesse contexto, para fins de laudo e celeridade de consultas. Além disso, é fundamental a capacitação e atualização constante desses profissionais, devido aos rápidos avanços tecnológicos da área da radiologia, sobretudo com as pesquisas emergentes sobre as aplicações da IA no contexto do diagnóstico por imagem oncológica.

LINAC: a disponibilidade de LINAC na ALC apresenta uma desigualdade semelhante à observada para a TC e a RM, com uma concentração maior desses equipamentos nos países de alta renda. Os LINAC são essenciais para a radioterapia no tratamento do câncer, e a escassez desse tipo de tecnologia em muitos países da região limita significativamente o acesso a tratamentos eficazes para pacientes oncológicos. O elevado custo de aquisição e manutenção desses equipamentos, assim como a necessidade de infraestrutura avançada e a formação especializada de profissionais para operar esses equipamentos, representam barreiras adicionais.

2.3.9.4 ALC posicionada no cenário global

A ALC, embora apresente uma densidade intermediária de infraestrutura, possui alguns países com ASR da mortalidade relativamente altas. Chama a atenção o fato de países como o Uruguai, classificado como alta renda, com um DCS de 8,30 (veja Tabela 1), mas com uma ASR de mortalidade de 128,30 (International Agency for Research on Cancer, 2015c); e a Costa Rica, com um DCS de 13,79 (o maior da amostra, veja Tabela 1) e uma ASR de mortalidade de 177,73 (International Agency for Research on Cancer, 2015c).

Isso sugere que, embora a infraestrutura de saúde seja um fator relevante, as disparidades no acesso a exames de imagem e na disponibilidade de médicos especializados podem ter um impacto mais direto no ASR de mortalidade por câncer, indicando que o simples investimento em infraestrutura não é suficiente para reduzir os desfechos negativos. Ainda que essa métrica também possa refletir maior eficiência nos métodos de diagnóstico e notificação, a interpretação dos dados deve considerar possíveis desigualdades no acesso aos

recursos de saúde.

Em relação à distribuição de equipamentos de imagem e médicos, radiologistas e nucleares, existe uma grande desproporção entre as classificações de renda, com os países de perfil de alta renda liderando globalmente em densidade (veja figuras suplementares de I a V no Apêndice C). Os países de alta renda da ALC apresentam números abaixo da média global nos dois casos, mas se destacam em densidade em relação às regiões mais carentes de investimentos. A ALC apresenta uma densidade de unidades de RM pouco acima da média global, e os países com perfil de alta renda apresentam uma densidade de unidades de RM superior à média global geral.

Em um nível mais detalhado, países de alta renda na ALC, como Bahamas e Barbados, apresentam indicadores de saúde que se aproximam dos padrões das regiões desenvolvidas, como América do Norte e Europa Ocidental, mas ainda enfrentam lacunas significativas na densidade de equipamentos de alta complexidade e na qualificação profissional. Apesar de seus sistemas de saúde estruturados, a defasagem em relação às regiões globais mais desenvolvidas é evidente, exigindo estratégias de investimento contínuo para alcançar melhores resultados.

A ALC é formada por países em diferentes estágios de desenvolvimento econômico e social, com diferenças nas suas estratégias de investimento em saúde. Consequentemente, existe uma variabilidade entre a infraestrutura de equipamentos e médicos especialistas. Nações de renda média-alta, como Brasil, México, Argentina e Colômbia, enfrentam uma distribuição desigual de recursos, comprometendo o acesso a serviços de diagnóstico por imagem, o que pode ser acentuado em áreas rurais.

Embora esses países estejam próximos da média global, a situação é crítica na região da América Central e do Caribe, no caso de equipamentos de PET e médicos nucleares, onde se evidenciam as maiores deficiências em relação às outras modalidades. Por outro lado, os países de baixa renda da ALC, como Haiti e algumas nações caribenhas, enfrentam dificuldades de acesso a tecnologias de diagnóstico, refletindo um panorama de infraestrutura limitada e, possivelmente, dependência de ajuda externa.

Além disso, a análise evidencia uma janela de oportunidades para a expansão de tecnologias emergentes, como o uso de IA para preencher lacunas no diagnóstico médico. Outro ponto a ser considerado é que a infraestrutura de imagem e profissionais não atende exclusivamente a pacientes oncológicos, sendo utilizada por pacientes com perfis diversos, que vão desde crianças até idosos, e por outras causas que não sejam o câncer, o que pode resultar em uma maior demora no atendimento nesses países. Isso sugere a criação de centros integrados de diagnóstico e tratamento específicos para a oncologia.

A análise dos dados mostra que a disponibilidade de equipamentos e profissionais não é, por si só, suficiente para garantir o acesso ao diagnóstico precoce por imagem do câncer. É essencial considerar as particularidades de cada região — como a distribuição geográfica, o nível de urbanização e as desigualdades sociais — para viabilizar o acesso efetivo da

população a essas tecnologias e serviços.

A ALC tem potencial para aumentar a densidade de equipamentos e profissionais em diagnóstico por imagem, sendo necessário, para isso, implementar políticas públicas eficazes, investir em infraestrutura e oferecer treinamento adequado aos profissionais. A introdução de programas de cooperação internacional e investimentos em saúde pública pode desempenhar um papel crucial na redução dessas disparidades.

Embora a comparação entre a ALC e a ANZ possa parecer incongruente do ponto de vista geográfico e de escala — já que a ALC abrange um conjunto amplo de países, enquanto a ANZ é uma sub-região —, ela continua sendo relevante. A ANZ representa a maior parte da Oceania e, segundo os dados coletados, possui o maior desenvolvimento em infraestrutura de imagem entre as regiões analisadas. Já a ALC, apesar da heterogeneidade, inclui países com alto nível de desenvolvimento econômico e humano, o que justifica sua presença na comparação e evidencia disparidades internas que merecem atenção.

Essa similaridade pode contribuir para identificar práticas e políticas de saúde, com foco no diagnóstico por imagem, que podem ser adaptadas à realidade da ALC. Isso coloca regiões como a ANZ em um patamar norteador de “referência” para objetivar o alcance de níveis similares ou relativos à infraestrutura dos países com perfil de rendas similares. Entretanto, uma alternativa mais próxima da realidade da região, sobretudo para países de baixa e média renda, é a *Portaria n.º 1.631/2015* (Brasil, 2015), como será visto na Seção 2.3.9.8.

2.3.9.5 Redução de dose de radiação em TC

Um ponto que merece atenção é a questão da dose de radiação ionizante e os possíveis efeitos na saúde humana. Embora os métodos de imagem sejam essenciais para a gestão adequada de pacientes oncológicos, é preciso considerar os impactos da dose de radiação ionizante, especialmente no contexto da TC. Estudos como os de Mahmoudi *et al.* (2024) e Tahmasebzadeh, Paydar e Kaeidi (2023) demonstraram, utilizando o modelo BEIR (do inglês *Biologic Effects of Ionizing Radiation*; e em português, efeitos biológicos da radiação ionizante) VII²⁵, que a exposição à radiação da TC aumenta significativamente o risco médio de câncer de pulmão e de mama, respectivamente. Além disso, pacientes expostos a exames de TC antes dos 20 anos têm um risco de câncer 24% maior, e cada exposição adicional aumenta o risco relativo em 0,16 (McBain-Miller *et al.*, 2022). Isso seria um contraponto, já que o método utilizado para diagnosticar câncer pode causar câncer.

Na prática em TC, esforços da comunidade científica podem ser percebidos em estratégias que utilizam algoritmos baseados em *deep learning*, que permitem a aquisição de imagens com dose mais de radiação mais baixa que o convencional, mas cujas imagens

²⁵ Esse modelo analisa os riscos associados à exposição à radiação, especialmente em doses baixas. Ele se baseia na ideia de que qualquer nível de exposição pode representar um risco, sem um limite seguro (National Research Council, 2006; O'Connor, 2017)

resultantes possuem qualidade igual ou superior às de uma exposição convencional (Goto *et al.*, 2023; Rauf *et al.*, 2023).

Em um contexto amplo, uma forma de mitigar esse risco seria o uso de métodos alternativos de diagnóstico por imagem, como os sugeridos pelo American College of Radiology (2025). Entretanto, duas considerações são necessárias: 1) somente a disponibilidade da tecnologia de imagem não garante a redução da razão mortalidade/incidência do câncer; 2) a substituição de métodos diagnósticos pode esbarrar em aspectos econômicos e estruturais, visto que os investimentos em RM são mais elevados do que em TC, por exemplo.

Apesar de a dose de radiação ser uma preocupação genuína em proteção radiológica, no rastreamento por TCBD isso se mostra **irrelevante** devido aos baixos índices de dose e, também, pelo benefício gerado, que é a possibilidade do diagnóstico precoce do câncer de pulmão em pacientes de risco, resultando na possibilidade de cura. Vale mencionar que as leituras que fundamentaram esta seção da tese serviram de base ao artigo *Estratégias para redução de dose de radiação em tomografia pediátrica e angiotomografia pulmonar*, em vias de submissão a periódico.

2.3.9.6 *Correlação com os dados da International Agency for Research on Cancer*

A análise das ASR de incidência e mortalidade do câncer em diferentes regiões indica que, nas regiões onde há maior disponibilidade de equipamentos de imagem e profissionais especializados, como América do Norte e Europa, a incidência de câncer é alta, mas a ASR de mortalidade é relativamente baixa. Isso sugere que, embora essas regiões enfrentem um alto número de casos diagnosticados, o acesso a cuidados de saúde adequados e a detecção precoce estão contribuindo para melhores resultados de sobrevivência.

Em contraste, na África Subsaariana e em partes da Ásia, observamos ASR de mortalidade elevada, apesar de incidências mais baixas. Essa situação pode ser atribuída à infraestrutura de saúde deficiente, que limita o acesso a diagnósticos precisos e tratamentos eficazes, resultando em desfechos mais graves para os pacientes. Da mesma forma que em 4.5.1, infere-se que, além da falta de infraestrutura, deve-se considerar que pode ocorrer a comunicação imprecisa de novos casos de câncer.

2.3.9.7 *Disparidades econômicas no acesso à saúde e ao diagnóstico por imagem*

A disponibilidade de equipamentos de diagnóstico por imagem e tratamento oncológico na ALC apresenta-se como um fator crítico que impacta diretamente o tratamento e o cuidado oncológico na região (Goss *et al.*, 2013; Barrios *et al.*, 2021; Gössling, Rebelatto; Villarreal-Garza, 2023; Sarria *et al.*, 2023). Apesar de posicionada à frente de regiões mais

carentes, como a África Subsaariana, a ALC está longe de atingir o nível das regiões de maior potencial econômico, que apresentam maior ASR de incidência e, simultaneamente, menor ASR de mortalidade do câncer. Essa limitação possivelmente reflete em diagnósticos tardios, que comprometem as opções de tratamento e as porcentagens de sobrevida.

Os achados do estudo corroboram a literatura sobre as desigualdades sociais e a dificuldade do diagnóstico e tratamento do câncer em regiões com perfil de baixa renda (Barrios *et al.*, 2021; Gössling; Rebelatto; Villarreal-Garza, 2023), rurais (Sarria *et al.*, 2023) e populações indígenas (Aguiar Jr; Stock; Lopes Jr, 2016). Nas populações indígenas, os tipos de câncer mais frequentes foram os de colo uterino (28%) e de próstata (16%), com um intervalo de nove meses entre os primeiros sintomas e o diagnóstico e de 3,4 meses entre o diagnóstico e o início do tratamento. A sobrevida global foi pior nos casos em que a doença estava no estágio IV (Aguiar Jr; Stock; Lopes Jr, 2016), o que sugere que o diagnóstico precoce poderia ter resultado em uma sobrevida maior.

As diferenças entre o PIB e os investimentos em saúde revelam que existe divergência nas estruturas de saúde e na forma como os recursos são alocados, o que pode estar relacionado ao perfil dos sistemas fragmentados de saúde da ALC (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2023). O tratamento com radioterapia também é um ponto a ser considerado, já que existe uma discrepância na distribuição de LINAC. Isso é corroborado por Sarria *et al.* (2023), que indicam que a escassez de recursos e a falta de uma força de trabalho qualificada impedem o acesso equitativo aos serviços de radioterapia. Dessa forma, percebe-se a necessidade de ampliar e modernizar a infraestrutura de diagnóstico e tratamento da ALC para garantir que os pacientes oncológicos tenham cuidados adequados e igualitários.

Uma revisão de literatura (Goss *et al.*, 2013) demonstrou que os impactos da colaboração entre a indústria farmacêutica e instituições acadêmicas podem melhorar a qualidade dos estudos clínicos. Esse mesmo estudo destacou a importância do treinamento para jovens pesquisadores e o papel das organizações não governamentais, colaborações e grupos colaborativos de pesquisa para o enfrentamento da crise na região. Acredita-se que essa perspectiva pode ser adotada para o contexto do diagnóstico por imagem oncológica.

A literatura apresenta as seguintes recomendações para lidar com essas dificuldades:

- Identificar áreas prioritárias para investimento e analisar as lacunas entre a oferta e a demanda dos serviços de radioterapia (Sarria *et al.*, 2023).
- Harmonização de informações sobre saúde na região, permitindo uma análise adequada das opções de melhoria nos sistemas de saúde (Barrios *et al.*, 2021).
- O planejamento estratégico deve incluir investimentos em infraestrutura de pesquisa, capacitação profissional e melhorias nos processos regulatórios (Gössling; Rebelatto; Villarreal-Garza, 2023).

- Reestruturar os sistemas de saúde e alocar recursos de forma mais eficaz (Goss *et al.*, 2013).
- Integrar subsistemas de saúde em planejamentos estratégicos, como o Seguro Popular no México, ampliando a cobertura universal dos cuidados (Goss *et al.*, 2013).
- Os sistemas de saúde devem priorizar as doenças não transmissíveis (Goss *et al.*, 2013), no contexto do presente estudo, o câncer.
- Formulação de políticas que visem melhorar a cobertura do atendimento em radioterapia na América Latina (Sarria *et al.*, 2023).
- Otimização dos recursos dos serviços de saúde locais e formação de profissionais preparados para atender a essa demanda pontual, além de ações educativas em saúde nas comunidades indígenas (Aguiar Jr; Stock; Lopes Jr, 2016).
- Fortalecimento da APS e melhora de programas de triagem (Aguiar Jr; Stock; Lopes Jr, 2016).

2.3.9.8 Disponibilidade de equipamentos de imagem e a Portaria n.º 1.631/2015

A *Portaria n.º 1.631/2015* (Brasil, 2015) “aprova critérios e parâmetros para o planejamento e programação de ações e serviços de saúde no âmbito do SUS”. No contexto da presente tese, os critérios e parâmetros utilizados no planejamento em saúde no SUS (Brasil, 2017) definem a quantidade mínima de equipamentos de TC, RM, PET/CT e de médicos nucleares e radiologistas (agrupados em outras especialidades pelo CBO) para atender à população brasileira de forma satisfatória, considerando a área geográfica e a densidade populacional como critérios para garantir o acesso aos exames, principalmente em casos de urgência e emergência.

Sendo assim, no que concerne à TC, estabelece-se que a área de cobertura máxima de um equipamento deve ser de 75 km de raio ou um tomógrafo para cada 100 mil habitantes, adotando-se o critério que for atingido primeiro. Essa distribuição visa garantir um serviço eficiente, assegurando o acesso oportuno ao exame, especialmente em situações de urgência e emergência (Brasil, 2017).

Quanto a RM, estima-se a necessidade de 30 exames anuais para cada 1.000 habitantes, sendo fundamental que a localização dos aparelhos permita um deslocamento máximo de 60 minutos ou uma distância de até 30 km. No que tange ao PET/CT, a recomendação é de uma unidade para cada 1,5 milhão de habitantes, considerando-se a meia-vida do radiofármaco utilizado, como o FDG, que é de aproximadamente 110 minutos, de modo que o transporte do insumo não ultrapasse duas horas. Adicionalmente, para a adequada realização dos exames de PET/CT, a disponibilidade de médicos nucleares é um fator determinante, sendo estimada uma razão de 0,5 especialistas para cada 100 mil habitantes, correspondendo a um profissional para cada 200 mil habitantes (Brasil, 2017).

A *Portaria n.º 1.631/2015* (Brasil, 2015), apesar de ser uma legislação brasileira, ou seja, elaborada para um contexto específico, pode servir como referência inicial para outros países da ALC, principalmente para aqueles que não possuem legislação específica sobre a disponibilidade de equipamentos de imagem, considerando as particularidades locais e regionais. Vale destacar que essa portaria considera somente a disponibilidade de equipamentos, mas não aborda aspectos como a qualidade dos serviços, capacitação profissional e acesso da população aos serviços de imagem. De qualquer maneira, parece fundamental que ela seja integrada a outras políticas de saúde, como a estratégia ativa de rastreamento por TCBD proposta no presente modelo.

Ao considerar os dados da presente tese, observa-se que a densidade de TC no Brasil varia entre 20 e 30 por milhão de habitantes (2 a 3 por 100.000), enquanto a densidade de RM varia entre 15 e 30 por milhão (1,5 a 3 por 100.000), sendo superior às metas estabelecidas. Por outro lado, o estudo de Alencar *et al.* (2024), que utilizou essa portaria como base para analisar a distribuição de equipamentos de TC e de RM nas cinco regiões brasileiras entre 2015 e 2021, comparando os setores público e privado, concluiu que **o sistema público não atingiu as metas estabelecidas de 10 tomógrafos e 6 aparelhos de RM por milhão de habitantes** (1 e 0,6 a cada 100.000, respectivamente), enquanto o setor privado superou essas metas — com exceção da Região Nordeste, no que se refere à RM. Portanto, isso evidencia que estratégias de gestão em saúde podem se beneficiar da parceria entre as redes pública e privada para atender às necessidades locais de diagnóstico por imagem.

2.4 Resultados e discussão da análise bibliométrica

Esta seção apresenta uma análise bibliométrica de artigos recuperados da base de dados Scopus, sobre o uso da IA, como técnicas de classificação e segmentação automática de tumores por meio da TC e da RM. Foram apresentados os dados gerais da amostra para a compreensão dos elementos constituintes dessa produção científica, como a quantidade de autores, periódicos e referências, além da distribuição da produção ao longo do tempo.

Em seguida, a análise de performance apresentou dados que expressam a produtividade e influência nesse campo, como autores, periódicos, países e as relações que se formam entre si. No mapeamento científico, foram aplicadas técnicas que proporcionaram um olhar completo sobre as tendências atuais de pesquisa. Foram adicionados elementos qualitativos com base nos *clusters*, para ampliar a compreensão e a discussão da análise.

2.4.1 Parte I: análise descritiva

Na presente análise bibliométrica retrospectiva da literatura, abrangendo o período de 1997 a 2024 (data da pesquisa), foi identificado um total de 724 artigos. Desses, 653

(90,19%) foram publicados a partir de 2019.

2.4.1.1 *Dados gerais da amostra*

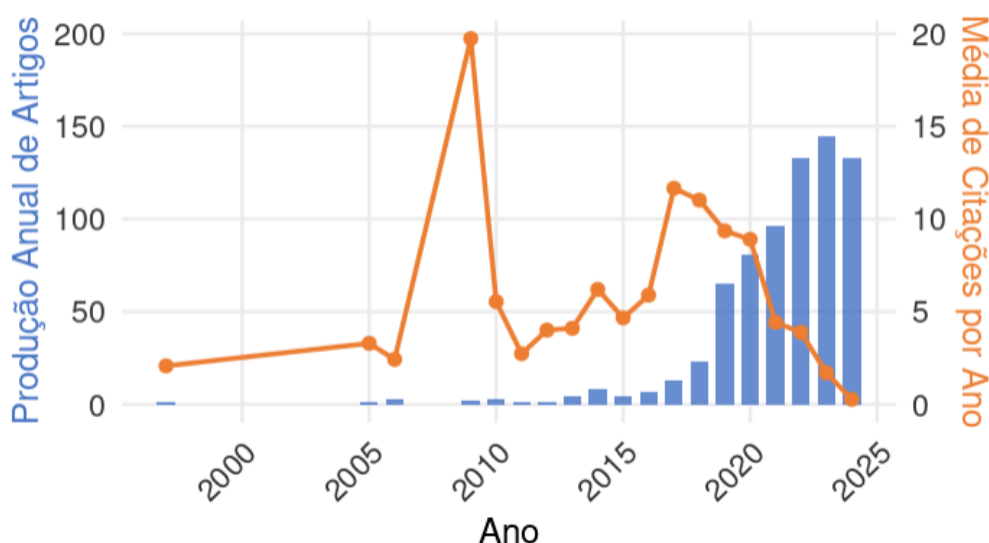
A tabela 5 apresenta os dados gerais da amostra, permitindo identificar métricas preliminares, como o número de artigos da amostra, o período em que foram publicados, o número de autores e a taxa de coautorias internacionais.

Tabela 5 — Dados gerais da amostra	
Informações Principais Sobre os Dados	Resultados
Período	1997:2024
Periódicos	257
Documentos	724
Taxa de crescimento anual %	19,86
Idade média dos documentos	3,75
Média de citações por documento	27,21
Referências	26.293
Palavras-chave adicionais	3.958
Palavras-chave do autor	1.510
Autores	4.036
Documentos (artigos) com um único autor	7
Coautores por documento	7,53
Coautorias internacionais %	31,35

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Com base na idade média dos documentos, de 3,75 anos, a maioria dos artigos foi publicada nos quatro últimos anos, reforçando que se trata de um tema com grande interesse em pesquisas recentes. A análise revela uma taxa de crescimento anual de 19,86%, onde a produção de artigos aumentou de um artigo, publicado em 1997, para 133 em 2024, com um pico de 145 artigos em 2023. No entanto, entre 1998 e 2008, houve um hiato de publicações, com nove anos sem registros na amostra ($n = 0$). A partir de 2018, a taxa de citações apresentou uma queda, possivelmente devido ao tempo insuficiente para que os artigos acumulassem um número significativo de citações. O gráfico da figura 16 apresenta a evolução da produção ao longo do tempo, em relação à taxa média de citações por ano.

Figura 16 — Produção científica e citações ao longo do tempo



Fonte: O autor (2024).

O artigo mais antigo disponível na amostra, *Neural Networks for the Analysis of Small Pulmonary Nodules* (Henschke *et al.*, 1997), foi publicado no *Clinical Imaging*, com um TCit = 60. Pode-se afirmar que esse estudo representa uma das bases do uso da IA no diagnóstico automático do câncer de pulmão. A pesquisa demonstra como técnicas de redes neurais, como o S-MODALS (*Statistical-Multiple Object Detection and Location System* — Sistema Estatístico de Detecção e Localização de Múltiplos Objetos), podem ser aplicadas para aumentar a precisão na classificação de nódulos pulmonares, reduzindo potencialmente biópsias desnecessárias e contribuindo para diagnósticos mais rápidos, precisos e precoces do câncer de pulmão.

É relevante destacar o pico de citações em 2009 na figura 16, sugerindo a ocorrência de um evento ou publicação de grande impacto naquele ano. Ao analisar os dados, identificaram-se dois artigos publicados naquele ano, os quais: (i) *Classification of brain tumor type and grade using MRI texture and shape in a machine learning scheme* (Zacharaki *et al.*, 2009), publicado na *Magnetic Resonance in Medicine* (TCit = 649); e (ii) *Computer-aided detection for the identification of pulmonary nodules in pediatric oncology patients: initial experience* (Helm *et al.*, 2009), publicado na *Pediatric Radiology* (TCit = 22). Assim, pode-se afirmar que o *outlier* (valor atípico) da amostra foi ocasionado pelo estudo de Zacharaki *et al.* (2009), indicando sua relevância e o interesse da época pelo uso do *machine learning* na classificação de tumores cerebrais.

2.4.2 Parte II: análise de performance

2.4.2.1 Autores e colaborações entre países

A produção científica da amostra envolveu 4.036 autores, com uma média de 7,53 coautores por artigo, além de sete autores com documentos de autoria única. Entre os cinco autores com maior *h-index*, destaca-se em primeiro lugar Zhang H, seguido de Zhang L, ambos com *h-index* = 10. Dentre os autores mais prolíficos da amostra, destacam-se Wang Y ($n = 19$, 2,6%), que não apareceu na classificação dos cinco autores com maior *h-index*, empatado com Zhang H ($n = 19$, 2,6%), seguido de Wang L ($n = 16$, 2,2%). A tabela 6 apresenta os dados dos cinco principais autores da amostra com base no *h-index*.

Tabela 6 — Os cinco autores com maior *h-index* da amostra

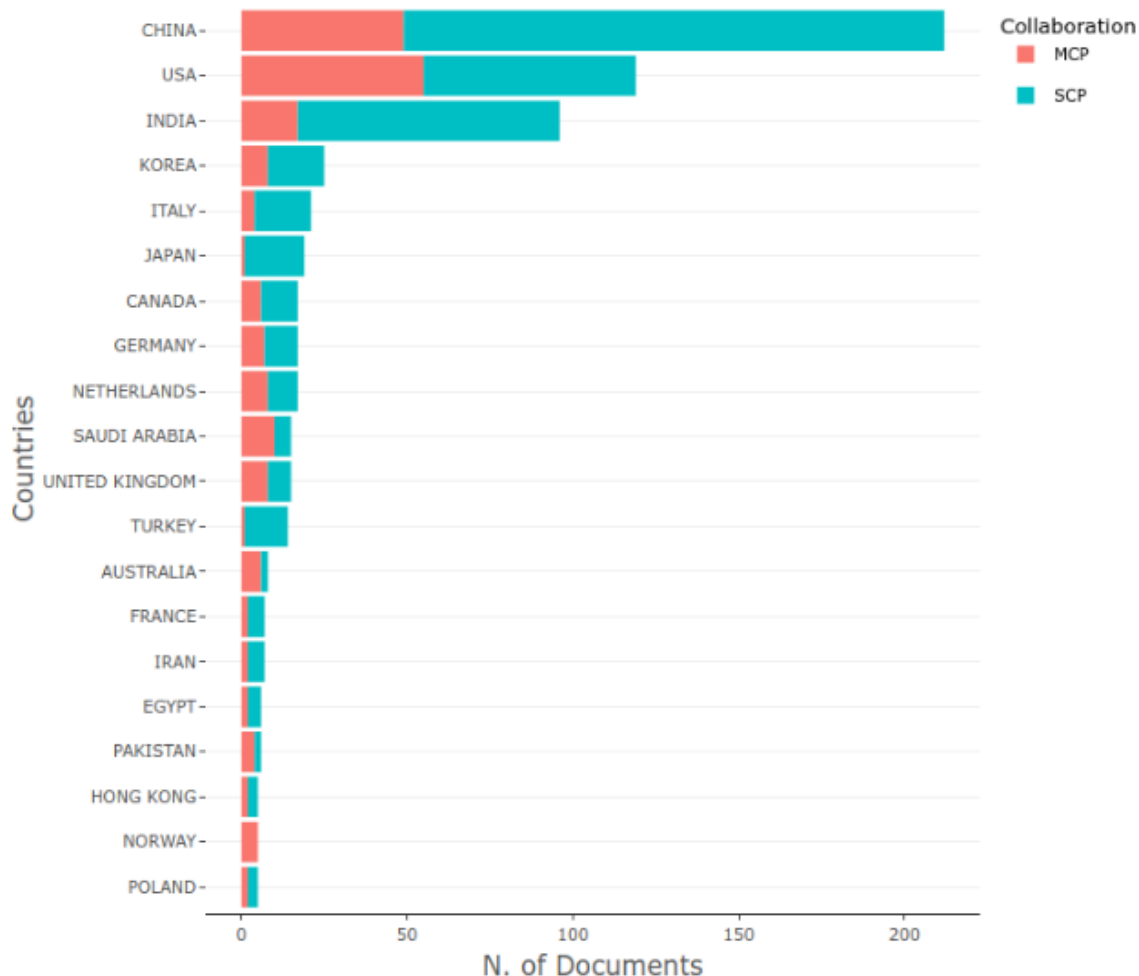
<i>Rank</i>	<i>Autor</i>	<i>h-index</i>	<i>g-index</i>	<i>m-index</i>	TCit	TP	Ano Inicial
1	Zhang H	10	17	0,500	294	19	2006
2	Zhang L	10	13	1,429	316	13	2019
3	Zhang Y	9	14	1,125	478	14	2018
4	Chen X	8	14	1,333	342	14	2020
5	Li X	8	15	0,615	295	15	2013

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: *g-index* = Índice g; *h-index* = Índice h; *m-index* = Índice m; TCit = Total de Citações; TP = Total de Publicações.

Foi realizada uma análise da produção com foco nos autores correspondentes e nos países de origem das publicações. A análise subdivide-se em publicações produzidas por autores de um único país e publicações resultantes de colaborações internacionais. A taxa de coautorias internacionais foi de 31,35%, sugerindo que as pesquisas possuem uma abertura à colaboração global, embora a produção de autoria única ainda represente a maioria do panorama. A figura 17 mostra o equilíbrio entre pesquisa individual e colaboração internacional na distribuição da produção entre países.

Figura 17 — Produção única e produção colaborativa entre os países



Fonte: Dados da pesquisa analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017). Nota: SCP = *Single Country Publications* (Publicações de um Único País); MCP = *Multiple Country Publications* (Publicações de Múltiplos Países).

Os dados da tabela 7 indicam que a China lidera a produção científica em IA aplicada à TC e RM no diagnóstico oncológico ($n = 212$), com a maioria de suas publicações sendo nacionais (76,89%). Os EUA, embora também possuam a maioria da sua produção mantida localmente (53,78%), apresentam a maior taxa de colaborações internacionais (46,2%) dentro da sua produção, indicando uma abordagem mais cooperativa comparado à China. A Índia segue um padrão semelhante ao da China, com predominância de publicações nacionais (82,3%). Já a Coreia e a Itália, apesar do menor número de estudos, apresentam índices mais equilibrados entre produção nacional e colaborativa, sugerindo que parcerias internacionais podem ser uma estratégia para ampliar o impacto científico na área.

Tabela 7 — Os cinco países mais prolíficos da amostra

<i>Rank</i>	País	Artigos	% de 724	SCP	MCP	MCP %
1	China	212	29,3	163	49	23,1
2	EUA	119	16,4	64	55	46,2
3	Índia	96	13,3	79	17	17,7
4	Coreia	25	3,5	17	8	32
5	Itália	21	2,9	17	4	19

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: EUA = Estados Unidos da América; SCP = *Single Country Publications* (Publicações de um Único País);

MCP = *Multiple Country Publications* (Publicações de Múltiplos Países).

Além da produtividade, analisou-se a influência, consoante o TCit, liderado pelos EUA, enquanto o Vietnã lidera na média de citações por artigo. O TCit reflete a produção científica pelo alcance cumulativo de um país, enquanto a média de citações por artigo destaca o impacto individual. Assim, enquanto EUA, China e Índia dominam quantitativamente, Vietnã, Bélgica e Iêmen se destacam pelo reconhecimento de seus artigos. A tabela 8 apresenta os dados do TCit e das médias de citações por artigo, classificados em ordem decrescente em cada uma dessas métricas.

Tabela 8 — Os cinco países mais citados da amostra

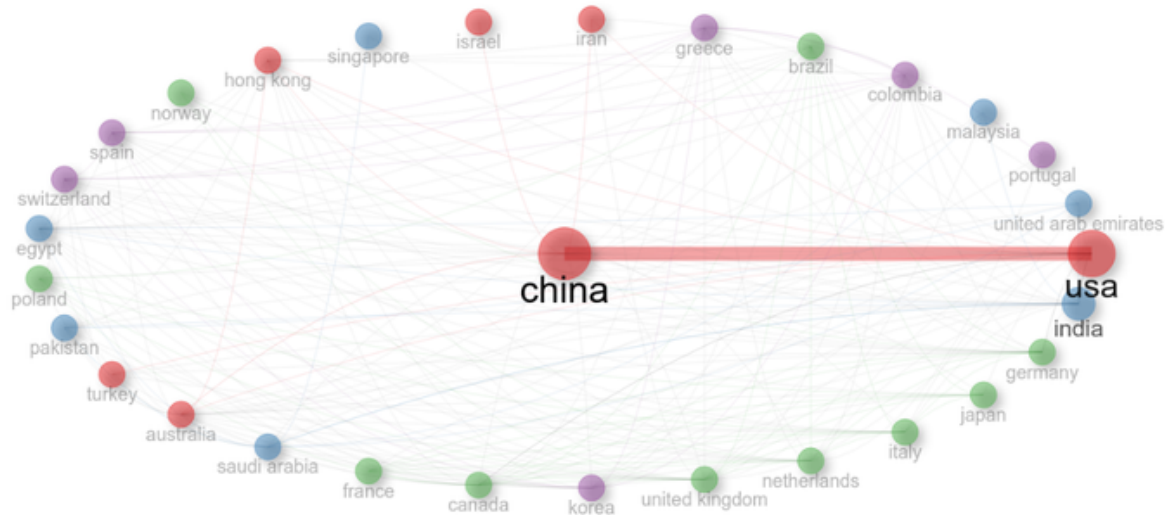
Rank	Classificação por TCit		Classificação por MCA			
	País	TCit	MCA	País	TCit	MCA
1	EUA	5.820	48,9	Vietnã	118	118
2	China	4.652	21,9	Bélgica	227	113,5
3	Índia	1.187	12,4	Iêmen	67	67
4	Países Baixos	984	57,9	Paquistão	363	60,5
5	Turquia	736	52,6	Benim	58	58

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: TCit = Total de Citações; MCA = Média de Citações por Artigo.

A figura 18 apresenta a rede de colaboração entre os 30 principais países. Cada cor representa um *cluster*, e as linhas (fitas) indicam as relações entre eles. Quanto mais espessas forem as linhas, mais forte é a relação. Os parâmetros utilizados para configurar a rede foram: *Field* (Campo) = *Countries*; *Clustering Algorithm* (Algoritmo de Agrupamento) = *Louvain*; Número de Nós (países) = 30; Normalização = Associação; *Layout* da Rede = *Star*; Força de repulsão = 0,1.

Figura 18 — Rede de colaboração formada entre os 30 países mais proeminentes



Fonte: Dados da pesquisa analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

A colaboração entre os países é uma importante troca de conhecimentos e recursos na pesquisa científica, impulsionando diversos avanços no conhecimento global e fortalecendo as relações científicas. Dentre as cinco principais colaborações globais (Tabela 9), três (60%) partiram dos EUA. As três primeiras se concentraram entre os países mais produtivos da amostra, com o surgimento do Canadá em parceria com os EUA.

Tabela 9 — As cinco colaborações internacionais mais frequentes entre países

Origem	D	Frequência
China	EUA	49
EUA	Canadá	12
EUA	Índia	12
EUA	Alemanha	11
Índia	Arábia Saudita	10

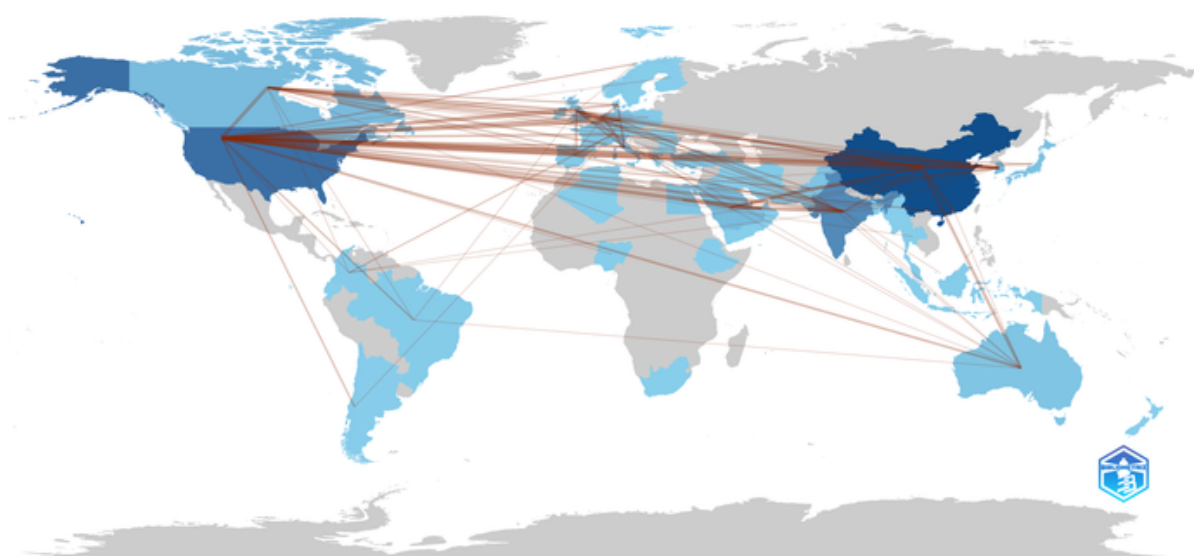
Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Os dados indicam que os EUA são um grande centro de desenvolvimento e pesquisa nessa área, e que suas instituições colaboram frequentemente com países internacionais. A presença dos três países mais produtivos da amostra indica que países com maior capacidade de pesquisa tendem a colaborar mais entre si. A colaboração dos EUA com parceiros como a Índia e a Alemanha pode estar relacionada à busca pela diversificação de mercados e acesso a diferentes áreas de conhecimento.

No total, foram identificadas 390 colaborações com duas ou mais publicações. Na América do Sul, vale destacar o Brasil, com um total de 24 colaborações, sendo que sete

colaborações únicas partiram desse país para diversos países, como Áustria, Chile, Colômbia, República Tcheca, Equador, Luxemburgo e Nigéria. As colaborações mais frequentes do Brasil partiram dos EUA (3), Austrália (2), Canadá (2) e Reino Unido (2). A figura 19 ilustra o mapa global da colaboração na produção científica sobre o tema investigado.

Figura 19 — Mapa global da colaboração científica



Fonte: Dados da pesquisa analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

A colaboração entre a Índia e a Arábia Saudita pode estar relacionada a interesses comuns nas áreas de tecnologia. Um estudo é necessário para compreender a natureza e a motivação das colaborações.

2.4.2.2 Colaborações entre as instituições

Em relação às instituições, a University of California (EUA) é a afiliação mais relevante dos autores, com base no número de artigos publicados ($n = 65$), seguida da Southern Medical University (China) ($n = 62$) e da Stanford University (EUA) ($n = 58$). A tabela 10 destaca a presença dos EUA e da China, reafirmando o interesse desses países em investir em pesquisas sobre IA em diagnóstico por imagem oncológica, com ênfase em TC e RM. Uma lista com as cinco principais instituições, com a University of California em primeiro lugar, é apresentada na tabela 10.

Tabela 10 — As cinco instituições mais prolíficas

<i>Rank</i>	Instituição	País	TP
1	University Of California	EUA	65
2	Southern Medical University	China	62
3	Stanford University	EUA	58
4	Capital Medical University	China	43
5	Radboud University Medical Center	Países Baixos	42

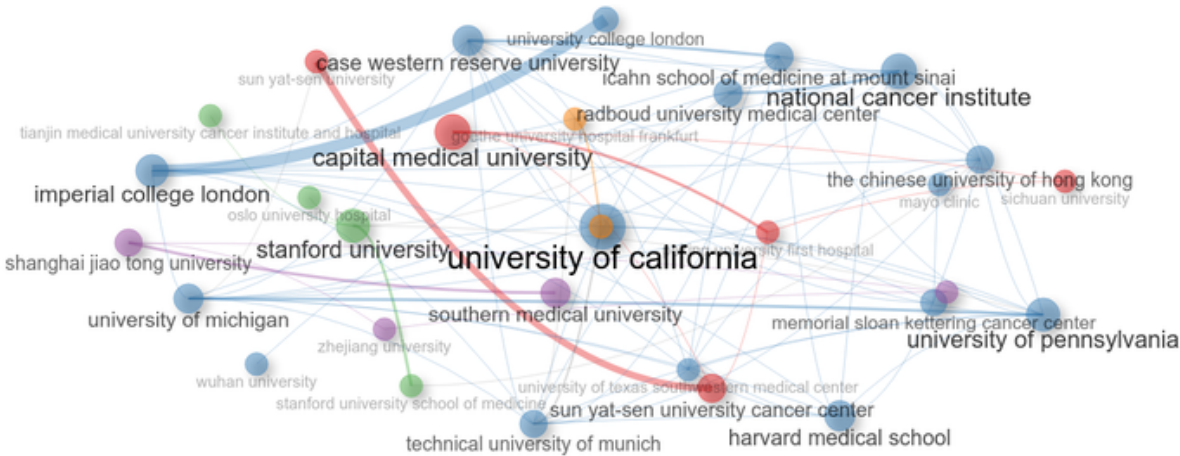
Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: TP = Total de Publicações.

Foram identificadas 1.368 instituições, envolvidas na produção dos 724 artigos foram publicados. Isso sugere que alguns artigos foram atribuídos a múltiplas instituições simultaneamente, devido à colaboração entre instituições ou à múltipla afiliação de alguns autores. Mesmo uma correção manual seria impraticável, dada a quantidade de autores com múltiplas afiliações. Portanto, apesar do rigor metodológico, os dados da tabela 10 podem não refletir com precisão a realidade.

A figura 20 mostra a rede de colaboração formada entre as 24 principais instituições, distribuídas em seis *clusters* distintos. Cada cor representa um *cluster*, e as linhas (fitas) indicam as relações entre eles. Quanto mais espessas forem as linhas, mais forte é a relação. Os parâmetros utilizados para configurar a rede foram: Campo = Instituições; Algoritmo de Agrupamento = *Louvain*; Número de Nós (instituições) = 30 (entretanto, foram identificados 24 para essa configuração); Normalização = Associação; *Layout* da Rede = *Sphere*; Força de repulsão = 0,1.

Figura 20 — Rede de colaboração entre as instituições dos autores



Fonte: Dados da pesquisa analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

A análise das conexões formadas pelas colaborações entre as instituições revela a

University of California como um nó central, com um valor de *betweenness* de 3.500, indicando sua importância como ponte entre diferentes grupos de pesquisa. Universidades como Stanford (*betweenness* = 21.733) e Harvard Medical School (*closeness* = 0,024) também se destacam por suas múltiplas conexões, assim como instituições chinesas como a Shanghai Jiao Tong University (*Cluster* 2) e a Tianjin Medical University Cancer Institute and Hospital (*Cluster* 3). Essa rede demonstra a forte tendência colaborativa entre instituições de ensino superior em pesquisa e desenvolvimento, com implicações para a produção de conhecimento global sobre o tema em questão.

2.4.2.3 Literatura mais relevante

Destacam-se os dez principais artigos sob duas perspectivas distintas: *ranking* global pelo TCit (Tabela 11) e *ranking* global do Total de Citações Normalizadas (TCN) (Tabela 12).

A análise dos títulos dos artigos mais citados (Tabela 11) revela a versatilidade do uso de IA no diagnóstico por imagem oncológica, com ênfase em TC e RM, com aplicações que vão desde a segmentação de órgãos até a detecção e classificação do câncer. A automatização dos processos sugere o suporte dessa tecnologia em diagnósticos cada vez mais ágeis.

O artigo *Classification of brain tumor type and grade using MRI texture and shape in a machine learning scheme* (Zacharaki et al., 2009) teve o maior número de TCit (649), enquanto *Wavelet U-Net++ for accurate lung nodule segmentation in CT scans: improving early detection and diagnosis of lung cancer* (Agnes; Solomon; Karthick, 2024) registrou o maior TCit Normalizadas (TCN) (13,69).

Tabela 11 — Os 10 artigos com maior Total de Citações (continua)

<i>Rank</i>	<i>Título</i>	<i>Periódico</i>	<i>TCit</i>	<i>TCA</i>	<i>TCN</i>
1	<i>Classification of brain tumor type and grade using MRI texture and shape in a machine learning scheme</i> (Zacharaki et al., 2009)	<i>Magnetic Resonance in Medicine</i>	649	38,18	1,93
2	<i>Segmentation of organs-at-risks in head and neck CT images using convolutional neural networks</i> (Ibragimov; Xing, 2017)	<i>Medical Physics</i>	406	45,11	3,87
3	<i>Computer-aided detection of prostate cancer in MRI</i> (Litjens et al., 2014)	<i>IEEE Transactions on Medical Imaging</i>	373	31,08	5,02
4	<i>Predicting EGFR mutation status in lung adenocarcinoma on computed tomography image using deep learning</i> (Wang et al., 2019)	<i>European Respiratory Journal</i>	295	42,14	4,5

Tabela 11 — Os 10 artigos com maior Total de Citações (conclusão)

Rank	Título	Periódico	TCit	TCA	TCN
5	<i>Towards automatic pulmonary nodule management in lung cancer screening with deep learning</i> (Ciompi et al., 2017)	<i>Scientific Reports</i>	273	30,33	2,6
6	<i>Predicting malignant nodules from screening CT scans</i> (Hawkins et al., 2016)	<i>Journal of Thoracic Oncology</i>	227	22,7	3,86
7	<i>Automated lung nodule detection and classification using deep learning combined with multiple strategies</i> (Nasrullah et al., 2019)	<i>Sensors</i>	227	32,43	3,46
8	<i>Machine learning-based radiomics for molecular subtyping of gliomas</i> (Lu et al. 2018)	<i>Clinical Cancer Research</i>	221	27,63	2,51
9	<i>Deep learning for lung cancer detection and classification</i> (Asuntha; Srinivasan, 2020)	<i>Multimedia Tools and Applications</i>	202	33,67	3,78
10	<i>Computer-assisted decision support system in pulmonary cancer detection and stage classification on CT images</i> (Masood et al., 2018)	<i>Journal of Biomedical Informatics</i>	193	24,13	2,19

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: TCit = Total de Citações; TCA = Total de Citações por Ano; TCN = Total de Citações Normalizadas.

A análise dos títulos da tabela 12 confirma a tendência observada sobre o avanço das técnicas de *deep learning* aplicadas à análise de imagens médicas e destaca as principais tendências e áreas de interesse dentro do campo investigado. Observa-se nos títulos dos artigos da tabela 12 uma ênfase no desenvolvimento de modelos para detecção e diagnóstico de câncer de pulmão, mama, pâncreas e cérebro, com foco na precisão dos algoritmos, na automação dos processos e na melhoria da acurácia dos exames.

Tabela 12 — Os 10 artigos com maior Total de Citações Normalizadas (continua)

Rank	Título	Periódico	TCit	TCA	TCN
1	<i>Wavelet U-Net++ for accurate lung nodule segmentation in CT scans: Improving early detection and diagnosis of lung cancer</i> (Agnes; Solomon; Karthick, 2024)	<i>Biomedical Signal Processing and Control</i>	7	3,5	13,69

Tabela 12 — Os 10 artigos com maior Total de Citações Normalizadas (conclusão)

Rank	Título	Periódico	TCit	TCA	TCN
2	<i>Pancreatic cancer detection on CT scans with deep learning: a nationwide population-based study</i> (Chen <i>et al.</i> , 2023)	<i>Radiology</i>	51	17	9,98
3	<i>MRI-based breast cancer classification and localization by multiparametric feature extraction</i> (Cong <i>et al.</i> , 2024)	<i>Journal of Magnetic Resonance Imaging</i>	4	2	7,82
4	<i>Medical image segmentation for lung cancer diagnosis based on deep learning architectures</i> (Said <i>et al.</i> , 2023)	<i>Diagnostics</i>	33	11	6,46
5	<i>Brain tumor detection and multi-classification using advanced deep learning techniques</i> (Sadad <i>et al.</i> , 2021)	<i>Microscopy Research and Technique</i>	131	26,2	5,93
6	<i>The International Association for the Study of Lung Cancer Early Lung Imaging Confederation open-source deep learning and quantitative measurement initiative</i> (Lam <i>et al.</i> , 2024)	<i>Journal of Thoracic Oncology</i>	3	1,5	5,87
7	<i>Impact of deep learning on radiologists and radiology residents in detecting breast cancer on CT: a cross-vendor test study</i> (Yasaka <i>et al.</i> , 2024)	<i>Clinical Radiology</i>	3	1,5	5,87
8	<i>Categorization with segmentation of improved unsupervised clustering approach and machine learning classifier</i> (Bhimavarapu; Chintalapudi; Battineni, 2024)	<i>Bioengineering</i>	3	1,5	5,87
9	<i>Ensemble methods for computed tomography scan images to improve lung cancer detection and classification</i> (Quasar <i>et al.</i> , 2024)	<i>Multimedia Tools and Applications</i>	3	1,5	5,87
10	<i>A novel deep learning architecture for lung cancer detection and diagnosis from Computed Tomography image analysis</i> (Crasta; Neema; Pais, 2024)	<i>Healthcare Analytics</i>	3	1,5	5,87

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: TCit = Total de Citações; TCA = Total de Citações por Ano; TCN = Total de Citações Normalizadas.

A ausência do termo “rastreamento” nos títulos classificados pelo TCN sugere que os artigos que abordam diretamente o rastreamento aparecem entre os mais citados em termos

absolutos (Tabela 11). Embora os avanços tecnológicos estejam diretamente ligados ao diagnóstico precoce, o enfoque dos estudos está mais centrado no desenvolvimento e validação de modelos do que na aplicação direta em programas populacionais de rastreamento.

2.4.2.4 Periódicos mais relevantes

Foram identificados 257 periódicos. A classificação dos periódicos conforme as três zonas, distribuição de periódicos, artigos e autores, segundo a *Lei de Bradford*, é apresentada na tabela 13.

Tabela 13 — Distribuição dos elementos segundo a *Lei de Bradford*

Zona	Periódicos (%)	Artigos (%)	Autores (%)
Zona 1	14 (5,44%)	243 (33,56%)	1.498 (37,11%)
Zona 2	50 (19,45%)	244 (33,70%)	1.149 (28,46%)
Zona 3	193 (75,09%)	237 (32,73%)	1.389 (34,41%)

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: Observa-se que os valores percentuais podem apresentar variações em razão de arredondamentos.

A distribuição da produção dos artigos é equilibrada, e a produtividade segue a previsão da *Lei de Bradford*. Um exemplo similar, em relação a artigos e periódicos, foi descrito por Guimarães, Moreira e Bezerra (2021), em uma análise bibliométrica sobre modelos de inovação. Além disso, os dados analisados em nosso artigo (Celestino *et al.*, 2024b, p. 13432) reforçam essa observação.

Os periódicos da Zona 1, apesar de representarem a menor parcela da amostra, são responsáveis praticamente um terço da produção científica. Em contrapartida, a Zona 3, que reúne a maioria dos periódicos, produziu uma quantidade ligeiramente menor de artigos. Isso indica que, embora a Zona 3 compreenda o maior número de periódicos, a Zona 1 se destaca proporcionalmente, sendo mais eficiente em termos de produção científica, concentrando uma produção significativa em um número reduzido de periódicos.

Com base na perspectiva da *Lei de Bradford*, foram identificados 14 periódicos (5,44%) como *Core Sources* (fontes principais), responsáveis pela produção de 243 artigos (33,56%), escritos por um total de 1.498 autores (37,11%). Dentre os três mais produtivos, destacam-se o *European Radiology* ($n = 33$), o *Medical Physics* ($n = 22$) e o *Diagnostics* ($n = 21$).

A tabela 14 apresenta o *ranking* desses periódicos, incluindo os dados de frequência (quantidade de artigos publicados) e frequência acumulada (soma da frequência do periódico em questão com a dos periódicos anteriormente mais produtivos).

Tabela 14 — Periódicos classificados na Zona 1 pela *Lei de Bradford*

Rank	Periódico	País	Frequência	Freq. Ac.
1	<i>European Radiology</i>	Alemanha	33	33
2	<i>Medical Physics</i>	EUA	22	55
3	<i>Diagnostics</i>	Suíça	21	76
4	<i>Biomedical Signal Processing and Control</i>	Países Baixos	19	95
5	<i>Journal of Magnetic Resonance Imaging</i>	EUA	18	113
6	<i>Academic Radiology</i>	EUA	16	129
7	<i>Cancers</i>	Suíça	15	144
8	<i>Frontiers in Oncology</i>	Suíça	15	159
9	<i>IEEE Access</i>	EUA	15	174
10	<i>Medical Image Analysis</i>	Países Baixos	15	189
11	<i>Scientific Reports</i>	Reino Unido	15	204
12	<i>Computers in Biology and Medicine</i>	Reino Unido	14	218
13	<i>Computational and Mathematical Methods in Medicine</i>	EUA	13	231
14	<i>Computer Methods and Programs in Biomedicine</i>	Irlanda	12	243

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: Freq. Ac. = Frequência Acumulada.

Os periódicos podem ser classificados com base em métricas e indicadores. Dentre os periódicos mais citados localmente (a partir das listas de referências da própria amostra), mantém-se *European Radiology* em primeiro no *ranking* nas quatro métricas: *h-index* (22), *g-index* (33), *m-index* (3,143) e TCit (1.337). Isso reforça a importância deste periódico na divulgação de pesquisas sobre o tema consistentemente, com impacto ao longo do tempo. Destacam-se, ainda, no *h-index* o *Journal of Magnetic Resonance Imaging* (*h-index* = 13) e o *Academic Radiology* (*h-index* = 12). Metade dos 10 principais periódicos é dos EUA, reforçando a importância desse país no cenário científico do campo investigado.

A tabela 15 apresenta os 10 principais periódicos, destacando seu impacto local (na própria amostra), métricas e índices que avaliam a produtividade e a influência científica, como TP, TCit, e *h-*, *g-* e *m-index*. A apresentação foi realizada com base na classificação mais alta do *h-index*. Note que a classificação por outras métricas pode modificar as posições dos periódicos. Optou-se por utilizar essa métrica, pois representa a produtividade e a influência do periódico simultaneamente.

Tabela 15 — Os 10 periódicos mais influentes

<i>Rank</i>	<i>Periódico</i>	<i>País</i>	<i>h-index</i>	<i>g-index</i>	<i>m-index</i>	<i>TCit</i>	<i>TP</i>
1	<i>European Radiology</i>	Alemanha	22	33	3,143	1.337	33
2	<i>Journal of Magnetic Resonance Imaging</i>	EUA	13	18	0,813	773	18
3	<i>Academic Radiology</i>	EUA	12	16	0,600	402	16
4	<i>Medical Image Analysis</i>	Países Baixos	11	15	0,688	530	15
5	<i>Medical Physics</i>	EUA	11	22	1,0	850	22
6	<i>IEEE Transactions On Medical Imaging</i>	EUA	10	12	0,476	1.189	12
7	<i>Computerized Medical Imaging and Graphics</i>	Reino Unido	9	12	0,692	321	12
8	<i>Diagnostics</i>	Suíça	9	16	1,5	278	21
9	<i>Biomedical Signal Processing and Control</i>	Países Baixos	8	12	1,6	163	19
10	<i>Computational and Mathematical Methods in Medicine</i>	EUA	8	13	0,8	206	13

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: *g-index* = Índice g; *h-index* = Índice h; *m-index* = Índice m; TCit = Total de Citações; TP = Total de Publicações.

2.4.3 Parte III: mapeamento científico

2.4.3.1 *Palavras-chave mais frequentes*

As palavras-chave dos autores e dos títulos dos artigos foram analisadas para avaliar os diferentes tópicos subjacentes à aplicação da IA em TC e RM, no diagnóstico oncológico. O total de palavras-chave adicionais foi de 3.958, enquanto as palavras-chave dos autores somaram 1.510. A análise das palavras-chave mais frequentes aponta para uma forte tendência no uso de técnicas de IA, com ênfase em *machine learning*, especialmente *deep learning*, para auxiliar no diagnóstico do câncer. O destaque para técnicas como segmentação, detecção e classificação, associadas às modalidades de TC e RM, sugere sua aplicação na tomada de decisão clínica. A tabela 16 lista as 10 principais palavras-chave de cada categoria.

Tabela 16 — Principais palavras-chave dos autores e dos títulos

Autores		Títulos	
Palavras	Ocorrências	Palavras	Ocorrências
<i>Deep learning</i>	234	<i>Cancer</i>	348
<i>Machine learning</i>	97	<i>Learning</i>	268
<i>Lung cancer</i>	83	<i>Deep</i>	243
<i>Radiomics</i>	77	<i>Lung</i>	211
<i>Artificial intelligence</i>	72	<i>Detection</i>	207
<i>Magnetic resonance imaging</i>	70	<i>CT</i>	129
<i>Prostate cancer</i>	65	<i>MRI</i>	125
<i>Computed tomography</i>	52	<i>Segmentation</i>	123
<i>MRI</i>	39	<i>Prostate</i>	121
<i>Segmentation</i>	35	<i>Classification</i>	119

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Em termos de patologias, o câncer de pulmão e o câncer de próstata são mais frequentes entre as palavras dos autores e dos títulos. Nota-se a relação entre a TC e o diagnóstico pulmonar, enquanto a RM é preferida para o estudo de tecidos moles, justificando sua aplicação no diagnóstico do câncer de próstata.

2.4.3.2 Rede de coocorrência de palavras-chave

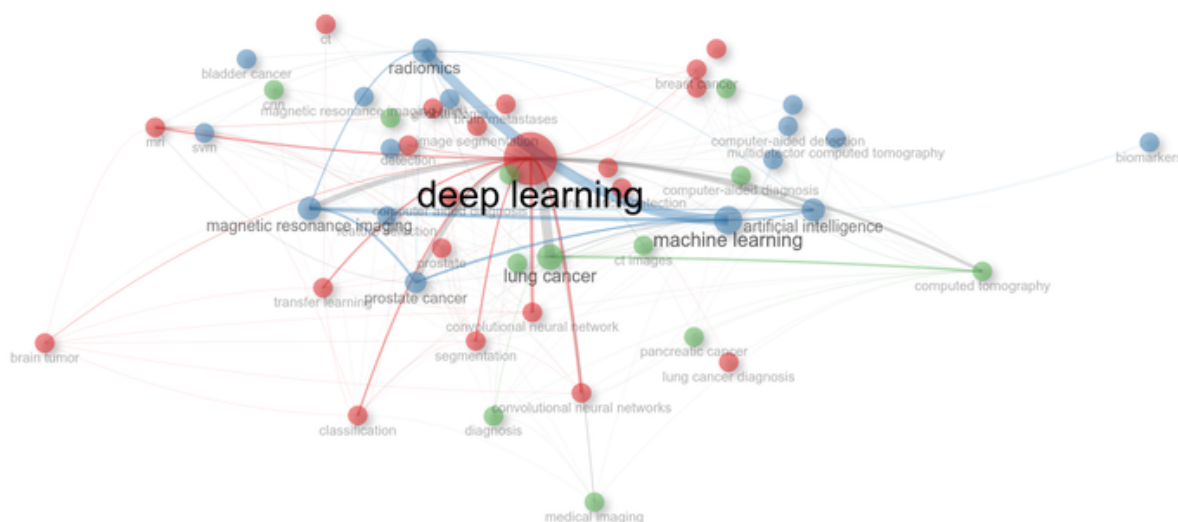
A análise conjunta das redes de coocorrência de palavras-chave dos autores e dos títulos destaca a crescente importância do *machine learning* e *deep learning* no diagnóstico médico, com foco na segmentação de imagens e no uso de RM. Radiômica e IA surgem como aprimoramentos no diagnóstico, especialmente no câncer de pulmão, por meio de TC e redes neurais.

Uma rede de coocorrência de palavras-chave foi gerada para as 50 principais palavras-chave dos autores (foram identificados 49 termos com a configuração aplicada) e títulos dos artigos. Três *clusters* foram identificados nas palavras-chave dos autores: o *Cluster 1* (vermelho) foi liderado por “*deep learning*”, que ocupou o primeiro lugar em todos os três indicadores (*betweenness* = 638,205, *closeness* = 0,019, *pageRank* = 0,173); o *Cluster 2* (azul) foi dominado por “*machine learning*” (*betweenness* = 113,712, *closeness* = 0,014, *pageRank* = 0,072); e o *Cluster 3* (verde) foi encabeçado por “*lung cancer*” (*betweenness* = 62,695, *closeness* = 0,013, *pageRank* = 0,067) (Figura 21).

Na rede ilustrada na figura 21, cada cor representa um *cluster*, e as linhas (fitas) indicam as relações entre eles. Quanto mais espessas forem as linhas, mais forte é a relação.

Os parâmetros utilizados para configurar a rede foram: Campo = Palavras-chave dos Autores; Algoritmo de Agrupamento = *Louvain*; Número de Nós (palavras-chave) = 50 (entretanto, foram identificados 49); Normalização = Associação; *Layout* da Rede = *MultiDimensional Scaling*; Força de Repulsão = 0,1; Remoção de Nós Isolados = Sim; Número Mínimo de Arestas = 2.

Figura 21 — Rede de coocorrência de palavras-chave dos autores

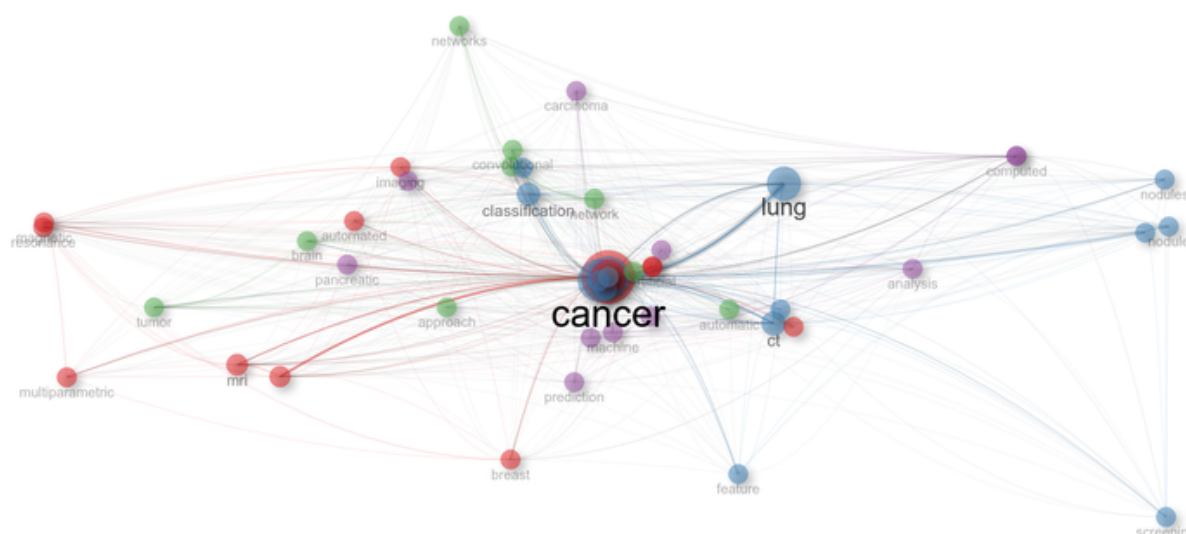


Fonte: Dados da pesquisa analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Já nas palavras-chave dos títulos, foram identificados quatro *clusters*. O *Cluster 1* (vermelho) foi liderado pela palavra “*cancer*,” que ocupou o primeiro lugar em todos os três indicadores (*betweenness* = 74,933, *closeness* = 0,020, *pageRank* = 0,076); o *Cluster 2* (azul) foi dominado por “*learning*” (*betweenness* = 35,478, *closeness* = 0,020, *pageRank* = 0,059); o *Cluster 3* (verde) foi encabeçado por “*segmentation*” (*betweenness* = 6,996, *closeness* = 0,019, *pageRank* = 0,026); e o *Cluster 4* (roxo), liderado por “*network*” (*betweenness* = 3,879, *closeness* = 0,018, *pageRank* = 0,025) (Figura 22).

Na rede ilustrada na figura 22, cada cor representa um *cluster*, e as linhas (fitas) indicam as relações entre eles. Quanto mais espessas forem as linhas, mais forte é a relação. Os parâmetros utilizados para configurar a rede foram: Campo = Palavras-chave dos títulos; Algoritmo de Agrupamento = *Louvain*; Número de Nós (palavras-chave) = 50 (entretanto, foram identificados 49); Normalização = Associação; *Layout* da Rede = *MultiDimensional Scaling*; Força de Repulsão = 0,1; Remoção de Nós Isolados = Sim; Número Mínimo de Arestas = 2.

Figura 22 — Rede de coocorrência de palavras dos títulos dos artigos



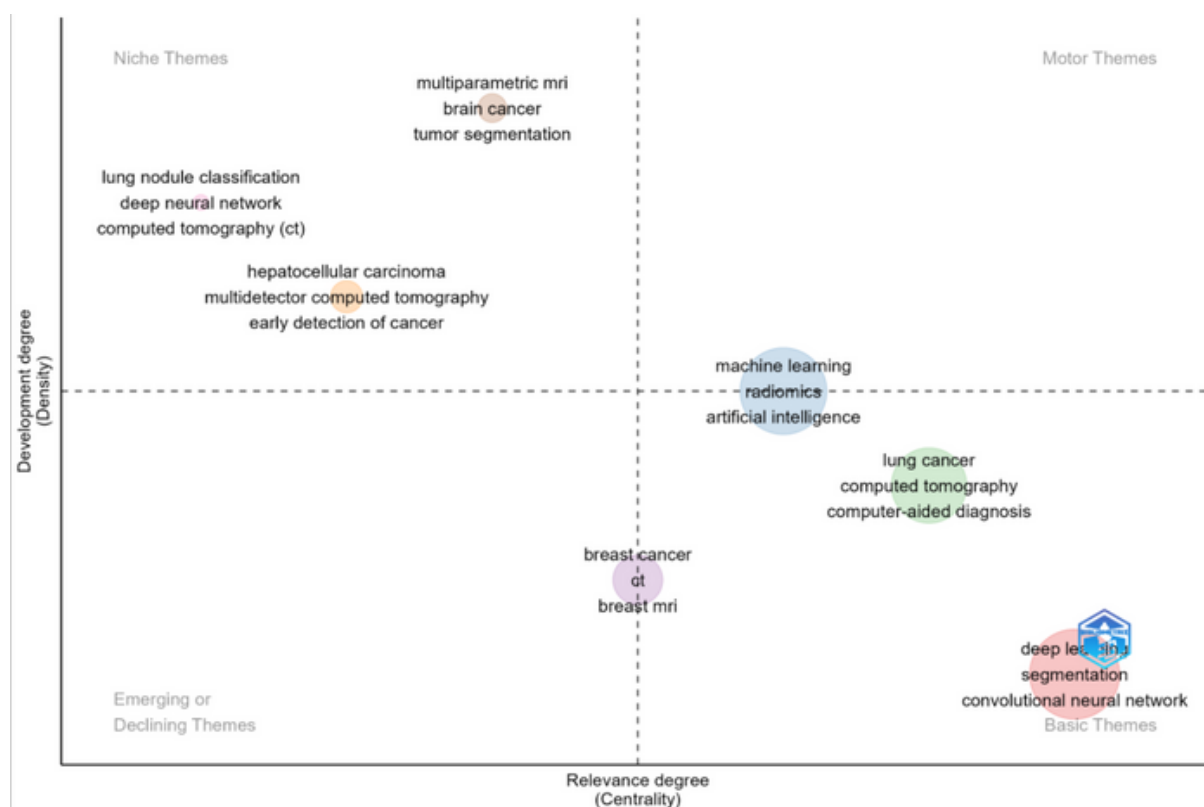
Fonte: Dados da pesquisa analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

2.4.3.3 Mapa temático

O mapa temático foi construído com base nas 250 palavras-chave mais frequentes dos autores²⁶, utilizando o algoritmo *Louvain*. Isso resultou na formação de sete *clusters*, apresentados na figura 23. Cada cor representa um *cluster* e o tamanho dos círculos representa o tamanho de cada *cluster*. A análise dos sete *clusters* por meio da estratégia do diagrama estratégico (Figura 23) (Callon; Courtial; Laville, 1991) oferece uma visão clara das áreas que estão em ascensão, aquelas que precisam de mais atenção e das que estão se tornando obsoletas. Essa categorização é essencial para direcionar esforços de pesquisa e investimento, promovendo um avanço mais eficaz no campo do conhecimento. Essa categorização é essencial para direcionar assertivamente esforços de pesquisa e investimento, promovendo um avanço mais eficaz no campo do conhecimento.

²⁶ A tentativa de reproduzir o mapa temático com os mesmos parâmetros resultou em variações na quantidade de grupos, mas preservando os temas. Essa é, possivelmente, uma limitação do programa. Não identifiquei nenhum relato sobre na literatura isso. De qualquer maneira, as conclusões sobre a análise bibliométrica apoiam-se em outras métricas e técnicas, e não somente nesse mapa temático.

Figura 23 — Mapa temático com base nas palavras-chave dos autores



Fonte: Dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

A análise dos sete *clusters* da figura 23 evidencia áreas consolidadas como o uso de RM na segmentação de tumores cerebrais, embora numa posição periférica, mas com potencial de crescimento. O uso de *deep learning* aparece como tecnologia emergente na detecção de câncer de pulmão e, juntamente a outras técnica como segmentação e CNN aparecem como temas básicos. Por fim, a radiômica se posiciona de forma central no gráfico junto à IA, indicando uma tendência de crescimento e fortalecimento no campo.

2.4.3.4 Acoplamento bibliográfico

Foi aplicado o acoplamento bibliográfico para identificar grupos de artigos que compartilham temas ou tópicos em comum. A tabela 17 foi construída com base em 250 artigos, agrupados por suas referências. Os parâmetros utilizados para configurar o acoplamento bibliográfico foram: Unidade de Análise = Documentos (artigos); Medida de Acoplamento: Referência; Medida de Impacto: Citações Locais; Rótulo do *Cluster* por: Palavras-chave dos Autores; Número de Unidades (artigos): 250; Frequência Mínima do *Cluster*: 5; Algoritmo de Agrupamento: *Louvain*.

Tabela 17 — Grupos formados no acoplamento bibliográfico

Rótulo	Grupo	Freq.	Central.	Imp.
<i>deep learning - conf 36% lung cancer - conf 38.5% convolutional neural network - conf 57.1%</i>	1	83	0,368	1,735
<i>machine learning - conf 46.9% radiomics - conf 48.4% deep learning - conf 10.1%</i>	2	41	0,348	1,684
<i>artificial intelligence - conf 22.6% deep learning - conf 5.6% lung cancer - conf 15.4%</i>	3	18	0,406	1,266
<i>deep learning - conf 16.9% magnetic resonance imaging - conf 18.5% prostate cancer - conf 17.2%</i>	4	40	0,536	1,632
<i>deep learning - conf 5.6% alcd - conf 100% biomedical image processing - conf 50%</i>	5	5	0,195	0
<i>radiomics - conf 19.4% machine learning - conf 12.5% deep learning - conf 2.2%</i>	6	12	0,331	1,169
<i>prostate cancer - conf 48.3% deep learning - conf 13.5% artificial intelligence - conf 25.8%</i>	7	25	0,461	2,872
<i>deep learning - conf 4.5% computed tomography - conf 21.1% machine learning - conf 9.4%</i>	8	11	0,332	1
<i>lung cancer - conf 23.1% deep learning - conf 5.6% artificial neural networks - conf 100%</i>	9	15	0,424	1,959

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: Central. = Centralidade; Freq. = Frequência; Imp. = Impacto.

Segundo Donthu *et al.* (2021), os agrupamentos temáticos se formam com base nas publicações citantes, permitindo que publicações recentes e de nicho ganhem visibilidade por meio do acoplamento bibliográfico (diferentemente da análise de cocitação). A análise do acoplamento bibliográfico possibilitou identificar alguns pontos fundamentais, os quais:

- a. **Tendências emergentes:** (i) **Deep learning e radiômica:** essa combinação emerge como uma tendência proeminente, com diversos artigos explorando a aplicação de redes neurais convolucionais para a análise de imagens no diagnóstico do câncer, como no *Cluster 1*, com alta frequência e impacto, sugerindo um forte interesse pela aplicação do *deep learning* para a detecção do câncer de pulmão. (ii) **Processamento de imagens médicas:** posicionado como tema de alta relevância nas áreas de TC e RM, com artigos que exploram técnicas de extração de informações precisas para os diagnósticos (*Cluster 2*).
- b. **Conexões interdisciplinares:** (i) **Engenharia Biomédica:** existe uma intersecção entre a radiologia e a engenharia biomédica, com artigos explorando o desenvolvimento de novos *softwares* para aquisição e análise de imagens médicas. (ii)

IA: a IA, com ênfase em técnicas de *machine* e *deep learning*, está sendo amplamente aplicada para tarefas como segmentação de imagens, detecção de lesões e diagnóstico assistido por computador.

c. Lacunas de conhecimento: **(i) Aplicações clínicas:** existe uma diversidade de estudos experimentais sobre o desenvolvimento de novas técnicas para análise de imagens no contexto oncológico em TC e RM. Contudo, a literatura carece de pesquisas sobre a aplicação e validação clínica dessas tecnologias. **(ii) Dados de pacientes:** sabe-se que os modelos de IA necessitam de grandes volumes de informações para serem treinados. No entanto, a coleta e o compartilhamento de dados anonimizados dos pacientes podem ser vistos como uma oportunidade de pesquisa, e como um desafio ético e regulatório, especialmente no que se refere à privacidade, segurança e conformidade com legislações vigentes.

Na sequência, a tabela 18 lista os 10 principais artigos sob a perspectiva de maior Pontuação de Citações Locais Normalizadas (PCLN).

Tabela 18 — Os dez artigos mais relevantes do acoplamento bibliográfico (continua)

<i>Rank</i>	<i>Título</i>	<i>Periódico</i>	<i>PCLN</i>	<i>Cluster</i>
1	<i>Deep learning–assisted prostate cancer detection on bi-parametric MRI: minimum training data size requirements and effect of prior knowledge</i> (Hosseinzadeh <i>et al.</i> , 2022)	<i>European Radiology</i>	8,31	7
2	<i>A deep learning-based approach for the detection and localization of prostate cancer in T2 magnetic resonance images</i> (Alkadi <i>et al.</i> , 2019)	<i>Journal of Digital Imaging</i>	4,95	4
3	<i>Toward an expert level of lung cancer detection and classification using a deep convolutional neural network</i> (Zhang <i>et al.</i> , 2019)	<i>The Oncologist</i>	4,33	1
4	<i>External validation of a convolutional neural network artificial intelligence tool to predict malignancy in pulmonary nodules</i> (Baldwin <i>et al.</i> , 2020)	<i>Thorax</i>	3,91	1
5	<i>Clinically significant prostate cancer detection and segmentation in low-risk patients using a convolutional neural network on multi-parametric MRI</i> (Arif <i>et al.</i> , 2020)	<i>European Radiology</i>	3,91	7
6	<i>Prostate cancer classification with multiparametric</i>	<i>Medical Physics</i>	3,71	1

Tabela 18 — Os dez artigos mais relevantes do acoplamento bibliográfico (conclusão)

<i>Rank</i>	<i>Título</i>	<i>Periódico</i>	<i>PCLN</i>	<i>Cluster</i>
	<i>MRI transfer learning model</i> (Yuan <i>et al.</i> , 2019)			
7	<i>Weakly supervised 3D deep learning for breast cancer classification and localization of the lesions in MR images</i> (Zhou <i>et al.</i> , 2019)	<i>Journal of Magnetic Resonance Imaging</i>	3,71	1
8	<i>Machine learning classifiers can predict Gleason pattern 4 prostate cancer with greater accuracy than experienced radiologists</i> (Antonelli <i>et al.</i> , 2019)	<i>European Radiology</i>	3,71	2
9	<i>Diagnosis of benign and malignant breast lesions on DCE-MRI using radiomics and deep learning with consideration of peritumor tissue</i> (Zhou <i>et al.</i> , 2020)	<i>Journal of Magnetic Resonance Imaging</i>	3,35	2
10	<i>Deep learning-based artificial intelligence for PI-RADS classification to assist multiparametric prostate MRI interpretation: a development study</i> (Sanford <i>et al.</i> , 2020)	<i>Journal of Magnetic Resonance Imaging</i>	3,35	7

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: PCLN = Pontuação de Citações Locais Normalizadas.

Os 10 artigos da tabela 18 destacam a relevância das técnicas de IA, especialmente o *deep learning*, com enfoque na detecção e classificação de cânceres de próstata, pulmão e mama. O câncer de próstata está associado a aplicações específicas entre *deep learning* e RM multiparamétrica, um subtema mais restrito, comparado a tendências mais amplas, como “*deep learning* e câncer” ou “radiômica em TC e RM”, que dominam os *clusters* gerais.

Hosseinzadeh *et al.* (2022), com a maior PCLN (8,31, *Cluster* 7), evidenciam a importância de requisitos mínimos de dados para o treinamento de *deep learning* no câncer de próstata. Por outro lado, Zhang *et al.* (2019) (PCLN 4,33, *Cluster* 1) focam no uso de redes convolucionais no diagnóstico de câncer de pulmão, corroborando a predominância temática desse *cluster*.

Outros estudos, como Baldwin *et al.* (2020) (PCLN 3,91, *Cluster* 1), enfatizam a necessidade de validação clínica de ferramentas de IA, enquanto Antonelli *et al.* (2019) exploram o aprendizado supervisionado no diagnóstico de câncer de próstata. A presença de periódicos de alto impacto, como *European Radiology*, *Medical Physics* e *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, reforça o interesse acadêmico dos periódicos *Core Sources* no tema, assim como seu esforço e contribuição na publicação de trabalhos de altíssimo nível e relevância científica.

2.4.3.5 Tópicos emergentes

Foi realizada a análise de tópicos emergentes com base nas palavras-chave dos autores e dos títulos dos artigos, considerando o recorte temporal de 2020 a 2024, assegurando uma avaliação do contexto atual. Esse período foi dividido em três partes, conforme descrito a seguir:

- **Q1 (Primeiro Quartil):** Primeiro ano em que o termo apareceu no recorte temporal.
- **Mediana:** Ano em que o termo foi mais frequentemente utilizado.
- **Q3 (Terceiro Quartil):** Período em que o termo continuou a ser relevante.

A tabela 19 apresenta as palavras-chave dos autores, considerando a frequência, Q1, Mediana e Q3. Os parâmetros utilizados para gerar os tópicos emergentes com base nas palavras-chave dos autores foram: Campo: Palavras-chave dos Autores; *Timespan* (período): 2020–2024; Frequência Mínima de Palavras: 10; Número de Palavras por Ano: 5; Número de Palavras por Ano = 3. Q1 = Primeiro Quartil; Q3 = Terceiro Quartil; Med. = Mediana.

Tabela 19 — Tópicos emergentes com base nas palavras-chave dos autores

Termo	Freq.	Ano (Q1)	Ano (Med.)	Ano (Q3)
<i>Deep learning</i>	234	2020	2022	2023
<i>Machine learning</i>	97	2020	2021	2023
<i>Lung cancer</i>	83	2021	2023	2024
<i>Radiomics</i>	77	2020	2021	2023
<i>Artificial intelligence</i>	72	2021	2022	2023
<i>Magnetic resonance. imaging</i>	70	2019	2021	2023
<i>Computed tomography</i>	52	2021	2022	2023
<i>Classification</i>	26	2020	2023	2023
<i>Transfer learning</i>	25	2021	2023	2024
<i>Diagnosis</i>	18	2022	2024	2024

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: Freq. = Frequência; Q1 = Primeiro Quartil; Q3 = Terceiro Quartil; Med. = Mediana.

A análise das palavras-chave dos autores (Tabela 19), realizada com base na frequência dos 10 principais termos, revela que “*deep learning*” (frequência = 234) e “*machine learning*” (97) são os termos mais frequentes, indicando a relevância dessas técnicas na área. O termo “*lung cancer*” (83) destaca-se, especialmente no terceiro quartil (Q3), sugerindo crescente interesse na aplicação de *machine learning* para o diagnóstico e

tratamento dessa doença. O aumento da frequência de “*transfer learning*” (aprendizado por transferência) e “*diagnosis*” no Q3 sugere que essas técnicas estão sendo exploradas para o diagnóstico de câncer de pulmão, embora outras abordagens, como o *deep learning*, também sejam relevantes. É importante notar que a pesquisa nesta área iniciou-se em anos anteriores, conforme indicado pelos valores de Q1 e Mediana para cada termo. Infere-se que os temas emergentes estão relacionados às “aplicações de *machine* e *deep learning* no diagnóstico do câncer de pulmão, utilizando radiômica e imagens médicas avançadas”.

Essa análise é necessária, pois permite inferir que o termo “*lung cancer classification*” poderia apresentar uma contagem maior caso os outros dois termos fossem combinados. Contudo, levanta-se a questão de que “*classification*” pode não se referir exclusivamente à classificação do câncer de pulmão, já que o termo “*magnetic resonance imaging*” aparece entre os 10 mais frequentes na tabela 19. Isso é reforçado por estudos, como o de Litjens *et al.* (2014), que evidenciam a classificação de outros tipos de câncer, como o de próstata, por meio de imagens de RM.

Já a tabela 20 apresenta as palavras-chave dos títulos, com base na frequência, Q1, Mediana e Q3. Os parâmetros utilizados para gerar os tópicos emergentes com base nas palavras-chave dos títulos foram: Campo: Palavras dos títulos; *Timespan*: 2020–2024; Frequência Mínima de Palavras: 10; Número de Palavras por Ano: 5; Número de Palavras por Ano = 3.

Tabela 20 — Tópicos emergentes com base nas palavras dos títulos

Termo	Freq.	Ano (Q1)	Ano (Med.)	Ano (Q3)
<i>Cancer</i>	348	2021	2022	2023
<i>Learning</i>	268	2020	2022	2023
<i>Deep</i>	243	2020	2022	2023
<i>Prostate</i>	121	2020	2021	2023
<i>Neural</i>	82	2019	2021	2023
<i>Machine</i>	70	2020	2021	2023
<i>Scans</i>	31	2022	2023	2024
<i>Algorithm</i>	27	2022	2023	2023
<i>Development</i>	24	2021	2023	2023
<i>Computer-aided</i>	14	2016	2020	2021

Fonte: O autor (2024), com base nos dados da pesquisa, analisados pelo *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017).

Nota: Freq. = Frequência; Q1 = Primeiro Quartil; Q3 = Terceiro Quartil; Med. = Mediana.

A análise da tabela 20, associada a outros termos que se destacaram no Q3 em 2024 (e que não aparecem na tabela 20), como “*modified*” (frequência = 11), “*advanced*” (10) e “*bone*” (9), sugere que os temas emergentes, com base nessas palavras, estão relacionados à

“aplicação ou desenvolvimento de técnicas de *machine learning* e *deep learning* na investigação de tumores ou metástases ósseas.” Vale destacar que, até 2023, houve interesse na aplicação de técnicas de IA no estudo da próstata.

A análise temporal, embora em um curto período, evidencia uma mudança de foco; ou melhor, as tendências na variedade de aplicações da IA refletem o caráter emergente, incipiente e exploratório do uso dessa tecnologia no diagnóstico oncológico. Acredita-se que, nos próximos anos, serão realizadas pesquisas com aplicações diversas para diferentes estruturas anatômicas e tipos de câncer.

2.4.4 Discussão dos resultados

A discussão dos resultados da análise bibliométrica é apresentada a seguir com base nos quatro elementos mínimos de conforme o guia BIBLIO (Montazeri *et al.*, 2023). São eles:

1. Síntese das evidências;
2. Interpretação;
3. Pontos fortes e limitações;
4. Conclusão (veja a Conclusão da tese).

2.4.4.1 *Síntese das evidências*

Com base na análise de 724 artigos publicados entre 1997 e 2024, observou-se um crescimento acentuado da produção científica a partir de 2019, revelando o fortalecimento do interesse no uso da IA no diagnóstico oncológico por imagem, com foco em TC e RM. A colaboração internacional esteve presente, embora ainda não configure uma tendência consolidada. China e EUA se destacaram como principais polos de produção e cooperação, tanto em volume quanto em impacto. Instituições desses países concentraram as publicações mais relevantes, enquanto autores como Wang Y e Zhang H assumiram maior protagonismo em produção; Zhang H e Zhang L se destacaram no *h-index*. O periódico *European Radiology* liderou em influência e produtividade. A evolução temática apontou para a consolidação de áreas como o uso de RM em tumores cerebrais e o avanço de abordagens emergentes, como DL e radiômica aplicados à detecção de câncer de pulmão. A análise bibliométrica evidenciou a emergência de tópicos voltados à aplicação da IA em diferentes tipos de câncer, destacando oportunidades e lacunas, especialmente no que diz respeito à validação clínica das ferramentas propostas.

2.4.4.2 *Interpretação*

A evolução da literatura revela o avanço das abordagens diagnósticas, da análise

manual de nódulos pulmonares à classificação e segmentação precisa de tumores via *deep learning* em cânceres de pulmão, mama, próstata e fígado. Os estudos indicam que as redes neurais profundas estão sendo cada vez mais utilizadas para melhorar a precisão dos diagnósticos, permitindo uma análise mais detalhada das imagens e contribuindo para a previsão de sobrevida dos pacientes.

O crescimento exponencial da literatura sugere que o tema está relacionado a avanços tecnológicos ou interesses globais, alinhando-se com a visão de Price (1963) sobre a transição da “*Little Science*” para a “*Big Science*”. Além disso, os dados mostram, de forma análoga, o que Merton (1968, p. 7, tradução própria) chama de “princípio da vantagem cumulativa”, que se aplica a muitos sistemas de estratificação social, gerando o mesmo efeito: “os ricos ficam mais ricos a uma taxa que faz com que os pobres se tornem relativamente mais pobres”. Merton, por sua vez, remete à ideia de Price (1965) sobre a concentração de recursos e a criação de um ciclo cumulativo que favorece os mais estabelecidos. Esse processo ajuda a entender como autores e países mais produtivos vão consolidando sua liderança com o tempo, ampliando sua centralidade e influência no campo científico. Nesse cenário, a desigualdade se torna parte integrante da dinâmica da ciência, onde os atores mais estabelecidos atraem mais reconhecimento, financiamento e oportunidades de colaboração, perpetuando um ciclo que amplifica seu impacto.

A concentração de cerca de 90% dos artigos publicados nos últimos anos sugere que o campo continua em plena expansão, impulsionado pelo interesse crescente na aplicação da IA no diagnóstico oncológico. Isso reforça o princípio da concentração científica, sugerindo que o campo pode estar em um ciclo de interesse crescente (Price, 1963), com pesquisadores e financiadores focando em uma “janela de oportunidades” para explorar o tema. No entanto, seguindo o princípio de Price (1963), pode-se argumentar que esse crescimento exponencial não é infinito; em algum momento, ele poderá desacelerar ou se estabilizar à medida que o campo amadurece, esgotando problemas de pesquisa iniciais e enfrentando limitações de recursos, como financiamento e infraestrutura. Esse possível ponto de inflexão, contudo, também pode marcar uma transição para um crescimento. Isso reforça o princípio da concentração científica, sugerindo que o campo pode estar em um ciclo de interesse crescente (Price, 1963), com pesquisadores e financiadores focando em uma “janela de oportunidades” para explorar o tema. No entanto, seguindo o princípio de Price (1963), pode-se argumentar que esse crescimento exponencial não é infinito; em algum momento, ele poderá desacelerar ou se estabilizar à medida que o campo amadurece, esgotando problemas de pesquisa iniciais e enfrentando limitações de recursos, como financiamento e infraestrutura. Esse possível ponto de inflexão, contudo, também pode marcar uma transição para um crescimento mais sustentável da literatura e voltado à consolidação de inovações práticas no campo.

As colaborações internacionais, que representam cerca de 31% dos artigos de pesquisa, destacam a parceria entre centros de pesquisas globais. O destaque de países como os EUA e a China sugere que o desenvolvimento da pesquisa está concentrado em nações com

maior potencial econômico e desenvolvimento científico, apesar do destaque da Índia como país emergente e com pesquisa relevante. Além disso, a presença de periódicos de alto impacto, como *European Radiology* e *Medical Physics*, reforça o interesse acadêmico e a relevância científica do tema, destacando o rigor e qualidade dessas pesquisas.

Os resultados corroboram outras análises bibliométricas que destacam o crescente interesse na IA para diagnóstico oncológico por imagem (Karger; Kureljusic, 2023; Gencer, 2024), com aumento das publicações nos últimos anos, particularmente focadas nos cânceres de mama e pulmão. No entanto, ao comparar estudos bibliométricos, é crucial considerar contextos específicos para evitar generalizações e garantir uma compreensão precisa das tendências de pesquisa.

Por conseguinte, os estudos apresentados no mapeamento científico sugerem que a escolha da técnica de imagem está diretamente ligada ao tipo de órgão ou tecido analisado e ao propósito do exame, sendo a TC mais adequada para a triagem de lesões pulmonares, enquanto a RM é melhor para a caracterização detalhada de tumores em diversas localizações anatômicas, como o sistema nervoso central e as glândulas mamária e prostática. Destaca-se o papel da RM aliada à radioterapia, como no estudo de Moore-Palhares *et al.* (2023), que ilustra a implementação de um programa de planejamento de radioterapia usando RM, aprimorando a precisão na definição do tumor em comparação com a TC.

2.4.4.3 Desenvolvimento tecnológico

Quanto ao desenvolvimento tecnológico, o interesse na aplicação da IA na detecção do câncer pulmonar mostrou-se um tema com longevidade (Henschke *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 2019), com destaque para a identificação de nódulos pulmonares na oncologia pediátrica (Helm *et al.*, 2009). Estudos mais antigos identificados na literatura concentraram-se em técnicas para detectar câncer de pele (Golston *et al.*, 1992) e de adrenal (Mantero *et al.*, 2000), enquanto a literatura recente demonstra que o uso da IA em TCBD (Ardila *et al.*, 2019) e técnicas de RM tem apresentado avanços na precisão diagnóstica, com modelos de IA alcançando acurácias de até 98% em alguns casos (Anaraki *et al.*, 2019; Deepak; Ameer, 2019; Celik *et al.*, 2020; Saeedi *et al.*, 2023). Além disso, há uma tendência crescente de aplicações para o diagnóstico de tumores ósseos (Yuguang *et al.*, 2023), evidenciando que as aplicações da IA têm se expandido em TC e RM.

Apesar dessa expansão, estudos como os de Nagendran *et al.* (2020) revelam a insuficiência de pesquisas prospectivas e estudos do tipo RCT, apesar dos avanços na implementação da IA médica, corroborando a percepção de lacunas identificadas na presente análise bibliométrica, como a falta de estudos voltados para metodologias de validação dessas ferramentas ou, ainda, estudos prospectivos. No entanto, Rajpurkar *et al.* (2022) demonstraram progresso na implementação da IA médica, particularmente por meio de estudos planejados e análises de imagens. Em todos os casos, há um reconhecimento da

necessidade de pesquisas multicêntricas capazes de expandir bases de dados para produzir resultados com generalizações mais amplas.

É preciso considerar que, apesar de seu potencial, a IA pode aprofundar as desigualdades existentes no acesso à tecnologia. Em países de baixa e média renda, a ausência de equipamentos essenciais, como TC e RM, conforme destacado pela *Lancet Oncology Commission* (Hricak *et al.*, 2021), já limita o diagnóstico e o tratamento de diversas doenças. A emergência da IA, nesse contexto, cria um “abismo duplo”: enquanto uma parte significativa da população ainda carece de acesso às tecnologias de imagem básicas, a IA, com suas exigências computacionais e de dados, pode tornar-se uma ferramenta inacessível, ampliando disparidades e agravando potencialmente as desigualdades no acesso às tecnologias em saúde.

2.4.4.4 Principais tendências de aplicações da IA em TC e RM

Avanços em detecção e classificação de tumores por IA: os estudos de Litjens *et al.* (2014) e Zhang *et al.* (2019) ilustram avanços significativos no uso da IA para detecção e classificação de tumores. Litjens *et al.* (2014) criaram um sistema de Detecção Assistida por Computador (CAD, do inglês *Computer-Aided Detection*)²⁷ para câncer de próstata, com sensibilidades de 42%, 75% e 89% para taxas de 0,1, 1 e 10 falsos positivos por paciente saudável, respectivamente. Por outro lado, Zhang *et al.* (2019) desenvolveram uma Rede Neural Convolucional (CNN, do inglês *Convolutional Neural Network*) para detecção de nódulos pulmonares, alcançando sensibilidade de 84,4% e especificidade de 83%, superando o desempenho de médicos na classificação de malignidade. Este avanço destaca o impacto clínico da IA em melhorar diagnósticos e resultados para o câncer de pulmão.

Validação clínica e aplicabilidade de ferramentas de IA: os estudos de Lu *et al.* (2018) e Yuguang *et al.* (2023) destacam avanços na aplicação de IA em diagnósticos oncológicos, com resultados validados consistentemente. Lu *et al.* (2018) criaram um modelo de *machine learning* baseado em radiômica para classificar subtipos moleculares de gliomas, atingindo precisões de 87,7% a 96,1% para os genótipos IDH e 1p/19q²⁸. Ao integrar diagnósticos histológicos, a precisão alcançou 89,2%, demonstrando um desempenho confiável em conjuntos de validação. Por outro lado, Yuguang *et al.* (2023) desenvolveram o GHA-DenseNet, um modelo de *machine learning* que classifica tumores ósseos femorais benignos e malignos com base em imagens de RM, alcançando 95,24% de precisão na validação dos classificadores para imagens ponderadas em T1 e T2. O modelo clínico, que combina os resultados dos classificadores com dados clínicos dos pacientes, atingiu uma acurácia de 81,51% durante a validação. O método elimina a necessidade de segmentação

²⁷ Sistema automatizado que auxilia na detecção do câncer de próstata em imagens de RM, melhorando a sensibilidade diagnóstica dos radiologistas

²⁸ Marcadores moleculares utilizados na classificação desses tumores cerebrais, influenciando prognóstico e tratamento.

manual das imagens, simplificando e otimizando o fluxo diagnóstico. Esses avanços demonstram a eficácia da IA em diagnósticos oncológicos e podem contribuir para a aceleração do início do tratamento.

Técnicas avançadas e métodos emergentes: Zhou *et al.* (2019) demonstram que métodos fracamente supervisionados associados à Ressonância Magnética com Realce Dinâmico por Contraste (DCE-MRI, do inglês *Dynamic Contrast-Enhanced MRI*)²⁹ podem oferecer resultados diagnósticos comparáveis aos de radiologistas experientes, destacando seu potencial para reduzir taxas de sobrediagnóstico e melhorar a eficiência clínica, especialmente no câncer de mama. Sampath, Rajagopal e Chintanpalli (2024) evidenciaram a eficácia das redes neurais convolucionais no diagnóstico precoce do câncer ósseo, com destaque para o desempenho superior do modelo de CNN AlexNet, sugerindo sua aplicação prática em fluxos clínicos otimizados. Wang *et al.* (2024), ao integrarem características clínicas e radiômicas de Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT/CT, do inglês *Single Photon Emission Computed Tomography/CT*)³⁰, ilustram a superioridade de abordagens multidisciplinares no diagnóstico diferencial de lesões ósseas em pacientes com câncer de pulmão. Esses estudos apontam para a crescente relevância de técnicas baseadas em IA no diagnóstico oncológico, promovendo diagnósticos mais precisos e consistentes, reduzindo a variabilidade interpretativa e abrindo caminho para pesquisas futuras que explorem modalidades subexploradas e novas combinações de dados clínicos e radiômicos.

Desafios em transferência de conhecimento e segmentação: Ibragimov e Xing (2017) ressaltam limitações das redes neurais convolucionais na segmentação de órgãos em risco com limites indistintos em imagens de TC, sugerindo a necessidade de integração de imagens multimodais, como a RM, embora isso implique desafios no registro de imagens devido a diferenças de resolução e campo de visão. Hosseinzadeh *et al.* (2022) destacam a dependência de grandes conjuntos de dados anotados por especialistas, uma barreira significativa, sobretudo em estudos multicêntricos, onde a padronização é complexa. A tendência crescente de incorporar conhecimento prévio, como segmentações zonais, demonstra potencial para melhorar o desempenho dos modelos, mas demanda maior esforço na curadoria de dados. Além disso, há um foco emergente em garantir que esses modelos de IA sejam interpretáveis e integráveis aos fluxos clínicos, considerando o impacto ético e operacional. Avanços futuros devem priorizar a construção de bancos de dados diversificados e a criação de algoritmos que sejam robustos em condições de dados limitados, permitindo que tecnologias de IA se tornem acessíveis e confiáveis em diferentes contextos clínicos.

Esses exemplos ilustram como avanços tecnológicos podem ser aplicados de forma prática para aprimorar diagnósticos em oncologia. Seja pela integração de dados clínicos e radiômicos ou pela exploração de modelos baseados em *deep learning*, o impacto potencial

²⁹ Técnica de imagem que avalia a vascularização dos tecidos, auxiliando no diagnóstico do câncer.

³⁰ Modalidade híbrida de imagem médica que permite a fusão de imagens funcionais e anatômicas, proporcionando uma análise mais precisa das estruturas e processos fisiológicos do organismo

dessas inovações é vasto, especialmente em modalidades menos exploradas, como a imagem óssea. As descobertas fornecem uma base sólida para futuras pesquisas, priorizando a precisão diagnóstica, eficiência e melhores desfechos para os pacientes oncológicos.

2.4.4.5 Pontos fortes e limitações da análise bibliométrica

A análise bibliométrica destaca-se pela amplitude e abrangência dos artigos analisados, com foco em publicações em periódicos indexados e na identificação de temas emergentes e lacunas de conhecimento no campo. A análise, centrada em técnicas de mapeamento científico, permitiu a visualização de redes de colaboração e a identificação de grupos de pesquisa com temas semelhantes, enriquecendo a compreensão do panorama atual da pesquisa sobre as aplicações de IA no diagnóstico oncológico.

Por outro lado, a limitação da busca a periódicos em inglês pode ter subestimado a contribuição de pesquisadores de outros países e idiomas, indicando um possível viés em favor de centros de pesquisa com maior visibilidade e recursos, restringindo a participação de outras regiões. Além disso, o uso de somente de uma base de dados pode também limitar a compreensão mais ampla da literatura e introduzir um viés potencial de seleção. Para estudos futuros, sugere-se a inclusão de artigos de outros idiomas e o desenvolvimento de estratégias de junção de artigos de diferentes bases de dados, para serem analisados pelo *bibliometrix* ou outra ferramenta de escolha.

2.5 Resultados e discussão do *framework*

A presente seção introduz o *framework* transdisciplinar conceitual-teórico desenvolvido nesta tese. O modelo proposto se diferencia por sua natureza inovadora ao integrar elementos por meio de um pensamento estratégico, resultando em um sistema holístico, em que um elemento potencializa o outro, visando um resultado coeso. Essa integração permitiu a criação de um sistema adaptável, que inclui diferentes etapas e processos, desde a captação de pacientes até a conduta médica, como descrito a seguir.

Etapa 1 — Preparativos: após selecionar uma cidade com piloto, realizar um mapeamento local e regional dos dados epidemiológicos do câncer de pulmão (projeções de casos), legislações, bem como os dados de infraestrutura necessária para o diagnóstico e laudo e quaisquer recursos necessários, a serem detalhados no planejamento estratégico personalizado, envolvendo custos e potenciais impactos. Decidir a estratégia de realização dos exames: (i) na própria cidade (quando o município dispõe de equipamentos de TC); (ii) em cidade vizinha e parceira; e (iii) por meio de um serviço móvel de TC.

Etapa 2 — Critérios de seleção: um comitê médico-científico responsável irá definir os critérios de seleção dos pacientes eletivos para serem atendidos pelo projeto, com base em fatores de risco, idade, histórico de saúde e outras variáveis relevantes.

Etapa 3 — Campanha de rastreamento: criar uma campanha midiática, com apoio de estratégias de marketing, convidando o público eletivo para realizar exames de rastreamento de TCBD. A campanha deve ser planejada para alcançar o público-alvo eficazmente, utilizando canais de comunicação apropriados (TIC). Isso envolve tanto as mídias de massa, como as mídias sociais e parcerias locais com estabelecimentos de saúde e outros interessados. A seleção dos indivíduos que participarão da campanha é baseada em fatores de risco, idade, histórico de saúde e outras variáveis relevantes.

Etapa 4 — Campanha de adesão: implementar uma campanha de adesão para incentivar a participação do público-alvo. Criar um ambiente que promova confiança e conscientização sobre a importância do rastreamento.

Etapa 4.1 — Estratégias de comunicação: desenvolver estratégias de comunicação claras e acessíveis, utilizando diferentes formatos de material informativo, como folhetos, vídeos e redes sociais, para alcançar uma audiência mais ampla. Um canal de informações ao público deverá ser criado para facilitar a comunicação e o esclarecimento de dúvidas da campanha e outras informações, podendo ser um número de telefone ou um aplicativo de *smartphone*, trazendo informações relevantes sobre a doença, como cuidados, hábitos saudáveis e a importância da cessação do tabagismo.

Etapa 4.2 Estratégias de educação: desenvolver cursos e *workshops* presenciais e *online* para qualificação dos profissionais de saúde, além de ações de conscientização da população. Criar canais informativos, como site, aplicativo e redes sociais, e fomentar comunidades de engajamento e aprendizagem colaborativa, entre todos os envolvidos, promovendo troca de conhecimento, esclarecimento de dúvidas e fortalecimento da adesão ao programa. Essas ações complementam as campanhas de rastreamento e adesão, promovendo uma cultura informada e participativa.

Etapa 5 — Análise de infraestrutura de TC: será realizada uma das três escolhas a seguir, com base na infraestrutura investigada na Etapa 1.

Etapa 5.1 — Os exames serão realizados na própria cidade: caso o município disponha de equipamentos públicos de TC, criar uma agenda dedicada para a realização dos exames de rastreamento, garantindo que todos os participantes tenham acesso ao serviço. Caso o município não disponha de equipamentos públicos de TC, estabelecer convênios com instituições que forneçam o suporte necessário para a realização dos exames. Os convênios se aplicam nas situações em que a quantidade de equipamentos públicos da cidade não seja suficiente para atender à campanha.

Etapa 5.2 — Os exames serão realizados em cidade vizinha e parceira: caso o município não disponha de equipamentos públicos ou privados, ou disponha de equipamentos

privados, mas não seja possível estabelecer convênios, será elaborada uma estratégia para conduzir os pacientes até centros diagnósticos parceiros em cidades vizinhas.

Etapa 5.3 — Os exames serão realizados na própria cidade por intermédio de saúde móvel: após uma análise de custos na Etapa 1, caso tenha sido decidido utilizar a saúde móvel, serão contratados serviços de TC móvel que irão até a cidade durante o período da campanha para realização dos exames.

Etapa 6 — Pré-triagem assistida por IA: implementar um sistema de pré-triagem utilizando IA para filtrar os participantes com base nos critérios de seleção definidos, otimizando o diagnóstico em questão de tempo e potencializando a conduta médica. Esse modelo fornecerá um pré-diagnóstico a ser validado pelo médico especialista.

Etapa 6.1 — Classificação por IA: utiliza-se um segundo modelo de IA para classificar os resultados dos exames realizados, priorizando os casos mais relevantes para atenção médica imediata.

Etapa 7 — Telelaudo: realizar a análise dos exames por meio de telelaudo, permitindo que especialistas revisem os resultados de forma remota e ágil.

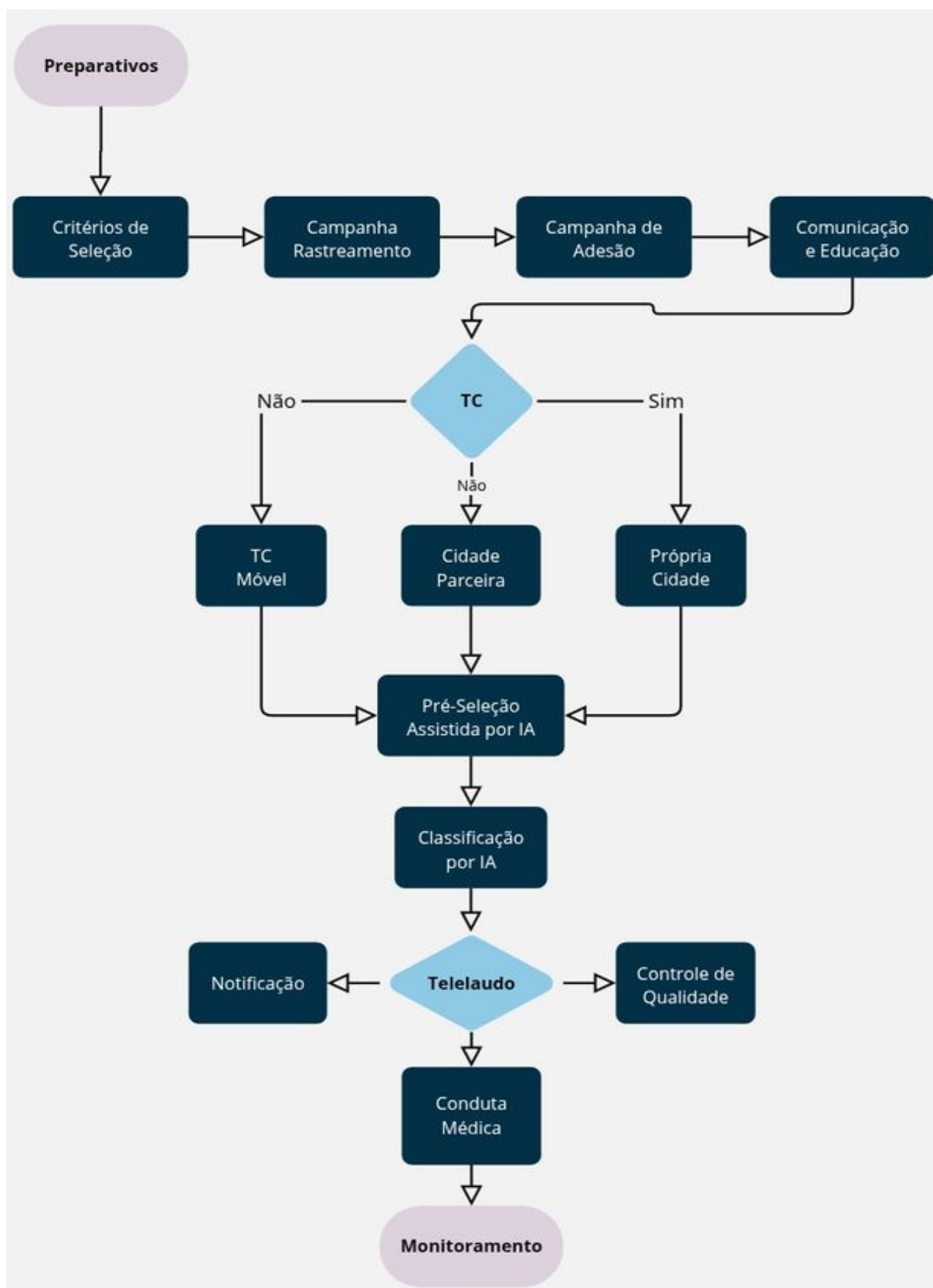
Etapa 7.1 — Controle de qualidade da IA: estabelecer um controle de qualidade rigoroso para garantir a precisão dos laudos e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Etapa 8 — Notificação: notificar os órgãos competentes e responsáveis imediatamente, para que se tenha um panorama real e atualizado do cenário da doença.

Etapa 9 — Conduta: o médico solicitante define a conduta com base nos resultados obtidos, incluindo orientações para os participantes que necessitam de procedimento ou acompanhamento médico adicional, ou tratamento cirúrgico.

Etapa 10 — Acompanhamento: implementar um sistema de acompanhamento para monitorar a saúde dos participantes identificados como necessitando de cuidados adicionais, e para verificar os impactos por meio da estratégia de intervenção. Ao mesmo tempo, implementa-se um sistema de controle da qualidade do modelo, além do monitoramento dos resultados obtidos com a implementação do programa de rastreamento.

A representação gráfica do *framework* é apresentada na figura 24.

Figura 24 — Representação gráfica do *framework*

Fonte: O autor (2025).

O *framework* proposto consolida as etapas essenciais para a operacionalização do

rastreamento do câncer de pulmão, criando uma base sólida e flexível para sua implementação e aprimoramento contínuo. Esse modelo integrativo prepara o terreno para enfrentar os desafios locais e promover uma intervenção eficaz, sustentada pela articulação entre tecnologia, gestão e comunicação. A seguir, serão apresentadas considerações, potencialidades, limitações e as relações do modelo com pressupostos selecionados.

2.5.1 Perspectiva geral do modelo

A viabilidade da implementação futura do modelo na ALC é sustentada pela crescente disponibilidade de TIC na região, potencializadas pela internet e pelos dispositivos móveis. A utilização de plataformas digitais e aplicativos móveis, como já demonstrado em outros estudos, facilita o acesso e a participação de pacientes e profissionais, mesmo em áreas com infraestrutura limitada.

Nesse contexto, as intervenções em mHealth apresentam um potencial significativo para otimizar o atendimento médico, melhorar a adesão ao tratamento e reduzir custos operacionais, especialmente por meio do uso de lembretes via mensagens de texto, monitoramento remoto e educação em saúde. Contudo, é necessário avaliar as competências digitais requeridas para o uso dessas tecnologias, o que abre espaço para o desenvolvimento de estratégias e programas de capacitação da população, a fim de ampliar os benefícios proporcionados por tais recursos, quando disponíveis.

Além disso, a integração dessas tecnologias pode contribuir para a ampliação do alcance dos serviços de saúde, favorecendo populações em regiões remotas e garantindo uma comunicação mais eficiente entre pacientes e profissionais. No entanto, para maximizar os benefícios e superar desafios como a baixa qualidade metodológica de alguns estudos e a falta de pesquisas em países de baixa renda, é essencial investir em análises econômicas consistentes e estratégias que assegurem a sustentabilidade e a efetividade do mHealth no longo prazo (Marcolino *et al.*, 2018).

Outrossim, a crescente comunidade de especialistas em IA e o desenvolvimento de soluções *open-source* contribuem para a acessibilidade e a escalabilidade do *framework*, possibilitando a expansão ao longo do tempo para uma cobertura que pode ir de uma única cidade para toda a região da ALC, como apresentado no documento preliminar da tese, intitulado *Impacto Potencial Desta Pesquisa*.

Em relação à notificação compulsória, essa etapa é vista como importante para proporcionar um panorama real dos dados e da situação da doença, contribuindo para políticas e intervenções mais assertivas. Vale mencionar que o Brasil possui a *Lei n.º 13.685, de 25 de junho de 2018* (Brasil, 2018), que torna obrigatória a notificação de agravos e eventos de saúde, e o Projeto de Lei 1.083/2023, que altera a Lei n.º 14.238, de 19 de novembro de 2021 (Estatuto da Pessoa com Câncer) (Brasil, 2021), e que tem por objetivo tornar obrigatória a notificação de casos suspeitos ou confirmados de câncer às autoridades sanitárias.

Para a aplicação do modelo em uma região com maior acesso a tecnologias de telemedicina, como algumas áreas urbanas desenvolvidas, o foco poderia estar na integração de recursos de telerradiologia para otimizar o diagnóstico precoce do câncer de pulmão, capacitando profissionais locais e promovendo a educação em saúde. Por outro lado, em regiões rurais ou mesmo em cidades com limitações de infraestrutura, a abordagem precisaria priorizar a construção de unidades móveis de diagnóstico, o estabelecimento de parcerias com cidades vizinhas e a promoção de campanhas educativas para aumentar a conscientização sobre a prevenção e o tratamento do câncer.

Em relação à educação profissional, sugere-se criar uma comissão de educação multidisciplinar para discutir conteúdos e abordagens didáticas para mediação do conhecimento por meio das tecnologias digitais disponíveis. Vale mencionar o Conectivismo (Siemens, 2005). Essa teoria se alinha ao contexto da educação a distância (EaD), pois seus pressupostos afirmam que o aprendizado ocorre por meio de redes e conexões, o que se fortalece no cenário do ensino mediado por tecnologias digitais e IA. Isso pode atender às necessidades de aprendizagem colaborativa e de conteúdos necessários para o funcionamento do *framework*, ao mesmo tempo, em que possibilita a aprendizagem personalizada e centrada no aluno, como sugere a Heutagogia (Lopes, 2023).

Em complemento a isso, pode-se adicionar as certificações digitais, conhecidas como microcredenciais, que reconhecem competências específicas adquiridas por um indivíduo (European Commission, 2020). Ao se alinhar ao Conectivismo à Heutagogia, é possível fortalecer as bases individuais de cada integrante do sistema, fortalecendo as esferas 2 e 3 da pirâmide invertida que sustenta o modelo e, conseqüentemente, trazer melhores resultados para o sistema. Uma observação relevante sobre as agendas de exames é que, durante a campanha de divulgação do programa, pode-se solicitar que os indivíduos interessados em realizar o exame preencham um pré-cadastro. Isso contribui para obter uma estimativa de quantos dias serão necessários para atender toda a demanda e estimar os custos. De qualquer maneira, sugere-se que isso não seja um fator impeditivo para o exame, já que pessoas que deixaram de se cadastrar devem ter acesso ao exame independentemente de circunstâncias burocráticas, caracterizando o atendimento por livre demanda.

O estudo de Nardino, Santos e Lima (2023) analisou o impacto das campanhas de conscientização sobre o câncer no interesse da população por meio do *Google Trends*. A revisão integrativa incluiu 19 artigos que avaliaram a influência dessas campanhas, revelando que sua eficácia varia conforme o tipo de câncer, a região e o alcance das iniciativas, e que fatores externos podem interferir no interesse popular. Embora algumas campanhas tenham aumentado a busca por informações, isso nem sempre resultou em maior conscientização sobre prevenção e diagnóstico. Os autores concluíram que é necessário aprimorar as campanhas, sugerindo o uso de mídias sociais e a participação de celebridades para ampliar seu impacto.

Já o estudo de Ramos, Carvalho e Mangiacavalli (2007) demonstrou que as

campanhas de prevenção ao câncer, apesar de bem-intencionadas e voltadas à conscientização sobre a doença, enfrentam desafios significativos na mobilização efetiva da população. A pesquisa indicou que muitos *slogans* relacionados ao câncer enfatizam a ideia de morte e ameaça, o que pode desencadear reações defensivas e sentimentos de impotência. Essas respostas emocionais tendem a dificultar a adesão a práticas preventivas, resultando em diagnósticos frequentemente em estágios avançados. Diante disso, os pesquisadores ressaltam a importância de reavaliar a abordagem dessas campanhas, incorporando elementos que fortaleçam a autoestima e estimulem um senso de responsabilidade coletiva pela saúde, de modo a promover uma prevenção mais eficaz e contínua.

Em vista disso, acredita-se que as campanhas de convite à população devam ter um tom cordial, positivo e otimista, evitando o despertar de sentimentos negativos, que podem comprometer a eficácia dos objetivos. Ao final da campanha, que envolve desde o chamamento da população até a realização dos exames e quantificação dos casos identificados, inicia-se um período de avaliação dos resultados obtidos, com indicadores de efetividade e impacto na saúde da população. Dada a natureza da doença e as possibilidades de recidiva, esse período poderá ser longo (em torno de 10 anos), a ser decidido no momento do planejamento estratégico pelo comitê científico.

Os ajustes de falhas devem ser documentados e compartilhados com as cidades que aderirem a essa campanha, de modo que a troca de experiências e vivências possa contribuir para a sustentabilidade (no sentido de manutenção) do *framework* a longo prazo, realizando ajustes necessários a cada nova campanha.

2.5.2 Potencialidades e desafios do modelo

A complexidade de implementação do *framework* é reflexo direto da complexidade e da multidimensionalidade do problema. A necessidade de treinamento, embora se apresente como um ponto negativo, pode ser vista como uma oportunidade para implementação de uma estratégia de ensino por meio das tecnologias digitais, reforçando o compromisso do modelo em influenciar a cultura transdisciplinar, expandindo o pensamento profissional para além do tecnicismo.

Uma fragilidade, inerente à era digital, é a dependência de dados, que ocorre desde a disponibilidade de dados de pacientes para o treinamento da tecnologia de IA utilizada para o diagnóstico, até mesmo a notificação dos novos casos de câncer aos órgãos de saúde pública, para que se tenha uma real dimensão do problema. Para mitigar isso, é possível criar um banco de dados anônimos com as imagens e laudos médicos para que a tecnologia de IA utilizada seja aprimorada ao longo do tempo. Além disso, pode-se criar um banco de dados compartilhado com outras instituições de pesquisa, aumentando o espectro, ou abrangência, de diagnóstico deste modelo, contribuindo para maior acurácia das pré-triagens realizadas.

A disponibilidade de tecnologias, como os equipamentos de imagem, é ao mesmo

tempo, o problema que se pretende abordar, e um elemento primordial do modelo. Para lidar com a falta de equipamentos de imagem, uma alternativa é aquela apresentada no exemplo da cidade de São Francisco do Sul (veja 2.2.3).

Em relação ao uso da IA, embora a tecnologia esteja alinhada às necessidades do modelo, seu desenvolvimento continua em andamento, o que impossibilita a escolha de uma única solução específica no momento. Para mitigar essa limitação, pode-se recorrer a uma análise bibliométrica com revisão sistemática para identificar tecnologias de IA que estejam em uso e que tenham resultados positivos na implementação, com base em estudos com rigor metodológico e resultados consistentes, buscando parcerias de pesquisa, abrindo espaço para *stakeholders*, ou iniciativas de colaboração interinstitucional. Isso indica que o processo de implementação do modelo será dinâmico a longo prazo e em diferentes áreas de cobertura, permitindo que novos modelos e tecnologias de IA substituam aqueles validados em fases anteriores da implementação.

A implementação gradual do modelo em uma cidade deve considerar os desafios logísticos e a coleta de dados consistentes, sendo imprescindível discutir como esses obstáculos poderiam ser superados. Por exemplo, seria útil estabelecer parcerias com instituições locais que já colhem dados de saúde, utilizando suas infraestruturas para facilitar a coleta de informações relevantes. Também é importante manter um sistema de feedback contínuo, onde as lições aprendidas durante as fases iniciais de implementação possam influenciar ajustes na prática em tempo real.

Especificamente em relação às parcerias internacionais, a sugestão é formar colaborações com universidades, centros de pesquisa, organizações não governamentais e empresas tecnológicas. Estas parcerias podem incluir intercâmbio de conhecimentos e experiências, desenvolvimento conjunto de projetos de pesquisa, capacitação de profissionais, acesso a tecnologias de ponta e até mesmo financiamento para infraestrutura. Tal formato de colaboração não só maximiza recursos como também amplia o conhecimento sobre melhores práticas e inovações, formando uma rede global de apoio que se beneficia mutuamente.

A figura 25 apresenta as potencialidades relacionadas à fundamentação estratégica e teórica da construção do modelo, bem como os desafios que poderão ser enfrentados em sua implantação.

Figura 25 — Potencialidades e desafios do *framework*

Fonte: O autor (2025). Nota: Os itens à esquerda representam as potencialidades, enquanto os itens à direita representam os desafios do modelo.

A adaptação ao contexto demanda que o modelo proposto seja constantemente revisado e discutido para manter o seu propósito, o que não é um ponto negativo de fato. Embora isso demande um tempo extra, pode-se prevenir falhas identificadas em aplicações anteriores, contribuindo para aplicações cada vez mais assertivas e um modelo constantemente refinado e atualizado.

2.5.3 Relações entre o *framework* e aspectos teóricos

2.5.3.1 Relação entre o *framework* e a transdisciplinaridade

A relação entre o modelo e a transdisciplinaridade apresenta diversas implicações que podem ser observadas em diferentes passagens da *Charte de la Transdisciplinarité* (Freitas; Morin; Nicolescu, 1994), conforme descrito a seguir:

- a. **Abertura a diferentes níveis de realidade (artigo 2):** a abordagem do tema central do modelo, o câncer de pulmão, transcende os aspectos biológicos da doença e engloba dimensões sociais, econômicas, culturais e psicológicas que afetam pacientes,

familiares e comunidades envolvidas.

b. Complementaridade com a abordagem disciplinar (artigo 3): o modelo integra conhecimentos especializados de diversas áreas, como oncologia, pneumologia e radiologia, além de disciplinas adjacentes, como saúde pública, educação e economia, visando a proposição de soluções mais abrangentes e eficazes.

c. Unificação semântica e operativa (artigo 4): o sistema facilita a comunicação e a colaboração entre diferentes áreas do conhecimento, promovendo uma linguagem comum e objetivos compartilhados para o enfrentamento do câncer de pulmão.

d. Abertura a diferentes formas de conhecimento (artigo 5): o modelo é concebido com um sistema de *feedback* ativo, permitindo a inclusão das dimensões humanas e subjetivas da doença. A consideração das experiências, dificuldades e temores dos pacientes, bem como suas crenças e valores, assim como dos familiares, pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias que favoreçam a adesão aos tratamentos e, conseqüentemente, a melhora do bem-estar.

e. Transculturalidade (artigo 10): a adaptabilidade do modelo possibilita desenvolver estratégias culturalmente sensíveis e ajustadas às diferentes realidades locais, promovendo maior equidade no acesso à saúde e respeitando as diversidades culturais.

f. Educação transdisciplinar (artigo 11): o modelo proporciona oportunidades para o desenvolvimento de programas educativos que abordam o problema de forma integral e contextualizada. Isso beneficia tanto os profissionais envolvidos no sistema quanto os próprios indivíduos submetidos ao exame, permitindo-lhes tomar decisões mais informadas sobre sua saúde.

g. Economia a serviço do ser humano (artigo 12): o *framework* apresenta um forte **apelo humanista**, uma vez que busca soluções voltadas para o bem-estar dos indivíduos e de suas comunidades, diferenciando-se de projetos que visam somente lucros e interesses econômicos.

h. Ética, rigor, abertura e tolerância (artigos 13 e 14): a adoção de práticas colaborativas e o estímulo ao diálogo respeitoso entre diferentes áreas e perspectivas são fundamentais para o sucesso do projeto. Essa abordagem favorece a busca por soluções inovadoras e eficazes no combate ao câncer de pulmão.

Fica evidente a conexão entre o modelo proposto e os ideais transdisciplinares. A construção estratégica do modelo com base nesse conceito favorece que o projeto não seja somente um agregado de conhecimentos técnicos de áreas distintas, mas que, pelo contrário, há um esforço significativo para transpor a barreira do tecnicismo. Isso confere ao modelo uma abordagem cooperativa e colaborativa, na qual cada elemento desempenha um papel essencial na engrenagem desse sistema.

Esse aspecto leva à consideração dos fatores não técnicos envolvidos, como discutido

em 2.1.14 (Prikladnicki; Nicolas, 2008). A confiança é um fator crucial para o sucesso do projeto sob uma perspectiva multiangular, abrangendo desde a necessidade do paciente confiar no sistema até a do médico confiar na tecnologia de IA para o pré-diagnóstico, além da comunicação, outro elemento fundamental para a eficiência do modelo. No contexto macro, ou seja, considerando todo o território da ALC, o idioma pode representar uma barreira, uma vez que são falados idiomas como o português, o espanhol, o inglês e o francês. Entretanto, os avanços em IA possibilitam a tradução de textos e conteúdos falados, oferecendo soluções promissoras para superar essas barreiras linguísticas.

2.5.3.2 *Relação entre o framework e a simetria da ignorância*

O modelo proposto se relaciona com o conceito de simetria da ignorância ao reconhecer que o conhecimento sobre esse problema é compartilhado entre diferentes atores, como médicos, cientistas de dados, especialistas em políticas públicas, pacientes e suas comunidades. Por exemplo, médicos contribuem com o conhecimento clínico sobre sintomas e padrões de progressão da doença, enquanto cientistas de dados oferecem *expertise* no desenvolvimento ou seleção de algoritmos para identificação precoce de padrões em imagens e dados de saúde. Os pacientes e as comunidades, por sua vez, trazem perspectivas únicas sobre barreiras de acesso ao diagnóstico, estigmas associados à doença e necessidades não atendidas, enriquecendo a abordagem do *framework* com dimensões humanas e sociais.

A integração transdisciplinar do modelo permite, por exemplo, que políticas públicas sejam elaboradas com base em dados confiáveis fornecidos por análises metodológicas validadas clinicamente. A humildade epistêmica também é um princípio essencial, ao exigir que os participantes reconheçam suas próprias limitações e estejam abertos a aprender com outros campos, reforçando a importância da educação permanente durante a aplicação do projeto. Dessa forma, ao valorizar a combinação de perspectivas especializadas e experiências práticas, o *framework* constrói soluções mais completas e equitativas para o diagnóstico precoce do câncer de pulmão, alinhadas às necessidades da população de risco e do sistema de saúde.

Os procedimentos propostos na Seção 2.5.4 requerem validação, revisão e ajustes constantes, conforme o contexto de aplicação. A implementação do *framework* exige planejamento estratégico, investimento em infraestrutura e capacitação profissional. No entanto, esses desafios podem ser encarados como oportunidades de desenvolvimento na continuidade da pesquisa.

2.5.3.3 *Relação entre o framework e as tecnologias digitais*

Em relação ao pensamento de Belluzzo (2005) sobre as tecnologias digitais no âmbito

da comunicação (veja 1.2), pode-se emprestar sua perspectiva e afirmar que o trabalho apresentado evidencia:

- a. **Deslocamento do foco:** o uso de tecnologias mais atuais aprimora modelos tradicionais de diagnóstico do câncer de pulmão que são, muitas vezes, “passivos”, ao dependerem dos sintomas do paciente, resultando frequentemente em diagnósticos tardios.
- b. **Ampliação de domínio:** o modelo abre possibilidades para aplicações adaptadas a outros tipos de câncer, podendo beneficiar diferentes perfis de pacientes. Isso demonstra sua escalabilidade, permitindo a expansão do uso da tecnologia para novos contextos sem comprometer sua eficácia.
- c. **Criação de um novo campo:** a pesquisa aponta para uma abordagem em saúde que considera tanto as tecnologias quanto as desigualdades existentes, mediadas pelo pensamento estratégico. Essa abordagem pode contribuir para a revisão de processos e protocolos de saúde, não somente no câncer, mas também em outras doenças diagnosticadas por imagem, como infecções, promovendo uma saúde mais preventiva do que curativa.

Além disso, devem ser considerados outros aspectos que envolve a interação do *framework* com uso de tecnologias digitais, e que pode incorrer em desafios similares àqueles previstos na telessaúde (Celestino; Valente, 2021b), como:

- a. **Integração da IA com a telerradiologia:** a IA deve gerar laudos automaticamente e classificar a gravidade dos casos, de maneira integrada aos sistemas de telerradiologia para otimizar a interpretação remota. O desafio está em garantir alta precisão e acessibilidade em tempo real. A solução passa pelo uso do protocolo DICOM³¹ integrado às ferramentas de IA compatíveis, para transferência direta dos laudos, permitindo que radiologistas validem as análises com eficiência.
- b. **Interoperabilidade entre plataformas:** sistemas hospitalares distintos nem sempre se comunicam de forma eficiente, o que dificulta o compartilhamento de imagens e laudos. A integração, especialmente em contextos de telerradiologia, pode ser viabilizada por interfaces de acesso automatizado, permitindo a troca segura de informações sem exigir grandes adaptações nos sistemas existentes.
- c. **Uso de Big Data para IA:** a IA melhora com grandes volumes de dados, mas a qualidade e diversidade dessas informações são essenciais, de modo que o desafio é obter um banco de dados representativo e atualizado. A solução envolve a criação de repositórios centralizados e anonimizados, além de parcerias com instituições de

³¹ É o padrão para armazenar, transmitir e processar imagens médicas, com dados integrados do paciente e do exame.

pesquisa para ampliar a base de dados.

d. **Proteção de dados sensíveis:** o compartilhamento de informações médicas exige rigor na segurança e conformidade com leis de proteção de dados. Nesse ponto, o risco de violações pode ser reduzido com criptografia, controle rigoroso de acessos e anonimização de dados antes do uso para treinamento da IA.

e. **Desafios técnicos de implementação:** a adoção da IA enfrenta obstáculos como integração de sistemas, resistência dos profissionais e infraestrutura inadequada. Para isso, testes pilotos em unidades de saúde podem ajudar a identificar falhas e garantir melhor adaptação dos profissionais antes da implementação em larga escala.

2.5.4 Proposta inicial de procedimentos

Na dissertação de mestrado intitulada *Procedimentos para elaboração de um projeto transdisciplinar utilizando o laboratório de informática*, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Schneider (2001) propôs procedimentos para a elaboração de um projeto transdisciplinar utilizando o laboratório de informática como meio para a construção do conhecimento em Unidades de Ensino Médio. O autor realizou um estudo de caso em uma escola pública para propor uma abordagem diferenciada para o uso dos laboratórios de informática, visando à construção do conhecimento por meio de projetos. Os resultados foram positivos, com destaque para a integração entre professores, a participação dos alunos e a aprendizagem significativa. A figura 26 representa as seis etapas utilizadas para a elaboração de um projeto transdisciplinar, com base em Schneider (2001).

Figura 26 — Sequência inicial de planejamento de projeto transdisciplinar



Fonte: Adaptado de Schneider (2001).

Com base nos passos de Schneider (2001), propõe-se uma sequência a ser aplicada na implementação do *framework* nesta tese, apresentada no quadro 12.

Quadro 12 — Sugestão de procedimentos para implementação do *framework* (continua)

1. Caracterização da unidade de saúde: (i) Aspectos sociais: investigar a população atendida pela unidade, incluindo dados demográficos, como idade, sexo e etnia, e identificar os grupos de risco para câncer de pulmão, como fumantes e ex-fumantes. (ii) Aspectos técnicos: avaliar a equipe médica e técnica, incluindo radiologistas, pneumologistas, oncologistas, profissionais de enfermagem (enfermeiros, técnicos e auxiliares de enfermagem), profissionais da área de imagem (técnicos em radiologia, tecnólogos em radiologia e biomédicos), e analisar sua experiência com TCBD, oncologia e IA. Cada área tem sua própria especificidade, como: os profissionais da radiologia precisam aplicar o protocolo corretamente de acordo com cada paciente, garantindo a qualidade da imagem, o que inclui observar erros de pós-processamento de imagens que podem ocorrer por meio de ferramentas de algoritmos de pós-processamento de imagem; a equipe de enfermagem é responsável pelo acolhimento, triagem, anamnese e outros procedimentos concernentes à admissão do paciente para a realização do exame; o médico responsável pelo laudo, com base no pré-diagnóstico realizado pela ferramenta de IA selecionada. (iii) Aspectos econômicos: analisar os recursos financeiros da unidade de saúde, incluindo investimentos em saúde pública e as fontes de financiamento para o projeto, como subsídios governamentais e parcerias público-privadas. (iv) Aspectos físicos: avaliar a infraestrutura da unidade de saúde, incluindo equipamentos de TC, espaço físico para o atendimento dos pacientes, e a disponibilidade de plataformas digitais e <i>softwares</i> para telerradiologia e IA. (v) Aspectos organizacionais: analisar a estrutura organizacional da unidade de saúde, incluindo os fluxos de trabalho para o diagnóstico do câncer de pulmão, e a capacidade de integrar novas tecnologias e processos. Definir se as consultas iniciais serão remotas ou presenciais. Além disso, deve ficar claro, após a conduta médica, para onde os pacientes deverão ser encaminhados, se para biópsia ou radioterapia, por exemplo. Nessa etapa, também deve ser definida a responsabilidade pela notificação dos órgãos competentes sobre novos casos de câncer de pulmão confirmados.
2. Definições: (i) Definições iniciais: esclarecer a justificativa do projeto, com base nas projeções de crescimento do câncer de pulmão e nas desigualdades no acesso ao diagnóstico precoce na ALC. Definir os objetivos do projeto, como a redução da mortalidade por câncer de pulmão e a otimização do sistema de saúde. Justificar a escolha da cidade ou região piloto, com base nos dados da região escolhida, como as taxas de incidência e mortalidade, bem como a infraestrutura adequada para a execução do projeto. Caracterizar a melhor forma para realização dos exames, com base na estrutura do modelo. (ii) Recursos materiais: listar os recursos materiais necessários para o projeto, incluindo equipamentos de TC, plataformas digitais, <i>softwares</i> de IA para o pré-diagnóstico e classificação dos casos conforme a urgência, materiais para campanhas de conscientização e recursos para treinamento da equipe médica. (iii) Recursos financeiros: detalhar os recursos financeiros para o projeto, incluindo investimentos em infraestrutura, custeio de pessoal, custos operacionais e manutenção dos equipamentos.

Quadro 12 — Sugestão de procedimentos para implementação do *framework* (continuação)

(iv) Tecnologia de IA: avaliar a tecnologia de IA disponível para o projeto, incluindo plataformas de <i>deep learning</i> para detecção e classificação de nódulos pulmonares (ou estágios do câncer) em imagens de TCBD. Analisar a capacidade de integração da IA com os sistemas de telerradiologia. Criar um banco de dados para documentar as imagens e casos, servindo como base para o treinamento e aperfeiçoamento do modelo, além de disponibilizar para possíveis instituições parceiras de pesquisa. (v) TIC: avaliar a plataforma de ensino a distância que será utilizada para o treinamento dos membros do projeto, bem como outras tecnologias de suporte, como aplicativos, sites e mídias sociais, que poderão ser utilizados informativamente e de comunicação com a população de interesse. Isso inclui os tanto os canais analógicos quanto os digitais. (vi) Configuração técnica: analisar a configuração técnica dos equipamentos de TC, plataformas digitais e <i>softwares</i> de IA, garantindo a compatibilidade e a interoperabilidade entre os sistemas. (vii) Layout (disposição): avaliar o <i>layout</i> da unidade de saúde para o fluxo de atendimento dos pacientes, incluindo espaço físico para o exame de TCBD, salas de laudo para telerradiologia e áreas de recepção e espera. (viii) Envolvidos no projeto: definir os participantes do projeto, incluindo radiologistas, pneumologistas, oncologistas, enfermeiros, técnicos de radiologia, especialistas em IA, membros da comunidade científica e representantes da comunidade em geral. (ix) Treinamentos: realizar treinamentos iniciais sobre o sistema, para que todos os integrantes tenham uma visão holística dos resultados esperados.
3. Metodologia: (i) Revisão bibliográfica: revisar a literatura sobre o diagnóstico precoce do câncer de pulmão, incluindo estudos sobre a efetividade da TCBD, a aplicação da IA em imagens médicas e as melhores práticas em telerradiologia. (ii) Fundamentação teórica: a fundamentação do projeto pode partir da presente tese, mas precisa se atualizar devido aos avanços e aumento das pesquisas da área. (iii) Escolha da metodologia pedagógica: adotar metodologias pedagógicas inovadoras para o treinamento da equipe médica, como o ensino híbrido, a aprendizagem baseada em problemas, as bases do Conectivismo, o desenvolvimento de competências em IA e a oferta de microcredenciais. (iv) Pesquisas: conduzir pesquisas para avaliar a efetividade do projeto, incluindo a análise de dados epidemiológicos, a avaliação da qualidade dos diagnósticos, a satisfação dos pacientes e, principalmente, o acompanhamento dos desfechos da intervenção da campanha a médio e longo prazo (Ex.: 10 anos). (v) Desenvolvimento das atividades: planejar as atividades do projeto detalhadamente, incluindo cronogramas, fluxos de trabalho e responsabilidades dos participantes. (vi) Apresentação: definir as estratégias de apresentação dos resultados do projeto, incluindo relatórios técnicos, artigos científicos e apresentações em congressos. (vii) Acompanhamento: planejar a análise constante do programa, inserindo um ciclo de <i>feedback</i>, a fim de melhorar o modelo frequentemente. Isso serve tanto para as ferramentas de IA utilizadas quanto para o fluxograma utilizado na execução do projeto.
4. Procedimentos para viabilização do projeto: (i) Elaboração do Projeto: elaborar o projeto detalhadamente, incluindo objetivos, metas, cronogramas, recursos, equipe e estratégias de avaliação. (ii) Apresentação do Projeto: apresentar o projeto aos <i>stakeholders</i>, incluindo gestores de saúde, médicos, pacientes e representantes da comunidade, para obter apoio e colaboração.

Quadro 12 — Sugestão de procedimentos para implementação do *framework* (conclusão)

(iii) Solicitações: realizar as solicitações necessárias para a implementação do projeto, como autorizações para o uso de novas tecnologias, licenças para <i>softwares</i> e aprovação de comitês de ética. (iv) Definição das atividades: definir as atividades de cada etapa do projeto, incluindo o treinamento inicial, a criação do comitê científico, a campanha de rastreamento, a realização dos exames de TCBD, a análise das imagens por IA, o telelaudo e o encaminhamento para tratamento. (v) Escolhas: tomar decisões estratégicas para o projeto, como a escolha da plataforma de IA, a definição dos critérios de inclusão dos pacientes e a seleção dos especialistas em telerradiologia.
5. Execução: (I) Implementação: implementar o projeto com monitoramento das atividades, gerenciando os recursos e garantindo a qualidade dos processos. (II) Período de execução: (i) Tempo: definir o tempo total para a execução do projeto, incluindo as etapas de planejamento, implementação, avaliação e apresentação dos resultados. (ii) Período: estabelecer o período do ano para a execução do projeto, considerando a disponibilidade da equipe médica, o acesso aos equipamentos e a demanda dos pacientes. (iii) Número de Exames: estimar o número de exames de TCBD a serem realizados durante o projeto, com base na população de risco e na capacidade de atendimento da unidade de saúde. (iv) Locais: definir os locais para a realização das atividades do projeto, incluindo a unidade de saúde (fixa ou móvel), as salas de laudo para telerradiologia e os espaços para treinamento da equipe.
6. Planejamento das atividades: (i) Dos profissionais de saúde: detalhar as atividades dos profissionais de saúde, incluindo a solicitação dos exames de TCBD, a realização dos exames, a análise das imagens por IA, o telelaudo e o encaminhamento para tratamento. (ii) Dos pacientes: definir as atividades dos pacientes, incluindo a participação na campanha de rastreamento, a realização do exame de TCBD e o acompanhamento médico. (iii) De Pesquisa: planejar as atividades de pesquisa, incluindo a coleta de dados, a análise estatística e a elaboração de relatórios e artigos científicos. (iv) Das campanhas de chamamento: criar um cargo ou um comitê para viabilizar o planejamento de marketing a ser utilizado na campanha, tanto em mídias físicas quanto digitais. (v) Das campanhas de cessação de tabagismo: buscar parcerias para o desenvolvimento de campanhas de cessação de tabagismo, relacionadas à campanha de chamamento para o rastreamento do câncer de pulmão. (vi) Dos cursos de educação profissional: criar um cronograma de cursos e treinamentos, tanto para os profissionais envolvidos no projeto quanto para a população em geral, enfatizando aspectos preventivos da doença, além de questões psicológicas e familiares. (vii) Dos cursos e workshops híbridos para pacientes e familiares: criar cursos digitais e <i>workshops</i> híbridos sobre prevenção do câncer de pulmão, cuidados no tratamento e apoio psicológico. (viii) Avaliações: estabelecer os métodos de avaliação do projeto, com base em indicadores e métricas, incluindo a análise da qualidade dos diagnósticos, a satisfação dos pacientes e o impacto na saúde pública. (ix) Apresentação: planejar as apresentações dos resultados do projeto, incluindo a elaboração de relatórios, artigos científicos e apresentações em congressos e eventos.

Fonte: O autor (2025), com base em Schneider (2001). Nota: ALC = América Latina e Caribe; IA = Inteligência Artificial; TCBD = Tomografia Computadorizada de Baixa Dose; TIC = Tecnologia da Informação e Comunicação.

Além das direções sugeridas de implementação do *framework*, é imprescindível que pesquisadores e gestores de saúde se comprometam com a coleta sistemática de dados para informar decisões estratégicas. A promoção de campanhas que eduquem a população sobre a importância do rastreamento precoce, integrando esses *insights* nas políticas de saúde pública pode potencializar o impacto do *framework*. Estimula-se também a busca por financiamento e recursos que viabilizem pesquisas interdisciplinares e ampliem a infraestrutura necessária para a execução dos protocolos sugeridos, garantindo assim um ciclo contínuo de melhoria e adaptação às necessidades emergentes no combate ao câncer.

Por fim, podem ser criados canais de educação para o público, abordando tópicos como hábitos saudáveis, cuidados pós-operatórios e a oferta de acompanhamento profissional e psicológico, auxiliando no enfrentamento da doença e, possivelmente, no luto. Além disso, a criação de comunidades entre os envolvidos, incluindo pacientes, familiares e profissionais de saúde, pode favorecer o compartilhamento de experiências, fortalecer o apoio mútuo e promover conexões mais humanas, contribuindo para a construção de uma rede de suporte sólida e acolhedora.

2.6 Discussão geral e implicações

2.6.1 Respondendo aos objetivos da pesquisa

O **estudo transversal** investigou a distribuição de tecnologias de diagnóstico por imagem e tratamento oncológico, além da disponibilidade de médicos especialistas na ALC. Também foram realizadas comparações entre os países da região investigada, situando-a em um cenário global. Os resultados mostraram desigualdades na distribuição desses elementos, falta de padrão nos investimentos percentuais do PIB em saúde e projeções de crescimento do câncer até 2045, indicando a necessidade urgente de estratégias para diagnóstico precoce do câncer, sobretudo o de pulmão, e abordagens combinadas com serviços de saúde para minimizar os impactos da doença. Em relação aos objetivos secundários, têm-se:

1. **Mapear a distribuição e disponibilidade de recursos de diagnóstico por imagem e a densidade de médicos especialistas e Radiologia e MN na ALC:** foram identificadas disparidades regionais significativas. Em países de baixa renda, como o Haiti e outras nações caribenhas, a infraestrutura é limitada, com acesso deficitário a tecnologias de imagem devido à escassez de equipamentos e profissionais qualificados. Embora a ALC possua certa disponibilidade de recursos, esta se mostra insuficiente para atender à crescente demanda associada ao câncer. A distribuição desigual desses recursos reforça a necessidade urgente de implementação de políticas públicas e investimentos estratégicos para ampliar a quantidade e a qualidade dos serviços de diagnóstico, bem como a capacitação profissional e a criação de centros

especializados e de referência em oncologia.

2. Identificar e analisar as principais lacunas e desafios na implementação de programas de diagnóstico precoce do câncer de pulmão na ALC: os principais desafios incluem a falta de acesso à TCBD e a escassez de radiologistas e médicos nucleares, especialmente em países de baixa renda. Além disso, a fragmentação dos sistemas de saúde e a insuficiência de investimentos na área representam barreiras importantes. Outros desafios incluem a necessidade de bases de dados de alta qualidade para o treinamento de IA, a garantia da privacidade dos dados e a importância da colaboração entre diferentes áreas do conhecimento. Contudo, essa análise deve ser feita especificamente para cada cidade ou microrregiões para destacar as particularidades locais.

3. Analisar a relação entre a disponibilidade de recursos de imagem e os fatores socioeconômicos, demográficos e epidemiológicos do câncer: a análise sugere que a disponibilidade de recursos de imagem está intimamente relacionada a fatores socioeconômicos, como renda per capita e investimento em saúde pública. Regiões com melhores indicadores econômicos tendem a ter maior acesso à tecnologia de imagem e profissionais qualificados, impactando positivamente nos índices de diagnóstico e mortalidade por câncer. Dessa forma, uma compreensão aprofundada dessas interações é crucial para o desenvolvimento de estratégias efetivas de saúde.

4. Investigar a relação entre investimentos em saúde, densidade de médicos especialistas e indicadores de câncer: a investigação revela que países com gastos em saúde proporcionais a uma maior densidade de profissionais de saúde experienciam indicadores menos desfavoráveis de câncer, sugerindo que a qualidade e a capacidade de atendimento são diretamente influenciadas pelo investimento em formação e infraestrutura. Assim, políticas que garantam um aumento no financiamento e na formação contínua dos profissionais de saúde são essenciais para melhorar os resultados no combate ao câncer.

5. Comparar os indicadores de câncer entre países da ALC e outras regiões globais, considerando diferenças estruturais e socioeconômicas: a comparação evidencia que a ALC apresenta indicadores de câncer que, embora piores que os de regiões com melhores condições econômicas, são melhores que aqueles observados em áreas com infraestrutura de saúde extremamente limitada, como na África Subsaariana. As diferenças na disponibilidade de recursos, na densidade de profissionais e nas condições socioeconômicas ajudam a contextualizar as variações nos indicadores de incidência e mortalidade por câncer, ressaltando a necessidade de ações direcionadas para reduzir essas disparidades regionais.

A **análise bibliométrica** mapeou padrões e tendências na literatura sobre a aplicação da IA no diagnóstico oncológico, com ênfase em TC e RM. Os resultados proporcionaram

uma compreensão holística das aplicações potenciais da IA, concentrando-se em detecção, segmentação e classificação, integradas ao contexto do diagnóstico oncológico. O crescente interesse acadêmico e a versatilidade das aplicações demonstram eficácia e precisão, alinhando a IA como elemento diferencial e possível de ser introduzido no modelo proposto. Considerando os altos índices de mortalidade do câncer de pulmão, a comunidade científica explora a IA como ferramenta estratégica no combate dessa doença, reafirmando o propósito do modelo desenvolvido nesta tese.

1. Mapear o estado da arte por meio da análise bibliométrica das aplicações da IA no diagnóstico por imagem oncológica, com ênfase em TC e RM, identificando os principais autores, instituições, países e periódicos mais produtivos e influentes: o estado da arte (bibliométrico) da literatura sobre aplicações da IA em imagem oncológica, baseado em uma amostra de 724 artigos selecionados, revela um campo em expansão, com crescimento significativo de publicações desde 2019. A pesquisa possui predominância regionalizada com uma certa abertura global, com destaque para autores como Wang Y, Zhang H e Zang L, e para países como China, EUA e Índia. As principais instituições são a University of California e a Southern Medical University, enquanto o periódico mais relevante é o *European Radiology*, com 33 artigos publicados.

2. Identificar as tendências temáticas emergentes das aplicações da IA no diagnóstico por imagem oncológica, com ênfase em TC e RM: as tendências emergentes incluem o uso da IA para detecção e classificação de tumores, com destaque para o *deep learning*, voltadas à detecção e classificação automática de tumores, especialmente nos casos de câncer de pulmão e cérebro. Entre os temas em ascensão, destaca-se também a segmentação automatizada por meio de CNN, além do desenvolvimento de modelos preditivos para caracterização molecular dos tumores. A radiômica vem ganhando centralidade nas pesquisas, sinalizando uma consolidação progressiva no campo, em interseção com a IA. Novas técnicas, como métodos de aprendizado fracamente supervisionados e redes neurais convolucionais, estão sendo exploradas para aprimorar a precisão e a eficiência do diagnóstico oncológico. A necessidade de validação clínica e a aplicabilidade dessas ferramentas também são tópicos centrais, com foco na confiabilidade e integração das tecnologias na prática clínica.

O *framework* proposto nesta tese se correlaciona com o modelo de Raez *et al.* (2018) em diversos aspectos, sobretudo no que diz respeito à estruturação e organização de um programa de rastreamento de câncer de pulmão por TCBD. Ambos os modelos enfatizam a importância da elegibilidade dos participantes, da educação sobre o programa, da aquisição e revisão de imagens, da frequência e intervalo de rastreamento, da comunicação dos resultados

e da melhoria contínua da qualidade. Entretanto, o modelo proposto adiciona elementos como a utilização da IA para pré-diagnóstico e classificação de casos, a integração da telerradiologia para superar a escassez de especialistas e a utilização da saúde descentralizada e suplementar para ampliar o acesso ao exame, tornando-o mais abrangente e adaptado à realidade da ALC.

1. **Propor soluções inovadoras e viáveis para superar as lacunas e desafios identificados, com base nos princípios da transdisciplinaridade:** o *framework* integra diferentes tecnologias e fundamentos teóricos para mitigar as deficiências no diagnóstico precoce do câncer de pulmão. A transdisciplinaridade se estabelece como um elemento fundamental e integrador do modelo, promovendo a interação entre áreas como saúde, tecnologia e comunicação, resultando em uma abordagem ativa e abrangente. O planejamento estratégico e a colaboração entre diferentes atores também se mostram essenciais para o sucesso da proposta. A criação de canais de educação, oferta de acompanhamento psicológico profissional e a criação de comunidades entre pacientes e familiares, reflete a integração de disciplinas sobre uma perspectiva humanizada.
2. **Avaliar o potencial impacto do *framework* proposto na otimização do diagnóstico precoce do câncer de pulmão e no aumento da sobrevida dos pacientes:** o modelo proposto tem o potencial de impactar positivamente o diagnóstico precoce da doença e contribuir para a redução da mortalidade, ao otimizar o acesso à TCBD e conectar radiologistas a regiões com escassez de especialistas. A IA pode auxiliar na triagem e classificação de casos, agilizando o diagnóstico e o início do tratamento. A colaboração interinstitucional e o planejamento estratégico podem fortalecer os sistemas de saúde e garantir a sustentabilidade do *framework*.
3. **Apresentar procedimentos como sugestão para a implementação de um projeto-piloto do modelo:** os procedimentos sugeridos encontram-se detalhados na Seção 2.5.4 (Quadro 12).

2.6.2 Implicações dos achados e relação com a literatura

Os achados da presente pesquisa corroboram as evidências de Redondo-Sánchez *et al.* (2022) no artigo *Socio-economic inequalities in lung cancer outcomes: an overview of systematic reviews*, validando os objetivos e proposições do *framework* desenvolvido. A constatação de que a posição socioeconômica afeta os desfechos do câncer de pulmão alinha-se com a observação sobre desigualdades no acesso a recursos médicos e especialistas na ALC, reforçando a tese de que as desigualdades contribuem para diagnósticos tardios e maior mortalidade em populações de baixa renda.

O alerta dos autores (Redondo-Sánchez *et al.*, 2022) de que programas de rastreamento, como a TCBD, podem agravar desigualdades se não houver estratégias

específicas, é relevante para a presente pesquisa. O modelo proposto pode mitigar essas desigualdades se implementado corretamente, considerando as barreiras socioeconômicas. Portanto, os achados do artigo não apenas corroboram a análise da tese, mas também validam a proposição do *framework* como uma abordagem necessária e adaptável à realidade socioeconômica da ALC, reforçando a urgência de intervenções para promover a equidade na saúde.

Em relação às desigualdades no acesso ao diagnóstico por imagem na América Latina, a revisão de Oliveira e Pereira (2024) destaca que essas disparidades não são causadas apenas por fatores individuais, mas também por condições históricas que perpetuam a exclusão social. Isso é reforçado pelos dados de Alencar *et al.* (2024), que demonstraram que a população que depende da saúde pública pode ter o acesso aos diagnósticos por imagem comprometido em relação àqueles que utilizam a saúde privada.

O sistema privado detém a maioria dos equipamentos e realiza a maioria dos exames de TC e RM, o que significa que menos de 30% da população brasileira tem acesso a esses recursos. Consequentemente, a maioria da população depende do sistema público, que possui uma menor porcentagem de recursos, agravando a discrepância entre a demanda por exames e a capacidade de acesso ao procedimento. Esse estudo evidencia a importância da saúde suplementar, representada pelos planos privados, e das parcerias entre os setores público e privado. Isso pode ser considerado uma estratégia essencial para mitigar as desigualdades no acesso a serviços de diagnóstico por imagem, corroborando a estratégia do *framework*.

No que diz respeito ao uso da IA para o diagnóstico precoce do câncer de pulmão, o estudo de Zyla *et al.* (2023) explorou a combinação da radiômica, baseada em TCBD, com a metabolômica sérica para diagnóstico de nódulos malignos³². Os resultados mostraram que a radiômica apresentou maior capacidade para discriminar entre câncer de pulmão e lesões benignas, com uma AUC de 83%, em contraste com a AUC de 60% para a metabolômica.

Embora a combinação de radiômica e metabolômica tenha mostrado um pequeno aumento na performance (AUC de 85%), essa melhora não foi estatisticamente significativa. No entanto, a integração de diferentes abordagens diagnósticas parece uma estratégia promissora para superar as limitações da triagem atual. A incorporação da radiômica como estratégia para enriquecer modelos preditivos segue alinhada ao *framework* da tese, especialmente no contexto da extração e análise quantitativa de imagens médicas, podendo contribuir para o aprimoramento de bancos de dados utilizados no treinamento de modelos de IA.

A respeito do rastreamento por TCBD (ver 2.1.10), este torna-se mais eficaz quando integrado a programas de saúde pública e conduzido com acompanhamento contínuo para minimizar perdas de seguimento e sobrediagnósticos. No entanto, essa estratégia apresenta fragilidades, ao depender fortemente do comprometimento dos pacientes. A taxa de perda de seguimento mencionada no quadro 3 corresponde à porcentagem de participantes que, ao

³² Exame sanguíneo para identificar biomarcadores que auxiliam no diagnóstico de nódulos malignos.

longo do acompanhamento, deixaram de atender aos critérios do estudo devido à desistência, falta de resposta, mudança de endereço, impossibilidade de contato, eventos adversos ou óbito. Para mitigar isso, é sugerido, quando possível, o desenvolvimento de estratégias de engajamento, como comunicação ativa, atualização de um banco de dados, suporte contínuo e incentivos para a adesão ao acompanhamento.

Pan *et al.* (2014) identificaram uma disparidade de tempo ao acesso entre áreas urbanas e rurais, em que, apesar de mais de 95% da população urbana ter acesso a esse exame, menos de 40% segue as recomendações de rastreamento anual. Isso reforça a importância de estratégias de comunicação ativa para alcançar pessoas com a doença em estágio inicial e fornecer condições de deslocamento para que elas possam realizar os exames e dar continuidade ao tratamento, evitando a perda de oportunidade de diagnóstico e tratamento precoces.

Em relação ao crescimento da produção de artigos sobre IA no diagnóstico por imagem do câncer de pulmão, a análise bibliométrica apresentada no estudo de Wang *et al.* (2025) oferece um panorama relevante, alinhando-se aos achados da presente tese sobre a liderança da China e dos EUA no cenário global, o crescimento da produção nos últimos cinco anos, com rápida expansão da pesquisa e abertura para mais colaborações internacionais. A concentração das publicações nas áreas de Radiologia, MN e Oncologia reflete a proposta da tese de integrar a IA para otimizar os processos diagnósticos.

2.6.3 Limitações do *framework* e direções futuras

As potencialidades e desafios do modelo foram apresentados na Seção 2.5.2, mas algumas limitações devem ser destacadas. Embora esta tese proponha um modelo conceitual, a ausência de validação empírica pode comprometer a confiança em suas previsões e aplicabilidade em diferentes cenários. A validação é essencial para assegurar que as ferramentas propostas sejam eficazes e adaptáveis às realidades locais, fortalecendo a credibilidade do modelo.

Ademais, o contexto em que o modelo será aplicado necessita de uma revisão cuidadosa. É essencial fazer uma adaptação que considere as especificidades socioeconômicas e culturais de cada cidade ou região. Tal personalização do modelo não representa somente uma limitação, mas também uma oportunidade de aprimoramento, pois a adaptação ao contexto local poderá resultar em soluções mais eficazes e adequadas, expandindo e fortalecendo as bases do modelo. Para atender a necessidade de reestruturar os sistemas de saúde, um ponto de partida seria investigar a alocação de recursos na atenção primária à saúde e nos programas de triagem, o que fortaleceria o caráter preventivo do modelo.

No que tange às direções futuras, a utilização da metodologia Delphi para validar o modelo é sugerida como próximo passo. Essa metodologia permite a coleta de opiniões de

especialistas por meio de rodadas sucessivas de questionários, possibilitando refinamentos baseados em *feedback* construtivo. O uso do Delphi pode melhorar o modelo ao garantir que ele esteja fundamentado em uma ampla gama de conhecimentos e experiências de especialistas da área, contribuindo para a identificação de lacunas, incertezas e oportunidades. Isso fornecerá uma base mais sólida para a implementação do modelo, aumentando sua aceitação entre profissionais de saúde e melhorando a eficácia das intervenções propostas.

Além da validação da estrutura do *framework*, e da implantação de um projeto-piloto, podem-se desenvolver algoritmos para triagem e classificação da urgência de cada caso; explorar a integração entre diferentes tecnologias digitais, bem como propor soluções para melhorar a interoperabilidade entre os sistemas hospitalares; criar repositórios de dados centralizados e anônimos para o treinamento de ferramentas de IA; e desenvolver estratégias de aprendizado federado, que permitem que o algoritmo de IA seja treinado diretamente no próprio equipamento de TC, eliminando a necessidade de transferência dos dados para servidores centrais e preservando a privacidade e a segurança das informações.

Ademais, sugerem-se iniciativas de educação comunitária, como *workshops* híbridos sobre a prevenção do câncer de pulmão e a criação de plataformas *online* com informações sobre detecção, tratamento e cuidados. Essas ações estão alinhadas com a ideia de educação aberta e à distância, proposta por Pierre Lévy (1997), que defende o uso de tecnologias digitais não apenas para ensino remoto, mas para promover um novo estilo pedagógico. Esse modelo valoriza o aprendizado personalizado e a cooperação em rede, onde o educador se torna um facilitador da inteligência coletiva, ajudando os participantes a aprender e compartilhar conhecimentos de forma colaborativa. A inteligência coletiva, nesse contexto, se refere ao processo de construção de saberes e soluções a partir da contribuição conjunta de todos, potencializando o aprendizado e a ação comunitária. Assim, essas plataformas e *workshops* não apenas fornecem informações, mas criam um espaço para a troca contínua de saberes e experiências, fortalecendo a participação ativa de todos.

Uma perspectiva que surgiu no decorrer do trabalho, foi o desenvolvimento de “tumores artificiais” como modelos para radioterapia que envolvam a criação de simulações precisas que replicam características anatômicas e biológicas dos tumores, permitindo o planejamento de tratamentos personalizados e melhorando o treinamento de profissionais de saúde na detecção precoce do câncer de pulmão. Esses modelos podem ser utilizados para validar novas técnicas de imagem e algoritmos de IA, aprimorando os protocolos de diagnóstico propostos na tese e facilitando a integração com TDIC. Ao potencializar o diagnóstico precoce e o tratamento individualizado, essa abordagem pode contribuir para aumentar a perspectiva de sobrevida de pacientes na ALC.

Por fim, embora não tenha sido o objetivo primário desta pesquisa investigar a disponibilidade dos recursos de mamografia na ALC, os achados da tabela 3 indicam que a adição de dados complementares sobre a estrutura dessa modalidade, bem como investigar,

futuramente, as estratégias pontuais adotadas pelos países para o combate do câncer de mama, pode contribuir para obter *insights* para o desenvolvimento de estratégias preventivas e de diagnóstico precoce do câncer de pulmão.

3 CONCLUSÃO

O *framework* proposto nesta tese apresenta uma alternativa promissora para reduzir desigualdades no acesso à saúde e melhorar a sobrevivência de pacientes com câncer de pulmão. A pesquisa evidenciou a relevância da transdisciplinaridade e do pensamento estratégico na formulação de soluções inovadoras, destacando a necessidade de planejamento estruturado, investimentos em infraestrutura e capacitação profissional para sua implementação.

O estudo transversal revelou disparidades significativas na disponibilidade de equipamentos e profissionais de imagem médica entre os países da ALC, evidenciando um gargalo no diagnóstico precoce do câncer de pulmão. Nesse contexto, a telerradiologia surge como uma estratégia fundamental para suprir a carência de especialistas e agilizar a conduta médica, permitindo uma distribuição mais equitativa dos laudos. Além disso, estratégias como a mobilidade de pacientes ou o diagnóstico móvel representam alternativas viáveis para mitigar as deficiências na infraestrutura local.

Paralelamente, a análise bibliométrica demonstrou um crescimento exponencial da pesquisa sobre IA aplicada ao diagnóstico por imagem, com destaque para o *deep learning* e o *machine learning* em TC e RM, cujos achados reforçam o potencial dessas tecnologias para aprimorar a precisão e a rapidez dos diagnósticos. Ao integrar evidências sobre a aplicação da IA e sobre o uso da telerradiologia para otimizar o diagnóstico do câncer de pulmão, orientados por uma estratégia ativa de rastreamento, o *framework* proposto nesta tese apresentou-se como um instrumento potencial para suportar a prática clínica e estratégias de saúde pública no diagnóstico por imagem oncológico do câncer de pulmão, em contextos de deficiência estrutural na ALC.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, Alhamzah F. *et al.* Bibliometrix analysis of information sharing in social media. **Cogent Business & Management**, [s.l.], v. 9, n. 1, 23 jan. 2022.
- AGNES, S. Akila; SOLOMON, A. Arun; KARTHICK, K. Wavelet U-Net++ for accurate lung nodule segmentation in CT scans: improving early detection and diagnosis of lung cancer. **Biomedical Signal Processing and Control**, [s.l.], v. 87, jan. 2024. Part A Artigo 105509.
- AGUIAR JR, Pedro Nazareth; STOCK, Gustavo Trautman; LOPES JR, Gilberto de Lima. Disparities in cancer epidemiology and care delivery among Brazilian indigenous populations. **Einstein**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 330-337, 2016.
- AL-DAHERY, Shrooq T. *et al.* The role of teleradiology during COVID-19 outbreak. **Saudi Medical Journal**, Riyadh, v. 44, n. 2, p. 202-210, fev. 2023.
- ALABI, G. Bradford's law and its application. **International Library Review**, v. 11, n. 1, p. 151-158, jan. 1979.
- ALENCAR, Camila de Almeida Costa *et al.* Tomografia computadorizada e ressonância magnética no Brasil: estudo epidemiológico sobre distribuição dos equipamentos, frequência de realização dos exames e comparação entre setores público e privado. **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 57, 2024. Artigo e20230094.
- ALKADI, Ruba *et al.* A deep learning-based approach for the detection and localization of prostate cancer in T2 magnetic resonance images. **Journal of Digital Imaging**, Philadelphia, v. 32, n. 5, p. 793-807, out. 2019.
- ALMOTAIRI, Sultan *et al.* Liver tumor segmentation in CT scans using modified SegNet. **Sensors**, Basel, v. 20, n. 5, mar. 2020. Artigo 1516.
- ALVARENGA, Lídia. Bibliometria e Arqueologia do Saber de Michel Foucault - traços de identidade teórico-metodológica. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 3, n. 27, set. 1998.
- AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. **Appropriateness criteria**. ACR.orb. Reston, 2025. Disponível em: <https://bit.ly/4hnWNFZ>. Acesso em: 31 jan. 2025.
- AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. **Lung-RADS® v2022**. 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3YIVyzK>. Acesso em: 4 fev. 2025.
- ANARAKI, Amin Kabir *et al.* Magnetic resonance imaging-based brain tumor grades classification and grading via convolutional neural networks and genetic algorithms. **Biocybernetics and Biomedical Engineering**, v. 39, n. 1, p. 63-74, jan.-mar. 2019.
- ANTOCH, Gerald. Whole-body dual-modality PET/CT and whole-body MRI for tumor staging in oncology. **JAMA**, Chicago, v. 290, n. 24, 24 dez. 2003.
- ANTONELLI, Michela *et al.* Machine learning classifiers can predict Gleason pattern 4 prostate cancer with greater accuracy than experienced radiologists. **European Radiology**, v. 29, n. 9, p. 4754-4764, set. 2019.

ARDILA, Diego *et al.* End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. **Nature Medicine**, New York, v. 25, n. 6, p. 954-961, jun. 2019.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado . **Comprehensive science mapping analysis**: package ‘bibliometrix’. 2025. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/bibliometrix/bibliometrix.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2025.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: an R-tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, nov. 2017.

ARIF, Muhammad *et al.* Clinically significant prostate cancer detection and segmentation in low-risk patients using a convolutional neural network on multi-parametric MRI. **European Radiology**, Berlin, v. 30, n. 12, p. 6582-6592, dez. 2020.

ASUNTHA, A.; SRINIVASAN , Andy. Deep learning for lung cancer detection and classification. **Multimedia Tools and Applications**, [s.l.], v. 79. 7731–7762 p, 2 jan. 2020.

BAATOUT, Sarah. **Radiobiology textbook**. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2023. 667 p.

BALDWIN, David R *et al.* External validation of a convolutional neural network artificial intelligence tool to predict malignancy in pulmonary nodules. **Thorax**, London, v. 75, n. 4, p. 306-312, abr. 2020.

BALL, Rafael. **An introduction to bibliometrics**. Netherlands: Chandos Publishing, 2018.

BARGHOUTI, Shawki M. The role of communication in Jordan's rural development. **Journalism & Mass Communication Quarterly**, v. 51, n. 3, p. 418-424, set. 1974.

BARRIOS, Carlos *et al.* Cancer control in Latin America and the Caribbean: recent advances and opportunities to move forward. **The Lancet Oncology**, London, v. 22, n. 11. e474–e487 p, nov. 2021.

BASHSHUR, Rashid L. *et al.* The empirical foundations of teleradiology and related applications: a review of the evidence. **Telemedicine and e-Health**, v. 22, n. 11, p. 868-898, 1 nov. 2016.

BECKER, Nikolaus *et al.* Lung cancer mortality reduction by LDCT screening—results from the randomized German LUSI trial. **International Journal of Cancer**, v. 146, n. 6, 15 mar. 2020.

BELLUZZO, Regina Celia Baptista. Competências na era digital: desafios tangíveis para bibliotecários e educadores. **ETD - Educação Temática Digital**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 30-50, 12 nov. 2005.

BELTRAN S., Luis Ramiro. Alien premises, objects, and methods in Latin American communication research. **Communication Research**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 107-134, abr. 1976.

BERNSTEIN, Jay H. Transdisciplinarity: a review of its origins, development, and current issues. **Journal of Research Practice**, Athabasca, v. 11, n. 1, 2015. Artigo R1.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **General system theory**: foundations, development, applications. New York: George Braziller, 1968. (Primeira impressão em fevereiro de 1969. Segunda impressão em novembro de 1969).

BHIMAVARAPU, Usharani; CHINTALAPUDI, Nalini; BATTINENI, Gopi. Brain Tumor Detection and Categorization with Segmentation of Improved Unsupervised Clustering Approach and Machine Learning Classifier. **Bioengineering**, Basel, v. 11, n. 3, 8 mar. 2024. Artigo 266.

BIZUAYEHU, Habtamu Mellie *et al.* Global disparities of cancer and its projected burden in 2050. **JAMA Network Open**, Chicago, v. 7, n. 11, 2024. Artigo e2443198.

BODEN, Margaret A. Interdisciplinary epistemology. **Synthese**, v. 85, n. 2, p. 185-197, 1990. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20116843>. Acesso em: 4 fev. 2025.

BOJSEN, Jonas Asgaard *et al.* Artificial intelligence for MRI stroke detection: a systematic review and meta-analysis. **Insights into Imaging**, [s.l.], v. 15, n. 1, 20 jun. 2024. Artigo 160.

BONTRAGER, Kenneth L.; LAMPIGNANO, John P. **Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada**. Tradução Alcir Costa Fernandes, Douglas Omena Futuro, Fabiana Pinzetta. 8 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 825 p. Tradução de: Textbook of radiographic positioning and related anatomy.

BORDENAVE, Juan Díaz. Communication of agricultural innovations in Latin America: the need for new models. **Communication Research**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 135-154, abr. 1976.

BOUSQUAT, Aylene *et al.* A atenção primária em regiões de saúde: política, estrutura e organização. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. Supl 2. e00099118.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Resolução n.º 659**: Dispõe sobre a Política Nacional de Informação e Informática em Saúde (PNIIS). Brasília, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2022/res0659_15_06_2022.html. Acesso em: 3 fev. 2025.

BRASIL. Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei n. 8.080, de 09 de fevereiro de 2025. **Diário Oficial da União**, 19 de setembro de 1990, ano 1990a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRASIL. Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei n. 8.142, de 27 de dezembro de 1990. **Diário Oficial da União**, ano 1990b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8142.htm. Acesso em: 5 fev. 2025.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, ano 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 1 mar. 2025.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma CNEN NN 3.01. Livro. Requisitos básicos de radioproteção e segurança radiológica de fontes de radiação, 28 de março de 2024, ano 2024. Disponível em: <https://bit.ly/3YACD53>. Acesso em: 31 jan. 2025.

BRASIL. Conselho Federal de Medicina. Resolução n. 2.314, de 19 de abril de 2022. **Diário**

Oficial da União: Seção I, 05 de maio de 2022, p. 227. Disponível em: <https://bit.ly/4iSGv9k>. Acesso em: 28 jan. 2025.

BRASIL. Portaria n. 1.631, de 30 de setembro de 2015. **Diário Oficial da União**, 01 de outubro de 2015. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2015/prt1631_01_10_2015.html. Acesso em: 8 fev. 2025.

BRASIL. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei n. 13.685, de 24 de junho de 2018. **Diário Oficial da União**, 25 de junho de 2018, ano 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113685.htm. Acesso em: 11 fev. 2025.

BRASIL. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei n. 14.238, de 18 de novembro de 2021. **Diário Oficial da União**, 19 de novembro de 2021, ano 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/114238.htm. Acesso em: 11 fev. 2025.

BRASIL. Senado Federal - Veneziano Vital do Rêgo - MDB/PB. Projeto de Lei n. 1.083/2023, de 03 de dezembro de 2024. **Diário Oficial da União**, ano 2023. Disponível em: <https://bit.ly/4bgCuba>. Acesso em: 11 fev. 2025.

BRIGANTI, Giovanni; MOINE, Olivier Le. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. **Frontiers in Medicine**, Lausanne, v. 7, 04 fev. 2020. Artigo 27.

BUSHBERG, Jerrold T *et al.* **The essential physics of medical imaging**. 3 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011. 1048 p.

CAETANO, Rosângela *et al.* Desafios e oportunidades para telessaúde em tempos da pandemia pela COVID-19: uma reflexão sobre os espaços e iniciativas no contexto brasileiro. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 5, 2020. Artigo e00088920.

CALLON, M.; COURTIAL, J. P.; LAVILLE, F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: the case of polymer chemistry. **Scientometrics**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 155-205, set. 1991.

CAMACHO-LEON, Genesis *et al.* A narrative review of telemedicine in Latin America during the COVID-19 pandemic. **Healthcare**, Basel, v. 10, n. 8, 22 jul. 2022. Artigo 1361.

CASSETTARI, Rafael-Roeck-Borges *et al.* Comparação da Lei de Zipf em conteúdos textuais e discursos orais. **Profesional de la información**, v. 33, n. 6, 11 mar. 2015.

CASTELLS, Manuel. **La era de la información: economía, sociedad y cultura**. 8 ed. Madrid: Alianza Editorial, S.A., 1997.

CELESTINO, Marcelo Salvador *et al.* Análise bibliométrica: revisão de literatura e proposta de framework metodológico em 12 passos. **Aracê (ARÊ)**, São José dos Pinhais,, v. 6, n. 4, p. 13421-13446, 10 dez. 2024b. Versão em Português.

CELESTINO, Marcelo Salvador *et al.* Uma proposta de sequência didática para o ensino de pós-processamento de imagens diagnósticas em tomografia computadorizada por intermédio

do software gratuito InVesalius. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 20, n. 5. 1261–1285 p, 23 nov. 2023.

CELESTINO, Marcelo Salvador; SILVA, Danielli Santos da; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Aprendo: una herramienta de apoyo docente para la enseñanza a distancia. **Colloquium Humanarum**, Presidente Prudente, v. 20, p. 6-112, 22 mar. 2023a.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Aplicabilidade e benefícios de softwares e simuladores em processos de ensino-aprendizagem. **ETD - Educação Temática Digital**, Campinas, v. 23, n. 4, p. 881-903, 18 nov. 2021.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Digital exclusion: nuances of a phenomenon which causes inequalities and compromises civic engagement in information society. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, [s.l.], v. 9, n. 6, p. 421-431, jun. 2022a.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Digitalization in telehealth: an integrative review. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, [s.l.], v. 8, n. 12, p. 171-185, 2021b.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Inteligência artificial em processos gerenciais (1981-2024) e marketing (1984-2024): análise bibliométrica comparativa. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL INTERDISCIPLINAR UNIFATECIE. 2024. Anais [...] Paranaíba: EduFatecie, 2024c. Disponível em: <https://bit.ly/44AAkBV>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. O impacto emergente do ChatGPT no marketing: análise bibliométrica e tendências recentes (2023-2024). **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 1-21, 16 jan. 2025. Artigo e8749.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. O uso da ferramenta ChatGPT no suporte à educação e à produção acadêmica. **ETD - Educação Temática Digital**, Campinas, v. 26, 29 ago. 2024. Artigo p. e024051; referência 2024a.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Seleção de softwares para o ensino de tomografia computadorizada. In: DE ALMEIDA JÚNIOR, Edson Ribeiro de Britto (Org.). **Ciência, Tecnologia e Inovação: a Nova Produção do Conhecimento**. Ponta Grossa: Atena, 2021c. cap. 16, p. 199-217.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Tendências do uso do ChatGPT no marketing: uma análise de estudos recentes (2023-2024) com apoio bibliométrico. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL INTERDISCIPLINAR UNIFATECIE. Anais [...] Paranaíba: EduFatecie, 2024d. Disponível em: <https://bit.ly/44AAkBV>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. The digital exclusion and the commitment to the sustainable development goals in Brazil. **International Journal of Development Research**, v. 12. 54961–54967 p, 30 mar. 2022. Referência 2022b.

CELESTINO, Marcelo Salvador; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Transformação

digital e os impactos da pandemia por Covid-19 nas empresas. *In*: SANTOS, Igor Luiz Vieira de Lima (Org.); DA SILVA, Carliane Rebeca Coelho (Org.). **COVID-19: Impactos e Descobertas**. Campina Grande: Science, 2021d. cap. 9, p. 113-126.

CELIK, Yusuf *et al.* Automated invasive ductal carcinoma detection based using deep transfer learning with whole-slide images. **Pattern Recognition Letters**, [s.l.], v. 133, p. 232-239, maio 2020.

CHANG, Yu-Wei; HUANG, Mu-Hsuan; LIN, Chiao-Wen. Evolution of research subjects in library and information science based on keyword, bibliographical coupling, and co-citation analyses. **Scientometrics**, v. 105. 2071–2087 p, 26 set 2015.

CHEN, Guo *et al.* Comparing semantic representation methods for keyword analysis in bibliometric research. **Journal of Informetrics**, v. 18, n. 3, p. 101529-101529, 1 ago. 2024.

CHEN, Po-Ting *et al.* Pancreatic cancer detection on CT scans with deep learning: a nationwide population-based study. **Radiology**, Easton, v. 306, n. 1, p. 172-182, jan. 2023.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração**. 7 ed. Rio De Janeiro: Elsevier Campus, 2004.

CIOMPI, Francesco *et al.* Towards automatic pulmonary nodule management in lung cancer screening with deep learning. **Scientific Reports**, London, v. 19, n. 7, 19 abr. 2017. Artigo 46479.

CLARIVATE. **Keywords plus generation, creation, and changes**. support.clarivate.com. 2022. Disponível em: <https://bit.ly/40gdT18>. Acesso em: 5 fev. 2025.

COMISSÃO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA. **Bases físicas e tecnológicas em diagnóstico por imagem: Física médica para residentes**. [s.l.]: Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3FrVu7G>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CONG, Chao *et al.* MRI-based breast cancer classification and localization by multiparametric feature extraction and combination using deep learning. **Journal of Magnetic Resonance Imaging: JMRI**, Chicago, v. 59, n. 1, p. 148-161, jan. 2024.

CRASTA, Lavina Jean; NEEMA, Rupal; PAIS, Alwyn Roshan. A novel deep learning architecture for lung cancer detection and diagnosis from computed tomography image analysis. **Healthcare Analytics**, [s.l.], v. 5, jun. 2024. Artigo 100316.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. Plano. **Designing and conducting mixed methods research**. 3 ed. Los Angeles: SAGE, 2018.

CUETO, Marcos. The origins of primary health care and selective primary health care. **American Journal of Public Health**, New York, Washington, DC, v. 94, n. 11, p. 1864-1874, nov. 2004.

DEEPAK, S.; AMEER, P. M. Brain tumor classification using deep CNN features via transfer learning. **Computers in Biology and Medicine**, New York, v. 111, ago. 2019. Artigo 103345.

DONABEDIAN, Avedis. The quality of care. How can it be assessed?. **JAMA**, Chicago, v. 260, n. 12, p. 1743-1748, set. 1988.

DONTHU, Naveen *et al.* How to conduct a bibliometric analysis: an overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285-296, set. 2021.

DURIEUX, Valérie; GEVENOIS, Pierre Alain. Bibliometric indicators: quality measurements of scientific publication. **Radiology**, v. 255, n. 2, p. 342-351, maio 2010.

ECHCHAKOUI, Saïd. Why and how to merge Scopus and Web of Science during bibliometric analysis: the case of sales force literature from 1912 to 2019. **Journal of Marketing Analytics**, London, v. 8, p. 165-184, 29 jun. 2020.

ECO, Umberto. **Como se faz uma tese**. Tradução Gilson Cesar Cardoso de Souza. 18 ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 2003. Tradução de: Come si fa una tesi di laurea.

EGGHE, Leo. Theory and practice of the g-index. **Scientometrics**, [s.l.], v. 69, p. 131-152, out. 2006.

ELLIS, Libby *et al.* Cancer incidence, survival and mortality: explaining the concepts. **International Journal of Cancer**, New York, v. 135, n. 8, p. 1774-1782, 15 out. 2014.

ERICKSON, Bradley J. *et al.* Machine learning for medical imaging. **Radiographics**, Oak Brook, v. 37, n. 2, p. 505-515, mar. 2017.

ESCUADERO, Elena. **El Hospital Doctor Balmis de Alicante, pionero en la aplicación de IA en las radiografías de tórax y hueso**. Cadenaser.com. 2025. Disponível em: <https://bit.ly/41k1gCC>. Acesso em: 26 fev. 2025.

ETGES, Norberto J. Ciência, interdisciplinaridade e educação. *In*: JANTSCH, Ari Paulo (Org.); BIANCHETTI, Lucídio (Org.). **Interdisciplinaridade: para além da filosofia do sujeito**. 5 ed. Petrópolis: Vozes, 1995. cap. 3, p. 51-84.

EUROPEAN COMMISSION. **A European approach to micro-credentials**: output of the micro-credentials higher education consultation group : final report. Luxembourg, 2020. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7a939850-6c18-11eb-aeb5-01aa75ed71a1>. Acesso em: 11 fev. 2025.

FERLAY, J. *et al.* **Global Cancer Observatory**: cancer today. geo.iarc.who.int. Lyon, 2024. Disponível em: <https://bit.ly/3DZUiLe>. Acesso em: 17 jan. 2025.

FERNANDEZ, Andrés; OVIEDO, Henrique. **E-health in Latin America and Caribbean**: progress and challenges. Santiago: United Nations Publication, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/4gsyupU>. Acesso em: 28 jan. 2025.

FINTELMANN, Florian J. *et al.* The 10 pillars of lung cancer screening: rationale and logistics of a lung cancer screening program. **Radiographics**, Oak Brook, v. 35, n. 7, p. 1893-1908, nov.-dez. 2015.

FREITAS, Lima de; MORIN, Edgar; NICOLESCU, Basarab. Charte de la Transdisciplinarité. *In*: PREMIER CONGRÈS MONDIAL DE LA TRANSDISCIPLINARITÉ, n. 1. 1994,

Setúbal, Portugal, 1994. Disponível em: <https://ciret-transdisciplinarity.org/chart.php>. Acesso em: 3 fev. 2025.

GALINDO, Arturo; NUGUER, Victoria. **Preparar o terreno macroeconômico para um crescimento renovado. Banco Interamericano de Desenvolvimento**: relatório macroeconômico da América Latina e Caribe 2023. Português ed. Washington, DC: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18235/0004780>. Acesso em: 7 fev. 2025.

GEIS, J. Raymond *et al.* Ethics of artificial intelligence in radiology: summary of the joint European and North American multisociety statement. **Radiology**, Easton, v. 293, n. 2, p. 436-440, nov. 2019.

GEISLER, Eliezer. **What do we know about**: R&D metrics in technology-driven organizations. Chicago: Illinois Institute of Technology, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/4fVLR0E>. Acesso em: 7 fev. 2025.

GENCER, Adem. Bibliometric analysis and research trends on artificial intelligence applied to lung cancer. **Heliyon**, London, v. 10, n. 2. e24665 p, 18 jan. 2024.

GIERADA, David S *et al.* Low-dose CT screening for lung cancer: evidence from 2 decades of study: Evidence from 2 Decades of Study. **Radiobiology**, Oak Brook, v. 2, n. 2, 27 mar. 2020. Artigo e190058.

GIGER, Maryellen L. Machine learning in medical imaging. **Journal of the American College of Radiology**, v. 15, n. 3, p. 512-520, mar. 2018.

GLOBAL CANCER OBSERVATORY. **Statistics at a glance, 2022**: top 5 most frequent cancers. gco.iarc.who.int. Lyon, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/4iW9ngZ>. Acesso em: 31 jan. 2025.

GLÄNZEL, Wolfgang. **Bibliometrics as a research field**: a course on theory and application of bibliometric indicators. 2003. Disponível em: <https://bit.ly/4jfUTZh>. Acesso em: 7 fev. 2025.

GOLSTON, J. E. *et al.* Automatic detection of irregular borders in melanoma and other skin tumors. **Computerized Medical Imaging and Graphics: The Official Journal of the Computerized Medical Imaging Society**, New York, v. 16, n. 3, p. 199-203, maio-jun. 1992.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. Machine learning basic. *In*: DEEP learning. Cambridge: MIT Press, 2016, p. 98-165. cap. 5.

GOSS, Paul E *et al.* Planning cancer control in Latin America and the Caribbean. **The Lancet Oncology**, London, v. 14, n. 5, p. 391-436, abr. 2013.

GOTO, Makoto *et al.* Lung-optimized deep-learning-based reconstruction for ultralow-dose CT. **Academic Radiology**, Reston, VA, v. 30, n. 3, p. 431-440, mar. 2023.

GREENE, Jennifer C.; CARACELLI, Valerie J.; GRAHAM, Wendy F. Toward a conceptual framework for mixed-method evaluation designs. **Educational Evaluation and Policy Analysis**, v. 11, n. 3, p. 255-274, 1989.

GRIDELLI, Cesare *et al.* Non-small-cell lung cancer. **Nature Reviews Disease Primers**, [s.l.], v. 1, n. 1, 21 maio 2015. Artigo 15009.

GRIMES, David A; SCHULZ, Kenneth F. An overview of clinical research: the lay of the land. **Epidemiology Series**, v. 359, p. 57-61, jan. 2002.

GRUNIG, James E. Communication and the economic decision-making processes of Colombian peasants. **Economic Development and Cultural Change**, Chicago, v. 19, n. 4, p. 580-597, jul. 1971.

GÖSSLING, Gustavo; REBELATTO, Taiane Francieli; VILLARREAL-GARZA, Cynthia. Current scenario of clinical cancer research in Latin America and the Caribbean. **Current Oncology**, Toronto, 4 jan. 2023.

HAWKINS, Samuel *et al.* Predicting malignant nodules from screening CT scans. **Journal of Thoracic Oncology**, Hagerstown, New York, v. 11, n. 12, p. 2120-2128, dez. 2016.

HELM, Emma J *et al.* Computer-aided detection for the identification of pulmonary nodules in pediatric oncology patients: initial experience. **Pediatric Radiology**, Berlin, New York, v. 39, n. 7, p. 685-693, jul. 2009.

HENDRIKS, Lizza E. L. *et al.* Non-small-cell lung cancer. **Nature Reviews Disease Primers**, v. 10, n. 1, 26 9 2024.

HENSCHKE, Claudia I. *et al.* Neural networks for the analysis of small pulmonary nodules. **Clinical Imaging**, New York, v. 21, n. 6, p. 390-399, 1 nov. 1997.

HESS, David J. **Science Studies**. New York, London: New York University Press, 1997.

HETENYI, Szabolcs *et al.* Quality assurance of a cross-border and sub-specialized teleradiology service. **Healthcare**, Basel, v. 10, n. 6, maio 2022.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 29 set. 2005. arXiv:physics/0508025 [physics.soc-ph].

HJØRLAND, Birger. Domain analysis: a socio-cognitive orientation for information science research. **Bulletin of the American Society for Information Science and Technology**, [s.l.], v. 30, n. 3, p. 17-21, 31 jan. 2005.

HOCHHEGGER, Bruno *et al.* Ressonância magnética de pulmão: um novo passo no estudo das doenças pulmonares. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 38, n. 1. 105–115 p, 1 fev. 2012.

HOREWEG, Nanda *et al.* Detection of lung cancer through low-dose CT screening (NELSON): a prespecified analysis of screening test performance and interval cancers. **The Lancet Oncology**, London, v. 15, n. 12, p. 1342-1350, nov. 2014.

HOSPITAL DE AMOR. **Programa de rastreamento de câncer de pulmão do HA expande sua atuação em 2020**: Hospital de Amor. hospitaldeamor.com.br. 2020. Disponível em: <https://bit.ly/4gNGdPD>. Acesso em: 2 fev. 2025.

HOSSEINZADEH, Matin *et al.* Deep learning-assisted prostate cancer detection on bi-parametric MRI: minimum training data size requirements and effect of prior knowledge. **European Radiology**, Berlin, v. 32, n. 4, p. 2224-2234, abr. 2022.

HRICAK, Hedvig *et al.* Medical imaging and nuclear medicine: a Lancet Oncology Commission. **The Lancet Oncology**, London, v. 22, n. 4, p. e136-e172, mar 2021.

HUH, Sun. Document network and conceptual and social structures of clinical endoscopy from 2015 to July 2021 based on the Web of Science core collection: a bibliometric study. **Clinical Endoscopy**, Seoul, v. 54, n. 5, p. 641-650, 30 set. 2021.

HUO, Jinhai *et al.* Use of CT and chest radiography for lung cancer screening before and after publication of screening guidelines. **JAMA Internal Medicine**, v. 177, n. 3, p. 439-441, 1 3 2017.

HURWITZ, J.; KIRSCH, D. Understanding machine learning. *In*: HURWITZ, J.; KIRSCH, D. **Machine learning for dummies**. New Jersey: Jhon Wiley & Sons, 2018. cap. 1, p. 3-18.

IBRAGIMOV, Bulat; XING, Lei. Segmentation of organs-at-risks in head and neck CT images using convolutional neural networks. **Medical Physics**, Lancaster, v. 44, n. 2, p. 547-557, fev. 2017.

INAN, Ümmü Saliha Eken. Evaluation of digital marketing from a bibliometric analysis perspective. **Socialis Series in Social Science**, Rajasthan, v. 4, p. 45-58, 17 1 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PNAD contínua**: pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua. 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3b4YgDT>. Acesso em: 25 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto interno bruto - PIB**. Ibge.gov.br. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/ PIB.php>. Acesso em: 7 fev. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Deteção precoce do câncer**. [s.l.]: Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva/ Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/491vM83>. Acesso em: 2 fev. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Age-Standardized Rate (World) per 100 000, Incidence and Mortality, Both sexes, in 2022**. iarc.fr. Lyon, 2025a. Disponível em: <https://bit.ly/42ncIhv>. Acesso em: 5 abr. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Age-standardized rate (world) per 100 000, incidence, both sexes, in 2022**. Gco.iarc.fr. 2025b. Disponível em: <https://gco.iarc.fr/today/en/dataviz/maps-heatmap?mode=population&types=0>. Acesso em: 7 fev. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Age-standardized rate (world) per 100 000, mortality, both sexes, in 2022**. gco.iarc.fr. 2025c. Disponível em: <https://gco.iarc.fr/today/en/dataviz/maps-heatmap?mode=population&types=1>. Acesso em: 7 fev. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **All cancers**. gco.iarc.who.int. 1965-2024e. Disponível em: <https://bit.ly/4lFBnH7>. Acesso em: 8 jan. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Data visualization tools for exploring the global cancer burden in 2022**. 2025d. Disponível em: <https://gco.iarc.who.int/today>. Acesso em: 4 fev. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Latin America and The Caribbean**. gco.iarc.who.int. 1965-2024f. Disponível em: <https://bit.ly/442hTpF>. Acesso em: 12 fev. 2025.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **IMAGINE**: IAEA medical imaging and nuclear medicine global resources database. IAEA - Human Health Campus. [s.l.], 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3SASmx2>. Acesso em: 31 jan. 2025.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation in everyday life**. iaea.org. Vienna, 1998-2024. Disponível em: <https://bit.ly/4dRNnAD>. Acesso em: 31 jan. 2025.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **ICRP publication 103**: the 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. Exeter: Elsevier, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3PjNgmU>. Acesso em: 31 jan. 2025.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **ICRP publication 74**: conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. Oxford, New York, Tokyo: Pergamon, 1996. Disponível em: <https://bit.ly/3DGnWVD>. Acesso em: 31 jan. 2025.

INTERNET WORLD STATS. **Surfing and site guide internet world stats**. 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3N2Fx9l>. Acesso em: 25 fev. 2025.

JAPUNTICH, Sandra J. *et al.* Lung cancer screening provider recommendation and completion in black and white patients with a smoking history in two healthcare systems: a survey study. **BMC Primary Care**, v. 25, 07 jun. 2024. Artigo 202.

JENKINS, Henry. **Convergence culture**: where old and new media collide. 1 ed. New York: New York University Press, 2006. 307 p.

JOHNSON, Cassidy. Strategic planning for post-disaster temporary housin. **Disasters**, Oxford, v. 31, n. 4, p. 435-458, dez. 2007.

JOHNSON, Gerry *et al.* **Exploring strategy**. 11 ed. Harlow: Pearson, 2017.

KAIROUZ, Peter *et al.* Advances and open problems in federated learning. **arXiv**. 1912.04977v3. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1912.04977>. Acesso em: 15 jan. 2025.

KARGER, Erik; KURELJUSIC, Marko. Artificial intelligence for cancer detection: a bibliometric analysis and avenues for future research. **Current Oncology**, Basel, v. 30, n. 2, p. 1626-1647, 29 jan. 2023.

KATSURAI, Marie; ONO, Shunsuke. TrendNets: mapping emerging research trends from dynamic co-word networks via sparse representation. **Scientometrics**, [s.l.], v. 121, n. 3, p. 1583-1598, 18 out. 2019.

KESSLER, M. M. Bibliographic coupling between scientific papers. **American Documentation**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 10-25, jan. 1963.

KNOLL, Glenn F. **Radiation detection and measurement**. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, Cop, 2010.

KONING, Harry J. de *et al.* Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 6, p. 503-513, 06 fev. 2020.

LAM, Stephen *et al.* The International Association for the Study of Lung Cancer Early Lung Imaging Confederation open-source deep learning and quantitative measurement initiative. **Journal of Thoracic Oncology: Official Publication of the International Association for the Study of Lung Cancer**, Hagerstown, New York, v. 19, n. 1, p. 94-105, jan. 2024.

LAPI, Suzanne E; MCCONATHY, Jonathan E. Global access to medical imaging and nuclear medicine. **The Lancet Oncology**, London, v. 22, n. 4, 4 mar. 2021. 425-426.

LAWRENCE, Roderick. Advancing with transdisciplinarity: effective responses for coronavirus. **Transdisciplinary Journal of Engineering & Science**, v. 11, p. 189-200, 2020.

LE MOIGNE, Jean-Louis. **La théorie du système général: théorie de la modélisation**. 4 ed. Paris: Presses Universitaires de France, 1994. (A primeira versão data de 1977).

LEE, Jeong Hoon; HA, Eun Ju; KIM, Ju Han. Application of deep learning to the diagnosis of cervical lymph node metastasis from thyroid cancer with CT. **European radiology**, Berlin, v. 29, n. 10, p. 5452-5457, out. 2019.

LELEU, Olivier *et al.* Lung cancer screening by low-dose CT scan: baseline results of a French prospective study. **Clinical Lung Cancer**, v. 21, n. 2, p. 145-152.

LEYDESDORFF, Loet. Why words and co-words cannot map the development of the sciences. **Journal of the American society for information science**, v. 48, n. 5, p. 418-427, 1997.

LIM, Weng Marc; KUMAR, Satish; DONTU, Naveen. How to combine and clean bibliometric data and use bibliometric tools synergistically : guidelines using metaverse research. **Journal of Business Research**, v. 182, set. 2024. Artigo 114760.

LITJENS, Geert *et al.* Computer-aided detection of prostate cancer in MRI. **IEEE Transactions on Medical Imaging**, New York, v. 33, n. 5, p. 1083-1092, maio 2014.

LIU, Yuan *et al.* Predicting treatment response in multicenter non-small cell lung cancer patients based on federated learning. **BMC Cancer**, London, v. 24, 05 jun. 2024. Artigo 688.

LOPES, M. M. Heutagogia: conceitos e fundamentos no processo de ensino-aprendizagem. **Ciência & Trópico**, Recife, v. 47, n. 2, p. 75-82, 2023.

LOTKA, A. J. The frequency distribution of scientific productivity. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, New York, v. 16, n. 12, p. 317-323, 19 jun. 1926.

LU, Chia-Feng *et al.* Machine learning-based radiomics for molecular subtyping of gliomas. **Clinical Cancer Research: An Official Journal of the American Association for Cancer Research**, Denville, v. 24, n. 18, p. 4429-4436, 15 set. 2018.

LUN, Yi *et al.* A panel of seven protein tumour markers for effective and affordable multi-cancer early detection by artificial intelligence: a large-scale and multicentre case-control study. **EClinicalMedicine**, London, v. 61, 15 jun. 2023. Artigo 102041.

LÉVY, Pierre. **Cyberculture**: rapport au Conseil de l'Europe dans le cadre du projet Nouvelles technologies : coopération culturelle et communication. Paris: Editions Odile Jacob, 1997. Disponível em: <https://bit.ly/4cHRZd7>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MAHMOUDI, Golshan *et al.* COVID-19 and cancer risk arising from ionizing radiation exposure through CT scans: a cross-sectional Study. **BMC Cancer**, London, v. 24, n. 1, 5 mar. 2024.

MAIGA, Amelia W *et al.* Timeliness of care and lung cancer tumor-stage progression: how long can we wait?. **The Annals of Thoracic Surgery**, [s.l.], v. 104, n. 6, p. 1791-1797, dez. 2017.

MANOVICH, Lev. **Software takes command**. 1 ed. New York: Bloomsbury Academic, 2013. 357 p.

MANTERO, F. *et al.* A survey on adrenal incidentaloma in Italy: Study Group on Adrenal Tumors of the Italian Society of Endocrinology. **The Journal of clinical endocrinology and metabolism**, Springfield, New York, v. 85, n. 2, p. 637-644, fev. 2000.

MARTINS, Roberto A. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 4, p. 373-391, 4 dez. 1998.

MASOOD, Anum. Computer-assisted decision support system in pulmonary cancer detection and stage classification on CT images. **Journal of Biomedical Informatics**, San Diego, v. 79, p. 117-128, mar. 2018.

MASSION, Pierre P. *et al.* Assessing the accuracy of a deep learning method to risk stratify indeterminate pulmonary nodules. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, New York, v. 202, n. 2, p. 241-249, 15 jul. 2020.

MATTIUZZI, Camilla; LIPPI, Giuseppe. Current cancer epidemiology. **Journal of Epidemiology and Global Health**, Amsterdam, v. 9, n. 4. 217-222 p, 1 12 2019.

MAZZONE, Peter J. *et al.* Proposed quality metrics for lung cancer screening programs: a national lung cancer roundtable project. **Chest**, Chicago, v. 160, n. 1, p. 368-378, jul. 2021.

MCBAIN-MILLER, Jasmine *et al.* Cohort profile: the Australian paediatric exposure to radiation Cohort (Aust-PERC). **PLoS ONE**, San Francisco, v. 17, n. 9, 9 set. 2022. Artigo e0271918.

MERTON, R. K. The Matthew effect in science: the reward and communication systems of science are considered. **Science**, New York, v. 159, n. 3810, p. 56-63, 5 jan. 1968.

MICHAELIS. **Radiação**. Dicionário brasileiro da língua portuguesa. [s.l.], 2025. Disponível em: <https://bit.ly/3EtlxOl>. Acesso em: 31 jan. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Estratégia e-saúde para o Brasil**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3XfNNdW>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Política nacional de informação e informática em saúde**. 1 ed. Brasília, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/436tLGH>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MINTZBERG, Henry. **The fall and rise of strategic planning (Reprint 94107)**. Boston: Harvard Business Review, 1994. Disponível em: <https://bit.ly/40bwICJ>. Acesso em: 3 fev. 2025.

MOKIY, Vladimir; LUKYANOVA, Tatiana. Prospects of integrating transdisciplinarity and systems thinking in the historical framework of various socio-cultural contexts. **Transdisciplinary Journal of Engineering & Science**, Lubbock, v. 13, p. 143-158, 25 maio 2022.

MOMESSO, Ana Carolina; NORONHA, Daisy Pires. Bibliométrie ou bibliometrics: o que há por trás de um termo?. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 22, n. 2, p. 118-124, 6 2017.

MONTAZERI, Ali *et al.* Preliminary guideline for reporting bibliometric reviews of the biomedical literature (BIBLIO): a minimum requirements. **Systematic Reviews**, [s.l.], v. 12, n. 1, 15 dez. 2023. Artigo 239.

MOORE-PALHARES, Daniel *et al.* Clinical implementation of magnetic resonance imaging simulation for radiation oncology planning: 5 year experience. **Radiation Oncology**, London, v. 18, n. 1, 7 fev. 2023. Artigo 27.

MORAES, Fabio Ynoe de. **Radioterapia estereotática corpórea (SBRT) para adenocarcinoma de pulmão: correlação de fatores clínicos, dosimétricos e de imagem com sobrevida livre de falha**. São Paulo: Instituto Sírio-Libanês de Ensino e Pesquisa, f. 71, 2021 Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) - Instituto Sírio-libanês de Ensino e Pesquisa.

MORIN, Edgar. **Introduction à la pensée complexe**. Éditions du Seuil, 2005. 158 p. (Points, Essais - Primeira edição de 1990).

MORIN, Edgar; NICOLESCU, Basarab; FREITAS, Lima de. **Charte de la Transdisciplinarité**. Arrábida, 1994. Disponível em: <https://bit.ly/3EdvFuJ>. Acesso em: 28 jan. 2025.

MOROZOV, Sergey *et al.* Telemedicine-based system for quality management and peer review in radiology. **Insights into imaging**, Berlin, v. 9, n. 3, p. 337-341, jun. 2018.

NAGENDRAN, Myura *et al.* Artificial intelligence versus clinicians: systematic review of design, reporting standards, and claims of deep learning studies. **The BMJ**, London, v. 368, n. :m689, 25 mar. 2020. m689.

NARDINO, Fernanda; SANTOS, Antonio Tadeu Cheriff dos; LIMA, Fernando Lopes Tavares de. Análise das campanhas de conscientização sobre o câncer por meio do Google Trends: revisão integrativa da literatura. **Revista Brasileira de Cancerologia**, Rio de Janeiro, v. 69, n. 4, 19 set. 2023.

NASCIMENTO, Carina Cristina do *et al.* Cultura da conexão, cidadania e aprendizagem ao longo da vida. In: BELLUZZO, Regina Celia Baptista (Org.); VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira (Org.). **Sociedade hiperconectada, redes, mitos e competências**: uma nova mediação de cidadania. Rio de Janeiro: e-Publicar. cap. 9, p. 201-2025.

NASRULLAH, Nasrullah *et al.* Automated lung nodule detection and classification using deep learning combined with multiple strategies. **Sensors**, v. 19, n. 7, 28 ago. 2019. Artigo 3722. Seção Internet of Things.

NATIONAL CANCER INSTITUTE. **Lung cancer screening (PDQ®)**: patient version. cancer.gov. [s.l.], 2024. Disponível em: <https://bit.ly/4j1ohlX>. Acesso em: 2 fev. 2025.

NATIONAL CANCER INSTITUTE. **Lung cancer**: patient version. cancer.gov. 2025. Disponível em: <https://www.cancer.gov/types/lung>. Acesso em: 2 fev. 2025.

NATIONAL LUNG SCREENING TRIAL RESEARCH TEAM, *et al.* Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. **The New England Journal of Medicine**, Boston, v. 365, n. 4, p. 395-409, 4 ago. 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Beir VII**: health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. The National Academies, 2006. Disponível em: https://nap.nationalacademies.org/resource/11340/beir_vii_final.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.

NEWMAN, Mark E. J. **Networks**: an introduction. 1 ed. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2010.

NEWMAN, Thomas B.; BROWNER, Warren S.; HULLEY, Stephen B. Designing cross-sectional and case-control studies. In: HULLEY, Stephen B *et al.* **Designing clinical research**. 4 ed. Philadelphia, Baltimore, New York, London, Buenos Aires, Hong Kong, Tokyo: Lippincott Williams & Wilkins, 2007. cap. 8, p. 109-126.

NICOLESCU, Basarab. **La transdisciplinarité - manifeste**. Éditions du Rocher, 1996. (Collection "Transdisciplinarité"). Disponível em: <https://www.basarab-niculescu.ciret-transdisciplinarity.org/BOOKS/TDRocher.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2025.

O'CONNOR, Michael K. Risk of low-dose radiation and the BEIR VII report: a critical review of what it does and doesn't say. **Physica Medica**, Pisa, v. 43, p. 153-158, nov 2017. Epub 18 ago. 2017.

OLADIMEJI, Oladosu Oyeibisi; MCLOUGHLIN, Ian; UNNIKRIISHNAN, Saritha. Deep learning for breast cancer diagnosis: a bibliometric analysis and future research. **Computational and Structural Biotechnology Reports**, [s.l.], v. 1, n. 1, 31 maio 2024. Artigo 100004.

OLIVEIRA, Thamara Cristina Mendes de ; PIGATTO, Gessuir ; PIGATTO, Giuliana

Aparecida Santini. A relação entre estratégia multicanal e inovação. **Revista Capital Científico – Eletrônica (RCCe)**, Guarapuava, v. 17, n. 4, out.-dez. 2019.

OLIVEIRA, Thaís de Souza; PEREIRA, Adelyne Maria Mendes. Expressões das desigualdades no acesso aos serviços de saúde 1 na América Latina: uma revisão de escopo. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 7, p. 1-14, Jul. 2024.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Health at a Glance 2023**: OECD indicators. Paris: OECD Publishing, 2023. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-2023_7a7afb35-en. Acesso em: 7 fev. 2025.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Health at a Glance 2019**: OECD indicators. Paris: OECD Publishing, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/40ac6w8>. Acesso em: 7 fev. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 jan. 2025.

OTLET, Paul. **Traité de documentation**: le livre sur le livre: theorie et pratique. Bruxelas: Mundaneum, 1934. Disponível em: http://lib.ugent.be/fulltxt/handle/1854/5612/Traite_de_documentation_ocr.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.

OZTÜRK, Oğuzhan; KOCAMAN, Rıdvan ; KANBACH, Dominik K. How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. **Review of Managerial Science**, [s.l.], v. 18. 3333–3361 p, nov. 2024.

PAGE, Lawrence. **The pagerank citation ranking**: bringing order to the web. Technical report. 1998. Disponível em: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/>. Acesso em: 7 fev. 2025.

PAN, Jay *et al.* Is low-dose computed tomography for lung cancer screening conveniently accessible in China?. **BMC Cancer**, London, v. 24, n. 1, 14 mar. 2014. Artigo 342.

PASSAS, Ioannis. Bibliometric analysis: the main steps. **Encyclopedia**, Basel, v. 4, n. 2. 1014–1025 p, 2024.

PASTORINO, U. *et al.* Prolonged lung cancer screening reduced 10-year mortality in the MILD trial: new confirmation of lung cancer screening efficacy. **Annals of Oncology**, 1162-1169, v. 30, n. 7, jul. 2019.

PEREIRA, Luiz Fernando Ferreira *et al.* Recomendações da Sociedade Brasileira de Cirurgia Torácica, Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia e Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem para o rastreamento do câncer de pulmão no Brasil. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 50, n. 1, 2024. Artigo e20230233.

PETERS, Alan Arthur *et al.* Impact of artificial intelligence assistance on pulmonary nodule detection and localization in chest CT: a comparative study among radiologists of varying experience levels. **Scientific Reports**, London, v. 14, 28 set. 2024. Artigo 22447.

PHELPS, Michael E. PET: the merging of biology and imaging into molecular imaging. **Journal of Nuclear Medicine**, 41 5 2000. Disponível em: <https://bit.ly/4jGGghO>. Acesso em: 31 jan. 2025.

PIAGET, Jean. **L'épistémologie génétique**. Paris: Presses Universitaires de France, 1970.

PIZZANI, Luciana; SILVA, Rosemary Cristina da; HOSSNE, William Saad. Análise bibliométrica dos 40 anos da produção científica em Bioética no Brasil e no mundo. **Bioethikos**, São Paulo, v. 4, n. 4, p. 453-460, 2010.

POMBO, Olga. Epistemologia da interdisciplinaridade. **Ideação**, Foz do Iguaçu, v. 10, n. 1, p. 9-40, 2008.

PORTER, Michael E. **Competitive strategy**: techniques for analyzing industries and competitors. New York: Free Press, 1980.

POSIT. **RStudio IDE**: The most trusted IDE for open source data science. posit.co. Boston, 2025. Disponível em: <https://posit.co/products/open-source/rstudio/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

PRENSKY, Marc. Digital natives, digital immigrants. **On the Horizon**, v. 9, n. 5, 01 09 2001.

PRICE, Derek J. De Solla. Networks of scientific papers. **Science**, Washington, DC, v. 149, n. 3683, p. 510-515, 30 jul. 1965. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1716232>. Acesso em: 16 jan. 2025.

PRICE, Derek John. **Little science, big science**. New York: Columbia University Press, 1963.

PRIKLADNICKI, Rafael; NICOLAS, Jorge Luis. Interdisciplinaridade na engenharia de software. **Scientia-Interdisciplinary Studies in Computer Science**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 117-127, 2008.

PRITCHARD, Alan. Statistical bibliography or bibliometrics?. **Journal of Documentation**, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

PROCTOR, Robert N. Tobacco and the global lung cancer epidemic. **Nature Reviews Cancer**, v. 1, n. 1, p. 82-86, 2001 out. 2001.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide do the Project Management of Knowledge**: PMBOK® Guide. 7 ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2021.

QUASAR, Syeda Reeha *et al.* Ensemble methods for computed tomography scan images to improve lung cancer detection and classification. **Multimedia Tools and Applications**, [s.l.], v. 83. 52867–52897 p, 4 nov. 2023.

RADIO CORUÑA. **La inteligencia artificial revoluciona el radiodiagnóstico en el CHUAC**. Cadenaser.com. 2024. Disponível em: <https://bit.ly/3EVGYIm>. Acesso em: 26 fev. 2025.

RAEZ, Luis E. *et al.* Challenges in lung cancer screening in Latin America. **Journal of Global Oncology**, Alexandria, v. 4, set. 2018.

RAHMAN, Abdur *et al.* A comprehensive bibliometric and content analysis of artificial

intelligence in language learning: tracing between the years 2017 and 2023. **Artificial Intelligence Review**, [s.l.], v. 57, n. 4, 2024. Artigo 107.

RAJPURKAR, Pranav *et al.* AI in health and medicine. **Nature Medicine**, New York, v. 28, n. 1, p. 31-38, jan. 2022.

RAMOS, Conrado; CARVALHO, João Eduardo Coin de; MANGIACAVALLI, Maria Angélica da Silveira Corrêa. Impacto e (i)mobilização: um estudo sobre campanhas de prevenção ao câncer. **Temas Livres**, São Paulo, v. 12, n. 5, out. 2007. 1387-1396.

RAUF, Abdul *et al.* The use of artificial intelligence and deep learning reconstruction in urological computed tomography: dose reduction at ghost level. **Urology Annals**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 417-423, out.-dez. 2023.

REDONDO-SÁNCHEZ, Daniel *et al.* Socio-economic inequalities in lung cancer outcomes: an overview of systematic reviews. **Cancer**, Basel, v. 14, n. 2, 13 jan. 2022. Artigo 398.

RITTEL, Horst W. ; WEBBER, Melvin M. Dilemmas in a General Theory of Planning. **Policy Sciences**, v. 4, p. 155-169, 1973.

ROGERS, Everett M. . **Diffusion of innovations**. 2 ed. New York: The Free Press, 1971.

ROMANS, Lois E. **Computed tomography for technologists**: a comprehensive text. Philadelphia, Baltimore, New York, London, Buenos Aires, Hong Kong, Sydney, Tokyo, 2011. 379 p.

ROTHENBERG, L. N.; PENTLOW, K. S. Radiation dose in CT. **Radiographics**, Oak Brook, v. 12, n. 6, p. 1225-1243, 1 nov. 1992.

RUIZ-FRESNEDA, Miguel Angel; GIJÓN, Alfonso; MORALES-ÁLVAREZ, Pablo. Bibliometric analysis of the global scientific production on machine learning applied to different cancer types. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 30, n. 42, p. 96125-96137, 11 ago. 2023.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence**: a modern approach. Upper Saddle River: Prentice Hall, v. 3, 2013.

SADAD, Tariq *et al.* Brain tumor detection and multi-classification using advanced deep learning techniques. **Microscopy Research and Technique**, New York, v. 84, n. 6, p. 1296-1308, jun. 2021.

SAEEDI, Soheila *et al.* MRI-based brain tumor detection using convolutional deep learning methods and chosen machine learning techniques. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, London, v. 23, n. 1, 23 jan. 2023. Artigo 16.

SAID, Yahia *et al.* Medical Images Segmentation for Lung Cancer Diagnosis Based on Deep Learning Architectures. **Diagnostics**, Basel, v. 13, n. 3, fev. 2023. Artigo 546.

SAMPATH, Kanimozhi; RAJAGOPAL, Sivakumar; CHINTANPALLI, Ananthakrishna. A comparative analysis of CNN-based deep learning architectures for early diagnosis of bone

cancer using CT images. **Scientific Reports**, London, v. 14, n. 1, 25 jan. 2024. Artigo 2144.

SANDOVAL, José *et al.* Acceso, uso y preferencias de las tecnologías de información y comunicación (tic) por médicos residentes de cirugía general en el Paraguay. **Cirugía Paraguaya**, Asunción, v. 41, n. 2, p. 8-12, ago. 2017.

SANFORD, Thomas *et al.* Deep-learning-based artificial intelligence for PI-RADS classification to assist multiparametric prostate MRI interpretation: a development study. **Journal of magnetic resonance imaging : JMRI**, Chicago, v. 52, n. 5, p. 1499-1507, nov. 2020.

SANTOS, Ricardo Sales dos *et al.* Do current lung cancer screening guidelines apply for populations with high prevalence of granulomatous disease? Results from the First Brazilian Lung Cancer Screening Trial (BRELT1). **The Annals of Thoracic Surgery**, [s.l.], v. 101, n. 2, fev. 2016.

SARRIA, Gustavo R *et al.* Leveling up the access to radiation therapy in Latin America: economic analysis of investment, equity, and inclusion opportunities up to 2030. **International Journal of Radiation Oncology**, New York, v. 116, n. 2, p. 448-458, 1 jun. 2023.

SCHLEMMER, Heinz-Peter *et al.* Global challenges for cancer imaging. **Journal of Global Oncology**, Alexandria, v. 4, p. 1-10, set. 2018.

SCHNEIDER, Ernani José. **Procedimentos para elaboração de um projeto transdisciplinar utilizando o laboratório de informática**. Florianópolis Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2001. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81888>. Acesso em: 11 fev. 2025.

SCOLARI, Carlos. **Ecología de los medios**: entornos, evoluciones e interpretaciones. Barcelona: GEDISA, 2015.

SETIA, Maninder Singh. Methodology series module 3: cross-sectional studies. **Indian Journal of Dermatology**, [s.l.], v. 61, n. 3, p. 261-264, maio-jun. 2016.

SHAH, Shailja C. *et al.* Cancer control in low- and middle-income countries: is it time to consider screening?. **Journal of Global Oncology**, Alexandria, v. 5, p. 1-8, mar. 2019.

SIEGEL, Rebecca L. *et al.* Cancer statistics, 2025. **CA: A Cancer Journal for Clinicians**, Hoboken, v. 75, n. 1, p. 10-45, 2025.

SIEGEL, Rebecca L.; GIAQUINTO, Angela N.; JEMAL, Ahmedin. Cancer statistics, 2024. **CA: A Cancer Journal for Clinicians**, New York, v. 74, n. 1, jan.-fev. 2024.

SIEMENS, George. **Connectivism**: a learning theory for the digital age. 2005, p. 1-9. Disponível em: https://jotamac.typepad.com/jotamacs_weblog/files/Connectivism.pdf. Acesso em: 11 fev. 2025.

SIERRA, Mónica S. *et al.* Cancer patterns and trends in Central and South America. **Cancer Epidemiology**, Amsterdam, v. 44, n. Suppl 1, p. S23-S42, set. 2016.

SILVA, Márcia Regina da; HAYASHI, Carlos Roberto Massao; HAYASHI, Maria Cristina Piumbato Innocentini. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, Ribeirão Preto, v. 2, n. 1. 110–129 p, 9 jun. 2011.

SILVESTRI, Gerard A *et al.* Methods for staging non-small cell lung cancer: diagnosis and management of lung cancer. **Chest**, Chicago, v. 143, n. 5 Supp, p. e211S-e250S, maio 2013.

SMITH, Natalie R. *et al.* A guide for choosing community detection algorithms in social network studies: the question alignment approach. **American Journal of Preventive Medicine**, Amsterdam, v. 59, n. 4, p. 597-605, out. 2020.

SOUZA, Isabella. **SP Por Todas em Bauru**: mamografia gratuita e cursos de empreendedorismo até 10 de Maio. bauru.com.br. Bauru, 2025. Disponível em: <https://bauru.com.br/praca-rui-barbosa-eventos>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SOUZA, Sérgio Augusto Santana de *et al.* Texture analysis: a potential tool to differentiate primary brain tumors and solitary brain metastasis. **Multimedia Tools and Applications**, [s.l.], v. 83. 39523–39535 p, 2024.

STRAUBHAAR, Joseph D.; LAROSE, Robert. **Comunicação, mídia e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Cengage, 2004. 328 p.

STUART, David. Bibliometrics, webometrics and web metrics. In: STUART, David. **Web metrics for library and information professionals**. London: Facet publishing, 2014. cap. 2, p. 15-39.

SUN, Meng; SUN, Jikui; LI, Meng. Deep learning models for predicting the survival of patients with medulloblastoma based on a surveillance, epidemiology, and end results analysis. **Scientific Reports**, London, v. 14, n. 1, 24 jun. 2024. Artigo 14490.

SVARTMAN, Fábio Munhoz *et al.* Lung cancer screening with low-dose CT integrated with pulmonary care in a public hospital in Southern Brazil: results from the first 712 patients. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 48, n. 5, 4 nov. 2022. Artigo e20220146.

SZOMSZOR, Martin *et al.* Interpreting bibliometric data. **Frontiers in Research Metrics and Analytics**, Lausanne, v. 5, 9 fev 2021. Artigo 628703.

SÃO PAULO STATE UNIVERSITY - UNESP. **Internationalization strategic plan 2018 - 2021**: moving forward throughout excellence. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3DsUkey>. Acesso em: 3 mar. 2025.

TAGUE-SUTCLIFFE, Jean. An introduction to informetrics. **Information Processing & Management**, Elmsford, Nova York, v. 28, n. 1, p. 1-3, 1992.

TAHMASEBZADEH, Atefeh; PAYDAR, Reza; KAEIDI, Hosein. Lifetime attributable breast cancer risk related to lung CT scan in women with Covid-19. **Frontiers in Biomedical Technologies**, Tehran, v. 11, n. 1, p. 69-74, 2023.

THINK globally about cancer. **Nature Medicine**, v. 25, n. 3. Editorial 351.

U.S. PREVENTIVE SERVICES TASK FORCE. **Lung**

Cancer: screening. uspreventiveservicestaskforce.org. Rockville, 221. Disponível em: <https://bit.ly/4i0pCbb>. Acesso em: 5 abr. 2025.

URBIZAGÁSTEGUI-ALVARADO, Rubén. Bibliometria brasileira: análise de copalavras. **Transinformação**, Campinas, v. 31, 11 jan. 2023. Artigo e220004.

VAN RAAN, A. F. . Advances in bibliometric analysis: research performance assessment and science mapping. **Bibliometrics Use and Abuse in the Review of Research Performance**, London, v. 87, n. 4, p. 17-28, 2014.

VANITHA, K. *et al.* Deep learning ensemble approach with explainable AI for lung and colon cancer classification using advanced hyperparameter tuning. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, London, v. 24, 7 ago. 2024.

VASCONCELOS, Yumara Lúcia. Estudos bibliométricos: procedimentos metodológicos e contribuições. **Revista de Ciências Jurídicas e Empresariais**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 211-220, 1 jul. 2015.

VITAL, Adilson; AMÂNCIO, Diego R. A comparative analysis of local similarity metrics and machine learning approaches: application to link prediction in author citation networks. **Scientometrics**, [s.l.], v. 127, n. 10, p. 6011-6028, 12 ago. 2022.

VOLPATO, Gilson Luiz. O método lógico para redação científica. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde (Reciis)**, Rio de Janeiro, jan.-mar. 2015.

VOLPE, Stefania *et al.* Quo vadis radiomics? Bibliometric analysis of 10-year radiomics journey. **European Radiology**, Berlin, v. 33, n. 10, p. 6736-6745, out. 2023. Epub 18 abr. 2023.

WALLIN, Johan A. Bibliometric methods: pitfalls and possibilities. **Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology**, Copenhagen, Denmark; Oxford, UK, v. 97, n. 5, p. 261-275, nov. 2005.

WANG, Ruiyu *et al.* Bibliometric analysis of the application of deep learning in cancer from 2015 to 2023. **Cancer Imaging**, London, v. 24, n. 85, 04 jul. 2024. Artigo 85.

WANG, Shuo *et al.* Predicting EGFR mutation status in lung adenocarcinoma on computed tomography image using deep learning. **The European Respiratory Journal**, Copenhagen, v. 53, n. 3, 28 mar. 2019. Artigo 1800986.

WANG, Sui-Han *et al.* Global development of artificial intelligence in cancer field: a bibliometric analysis range from 1983 to 2022. **Frontiers in Oncology**, Lausanne, Switzerland; London, United Kingdom; Madrid, Spain; Beijing, China, v. 13, 14 jul. 2023. Artigo 1215729.

WANG, Yuchai *et al.* Artificial intelligence in precision medicine for lung cancer: a bibliometric analysis. **Digital Health**, Thousand Oaks, v. 11, p. 1-13, 3 jan. 2025.

WESTBROOK, Catherine; TALBOT, John. **MRI in practice**. 5 ed. Hoboken, Nj: Wiley, 2018. 416 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Cancer**. who.int. Geneva, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3yuedQ5>. Acesso em: 31 jan. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Declaration of Astana. Global Conference on Primary Health Care From Alma-Ata towards universal health coverage and the Sustainable Development Goals**. Astana, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/40gVPUM>. Acesso em: 10 fev. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Future of digital health systems**: report on the WHO symposium on the future of digital health systems in the European region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/4hSPB4P>. Acesso em: 24 fev. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global diffusion of eHealth**: making universal health coverage achievable. Report of the Third Global Survey on eHealth. Geneva: WHO Document Production Services, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3W1lijB>. Acesso em: 28 jan. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **mHealth: use of appropriate digital technologies for public health**: report by Director-General. 2018. (A71/20). Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/274134>. Acesso em: 25 fev. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Report of the International Conference on Primary Health Care, Alma-Ata, USSR, 6-12 September 1978**. Geneva, 1978. Disponível em: <https://bit.ly/4fUknIW>. Acesso em: 10 fev. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Telemedicine**: opportunities and developments in member states. Global Observatory for eHealth series. Geneva: WHO Press, v. 2, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/4iVV8Zj>. Acesso em: 28 jan. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The Global Health Observatory. Explore a world of health data**: Age-standardized mortality rate (per 100 000 population). 2025. 2025 p. Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/78#:~:text=Definition%3A,of%20the%20WHO%20standard%20population>. Acesso em: 7 fev. 2025.

WU, Zankai *et al.* Knowledge landscape of Treg research in breast cancer: a bibliometric and visual analysis. **Frontiers in Oncology**, Lausanne, London, Madrid, Beijing, v. 14, 27 11 2024.

YASAKA, K. *et al.* Impact of deep learning on radiologists and radiology residents in detecting breast cancer on CT: a cross-vendor test study. **Clinical Radiology**, Edinburgh, Oxford, v. 79, n. 1, p. e41-e47, jan. 2024.

YEH, Raymond T. Towards a framework for transdisciplinary problem solving. **Transdisciplinary**, Lubbock, v. 10, 14 jan. 2019.

YUAN, Yixuan *et al.* Prostate cancer classification with multiparametric MRI transfer learning model. **Medical Physics**, Lancaster, v. 46, n. 2, p. 756-765, fev. 2019.

YUGUANG, Y. *et al.* GHA-DenseNet prediction and diagnosis of malignancy in femoral

bone tumors using magnetic resonance imaging. **Journal of Bone Oncology**, Amsterdam, v. 44, 29 dez. 2023. Artigo 100520.

ZACHARAKI, Evangelia I. *et al.* Classification of brain tumor type and grade using MRI texture and shape in a machine learning scheme. **Magnetic Resonance in Medicine**, [s.l.], v. 62, n. 6, p. 1609-1618, dez, 2009.

ZAYED, Shaimaa O. *et al.* The innovation of AI-based software in oral diseases: clinical-histopathological correlation diagnostic accuracy primary study. **BMC Oral Health**, London, v. 24, 22 maio 2024. Artigo 598.

ZHANG, Chao *et al.* Toward an expert level of lung cancer detection and classification using a deep convolutional neural network. **The Oncologist**, v. 24, n. 9, p. 1159-1165, set. 2019.

ZHOU, Jiejie *et al.* Diagnosis of benign and malignant breast lesions on DCE-MRI by using radiomics and deep learning with consideration of peritumor tissue. **Journal of Magnetic Resonance Imaging: JMRI**, v. 51, n. 3, p. 798-809, mar. 2020.

ZHOU, Juan *et al.* Weakly supervised 3D deep learning for breast cancer classification and localization of the lesions in MR images. **Journal of Magnetic Resonance Imaging: JMRI**, v. 50, n. 4, p. 1144-1151, out. 2019.

ZUNIGA, Paula Valeria Sainz *et al.* Impact of delays in lung cancer treatment on survival. **Chest**, Chicago, v. 160, n. 5, nov. 2021.

ZUPIC, Ivan; ČATER, Tomaž. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 22 dez. 2015.

ZYLA, Joanna *et al.* Combination of radiomics based on low-dose computed tomography and serum metabolomics for the diagnosis of malignant nodules in participants of lung cancer screening studies. **Biomolecules**, v. 14, n. 1, 28 dez. 2023. Artigo 44.

APÊNDICE A — MEMORANDO BREVE

Ao longo da minha trajetória de estudos, transitei por diferentes áreas, tendo contato com uma diversidade de informações e conhecimentos que vão desde a música, quando me formei em Piano (2002) no Conservatório Musical Pio XII, até a formação na área da saúde, como Técnico e Tecnólogo em Radiologia (2008, 2013), passando por especializações de áreas múltiplas que combinam educação, diagnóstico por imagem e gestão.

Foi comum, ao longo da minha vida, receber críticas por não ter “foco” e por não me concentrar somente em uma única atividade. Hoje entendo que, como a minha querida orientadora costuma dizer, eu sou “um ponto foca da curva”. O contato com diferentes informações e a construção de diferentes conhecimentos ampliaram o meu repertório e contribuíram para eu desenvolver uma perspectiva ampla de correlação e integração dos saberes.

Nasci um curioso, e tornei-me um pesquisador.

Na área da Radiologia, atuei por mais de 13 anos, em diferentes esferas. Operacionalmente, atuava realizando exames de raios X, convencional e digital, TC e Densitometria Óssea. Atuei também como professor de cursos técnicos da área de radiologia e, além disso, como *Clinical Application Specialist* (Especialista de Aplicações Clínicas), ministrando treinamentos para equipes operacionais da Radiologia na realização e ajustes de parâmetros e qualidade da imagem em exames de raios X e TC, com ênfase na otimização dos processos e busca pela melhor qualidade diagnóstica, conforme a necessidade médica.

Concluí recentemente, na modalidade EaD, a segunda graduação em Tecnologia em Processos Gerenciais, e a terceira em Tecnologia em Marketing, e estou cursando Bacharelado em Administração de Empresas. Tenho um estilo de aprendizagem autônomo que se aproxima muito das bases teóricas do Conectivismo, a respeito da interconectividade entre ideias de fontes diversas. Na condição de “imigrante digital” (Prensky, 2001), acredito que tenho conseguido extrair os benefícios da educação para meu crescimento pessoal e profissional, resultados da integração das tecnologias midiáticas e suas aplicações.

No decorrer da minha formação, também concluí cursos de pós-graduação, presenciais e remotos, em áreas distintas, como o MBA em Gestão de Negócios e Marketing, Docência do Ensino Superior, Gestão e Auditoria em Serviços de Saúde e Diagnóstico por Imagem. Mais do que certificações, esses cursos proporcionaram-me o acesso a uma gama de informações e perspectivas múltiplas que originaram um arcabouço plural para encarar diferentes desafios no mundo da pesquisa científica e acadêmica.

Fui apresentado ao PPGMiT, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC), da UNESP de Bauru, pela Dra. Gislene Victoria Silva, uma amiga de quase trinta anos, e minha primeira professora de piano e que, naquela época (2016), ela estava cursando o mestrado por esse mesmo programa. Enquanto profissional da educação, a sua perspectiva sobre o programa trouxe luz e possibilidades para a minha vida acadêmica.

As leituras para o processo seletivo do mestrado (2017) e as disciplinas cursadas revelaram o potencial transformador da interdisciplinaridade proposta pelo PPGMiT, despertando meu interesse em pesquisar e propor soluções possíveis de serem aplicadas no mundo real. Algumas dessas leituras foram *Comunicação, mídia e tecnologia* (Straubhaar; Larose, 2004), *Convergence culture: where old and new media collide* (Jenkins, 2006), *Software takes command* (Manovich, 2013) e *Ecología de los medios: entornos, evoluciones e interpretaciones* (Scolari, 2015). Minha trajetória anterior era tecnicista e operacional em Radiologia, sem contato com tantas ideias distintas como as que permeiam as bases desse programa. Embora entre a teoria e a prática possa haver um caminho mais complexo e desafiador do que aparenta, a motivação pelo saber, pelo conhecer e pelo fazer impulsionou-me a continuar pesquisando e aprendendo.

Durante o doutoramento, atravessamos o período da pandemia de Covid-19. Naquela ocasião, pude presenciar na prática que os pensamentos dos autores mencionados anteriormente, a respeito da comunicação e da ecologia dos meios, já haviam moldado as relações sociais de uma forma avassaladoramente rápida. Foi praticamente uma quebra forçada de paradigmas, em que todos tivemos que nos adaptar a novas formas de interações e comunicação pelas mídias digitais.

Apesar das inseguranças e incertezas daquele momento, era notável a construção de uma nova estrutura disruptiva, interativa, econômica e social, em que barreiras geográficas passaram a ser superadas em diversas áreas, como educação e negócios. Algo similar está acontecendo com a emergência das pesquisas em IA, e não será mais possível conduzir nossas vidas com base em modelos antigos de qualquer natureza, sem que haja uma adaptação ou releitura, seja no campo educacional, econômico ou social, sobretudo na saúde.

Conheci várias pessoas, algumas muito especiais para mim, que costumo chamar de “órfãos por câncer”. Diversos relatos sobre como alguns deles carregaram seus próprios pais no colo, definhando dia após dia, dando banhos e enfrentando a impotência perante seus gritos de dor. Além de abraçá-los e ser solícito à sua dor, o que pude fazer foi transformar uma simples ideia em uma possibilidade, com base em fundamentos científicos, sugerindo, com um simples grão de areia na praia, mais uma alternativa para tentar enfrentar a crise do câncer. Escolhi o câncer de pulmão porque é aquele que possui maiores índices de mortalidade e, para mim, requer uma atenção diferenciada de todos nós.

Algumas inquietações que surgiram ao longo do meu percurso no doutoramento foram: “De que maneira utilizar todos os conhecimentos que adquiri ao longo dos estudos para beneficiar a sociedade, minimizando os impactos do câncer?” A resposta mais clara para mim, e que descobri nessa jornada inesperada, foi: pela integração dos saberes e aplicações de tecnologias modernas por meio de uma aplicação transdisciplinar, coordenada e estratégica.

Um dos fatores que mais me motivaram e impulsionaram nessa trajetória de pesquisa foi ter sido orientado pela professora Associada Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, que, com sua

expertise e visão inovadora, contribuiu fortemente para o desenvolvimento e concretização das minhas ideias, que, gradualmente, se tornaram resultados de pesquisas. Eu só precisava de uma oportunidade. Ela me proporcionou diversas. Eu só precisava de alguém que não barrasse o meu potencial criativo e ela me ajudou a expandir cada vez mais as fronteiras do conhecimento, ao me conferir autonomia e liberdade criativa. Somado a isso, o contato com os professores do programa e meu coorientador contribuíram para que eu trilhasse esse caminho e pudesse, hoje, apresentar uma tese de doutorado.

Produção durante o doutoramento

A produção acadêmica durante meu doutoramento, em colaboração com minha orientadora e outros pesquisadores, envolveu a exploração de temas diversos. A cada nova pesquisa, consegui adquirir e aprimorar habilidades e competências para integrar informações e conhecimentos provenientes de diferentes áreas. Para enriquecer essa experiência, tive a oportunidade de realizar parte da pesquisa na Queen's University, no Canadá, por meio do Programa Doutorado Sanduíche no Exterior, sob a supervisão e orientação do professor Dr. Fabio Ynoe de Moraes, médico oncologista com vasta experiência em pesquisa, o que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

A seguir, no quadro 13, estão apresentadas as publicações realizadas durante o doutoramento, em parceria com minha orientadora e colaboradores. Os artigos classificados com o conceito C foram publicados em periódicos que, na época, eram avaliados como o conceito A2 do Qualis CAPES, no quadriênio 2013-2016, mas que mudaram de classificação com a nova avaliação do Quadriênio 2017-2020.

Quadro 13 — Artigos publicados em periódicos (continua)

Ano	Título	Qualis CAPES
Celestino e Valente (2024a)	O uso da ferramenta ChatGPT no suporte à educação e à produção acadêmica. DOI: 10.20396/etd.v26i00.867346	A1 (2017-2020)
Celestino e Valente (2021a)	Aplicabilidade e benefícios de <i>softwares</i> e simuladores em processos de ensino-aprendizagem. DOI: 10.20396/etd.v23i4.8658342	A1 (2017-2020)
Celestino e Valente (2024b)	Análise bibliométrica: revisão de literatura e proposta de <i>framework</i> metodológico em 12 passos. DOI: https://doi.org/10.56238/arev6n4-146	A2 (2017-2020)
Celestino		

Quadro 13 — Artigos publicados em periódicos (conclusão)

Ano	Título	Qualis CAPES
<i>et al.</i> (2023b)	Uma proposta de sequência didática para o ensino de pós-processamento de imagens diagnósticas em Tomografia Computadorizada por intermédio do <i>software</i> gratuito InVesalius. DOI: 10.54033/cadpedv20n5-014	A2 (2017-2020)
Celestino <i>et al.</i> (2023a)	<i>Aprendo: una herramienta de apoyo docente para la enseñanza a distancia.</i> DOI: 10.5747/ch.2023.v20.h542	A4 (2017-2020)
Celestino e Valente (2025)	O impacto emergente do ChatGPT no marketing: análise bibliométrica e tendências recentes (2023-2024). DOI: 10.55905/oelv23n1-179	A4 (2017-2020)
Celestino e Valente (2022a)	<i>Digital exclusion: nuances of a phenomenon which causes inequalities and compromises civic engagement in information society.</i> DOI: 10.22161/ijaers.96.43	A2 (2013-2016) C (2017-2020)
Celestino e Valente (2022b)	<i>The digital exclusion and the commitment to the sustainable development goals in Brazil.</i> DOI: https://doi.org/10.37118/ijdr.24232.3.2022	A2 (2013-2016) C (2017-2020)
Celestino e Valente (2021b)	<i>Digitalization in telehealth: an integrative review.</i> DOI: 10.22161/ijaers.812.19	A2 (2013-2016) C (2017-2020)

Fonte: O autor (2025).

As publicações em periódicos de estrato superiores, conforme a avaliação da CAPES, refletem o rigor científico e a busca pela excelência na produção científica e acadêmica. A produção apresentada no quadro 13 demonstra a diversidade das áreas investigadas, como educação e saúde, e a interdisciplinaridade com as tecnologias midiáticas, sempre visando aos avanços acadêmicos e práticos. A amplitude temática, que abrange desde a aplicação da IA até os processos resultantes da exclusão digital, destaca a interseção entre o conhecimento técnico e social, contribuindo para atender às demandas reais da sociedade e oferecendo abordagens capazes de enfrentar desafios contemporâneos complexos.

Além disso, essas publicações são um reflexo das bases do PPGMiT e evidenciam o meu desenvolvimento como pesquisador ao longo do doutoramento. Já o quadro 14 apresenta outras contribuições que, embora não tenham sido publicadas em periódicos, foram importantes para o percurso.

Quadro 14 — Produções diversas, exceto artigos publicados em periódicos

Ano	Título	Tipo de publicação
Celestino e Valente (2024c)	Inteligência artificial em processos gerenciais (1981-2024) e marketing (1984–2024): análise bibliométrica comparativa.	Artigo completo, Congresso Internacional
Celestino e Valente (2024d)	Tendências do uso do ChatGPT no marketing: uma análise de estudos recentes (2023–2024) com apoio bibliométrico.	Artigo completo, Congresso Internacional
Nascimento <i>et al.</i> (2022)	Cultura da conexão, cidadania e aprendizagem ao longo da vida. (Capítulo 9) DOI: 10.47402/ed.ep.b202211540221	Capítulo de livro
Celestino e Valente (2021c)	Seleção de <i>softwares</i> para o ensino de tomografia computadorizada. (Capítulo 16) DOI: 10.22533/at.ed.49621090316	Capítulo de livro
Celestino e Valente (2021d)	Transformação digital e os impactos da pandemia por Covid-19 nas empresas. (Capítulo 9) DOI: 10.56001/21.9786500363012	Capítulo de livro

Fonte: O autor (2025).

APÊNDICE B — CONCEITOS DE TRANSDISCIPLINARIDADE

A transdisciplinaridade por Nicolescu (1996)

A harmonia entre as mentalidades e os saberes pressupõe que esses saberes sejam inteligíveis e compreensíveis. Mas será que a compreensão ainda pode existir na era da grande explosão disciplinar e da especialização excessiva? Um Pico della Mirandola em nossa época é inconcebível. Dois especialistas da mesma disciplina hoje têm dificuldade de entender seus próprios resultados mútuos. Isso não tem nada de monstruoso, na medida em que é a inteligência coletiva da comunidade ligada a essa disciplina que a faz progredir, e não um único cérebro que necessariamente deveria conhecer todos os resultados de todos os seus colegas-cérebros, o que é impossível. Pois existem hoje centenas de disciplinas. Como um físico teórico de partículas poderia realmente dialogar com um neurofisiologista, um matemático com um poeta, um biólogo com um economista, um político com um cientista da computação, além de generalidades mais ou menos banais? E, no entanto, um verdadeiro tomador de decisão deveria ser capaz de dialogar com todos ao mesmo tempo. A linguagem disciplinar é uma barreira aparentemente intransponível para um neófito. E todos nós somos neófitos dos outros. A Torre de Babel seria inevitável? No entanto, um Pico della Mirandola em nossa época é concebível na forma de um supercomputador no qual se poderiam injetar todos os conhecimentos de todas as disciplinas. Este supercomputador poderia saber tudo, mas não entender nada. O usuário deste supercomputador não estaria em melhor situação do que o próprio supercomputador. Ele teria acesso instantâneo a qualquer resultado de qualquer disciplina, mas seria incapaz de entender seus significados e muito menos de fazer links entre os resultados das diferentes disciplinas (Nicolescu, 1996, p. 26, tradução própria)

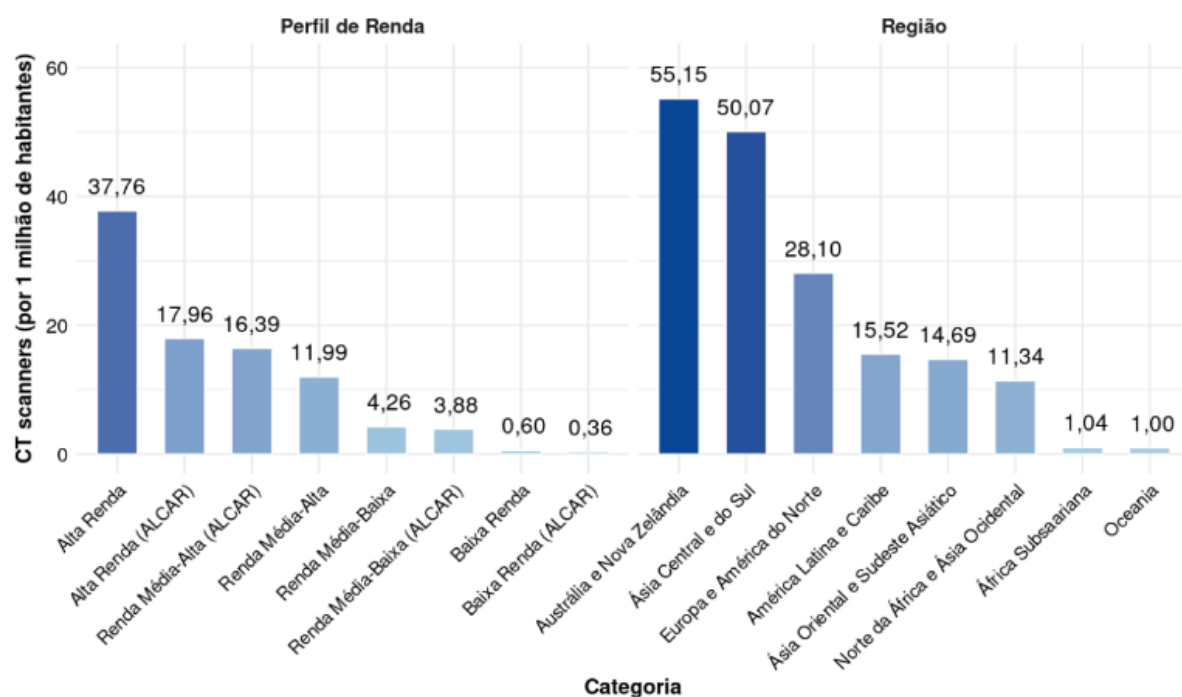
A transdisciplinaridade por Etges (1995)

A atividade transdisciplinar muito se assemelha com as atividades de uma fábrica, que se utiliza de conhecimentos de várias ciências, por exemplo, da física, da química, etc., para chegar a um produto final qualquer. Ouve-se muitas vezes seus administradores dizerem com orgulho que lá se trabalha interdisciplinarmente, quando, na realidade, apenas se agem em termos de fins e de meios. Assim, um currículo escolar ou um programa de “pesquisa interdisciplinar” apenas aparentemente deixa de lado as estruturas fechadas de cada disciplina ou construto, quando põe professores e alunos numa grande sala e os faz trabalhar em função de um produto final qualquer, ou quando os pesquisadores passam a trabalhar num grande projeto, cada qual aportando com elementos em seu campo, mas sempre em função de um saber dominante. O jogo aí é de soma-zero para as ciências auxiliares. Na atividade interdisciplinar todos, porém, devem ganhar (Etges, 1995, p. 67).

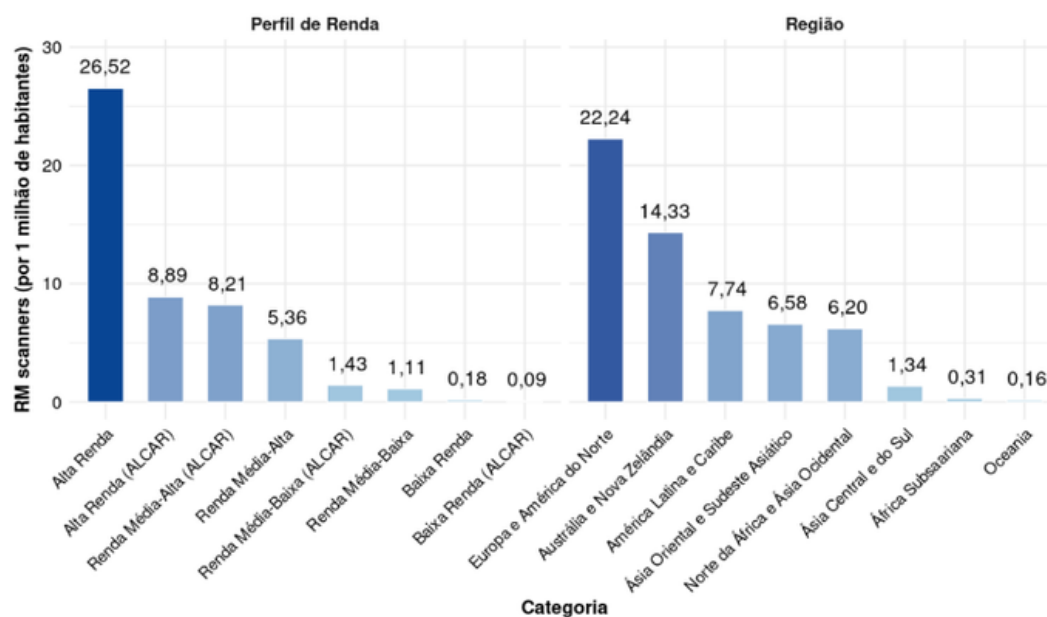
APÊNDICE C — FIGURAS SUPLEMENTARES

As figuras a seguir (de I a V) foram elaboradas com base nos dados da pesquisa.

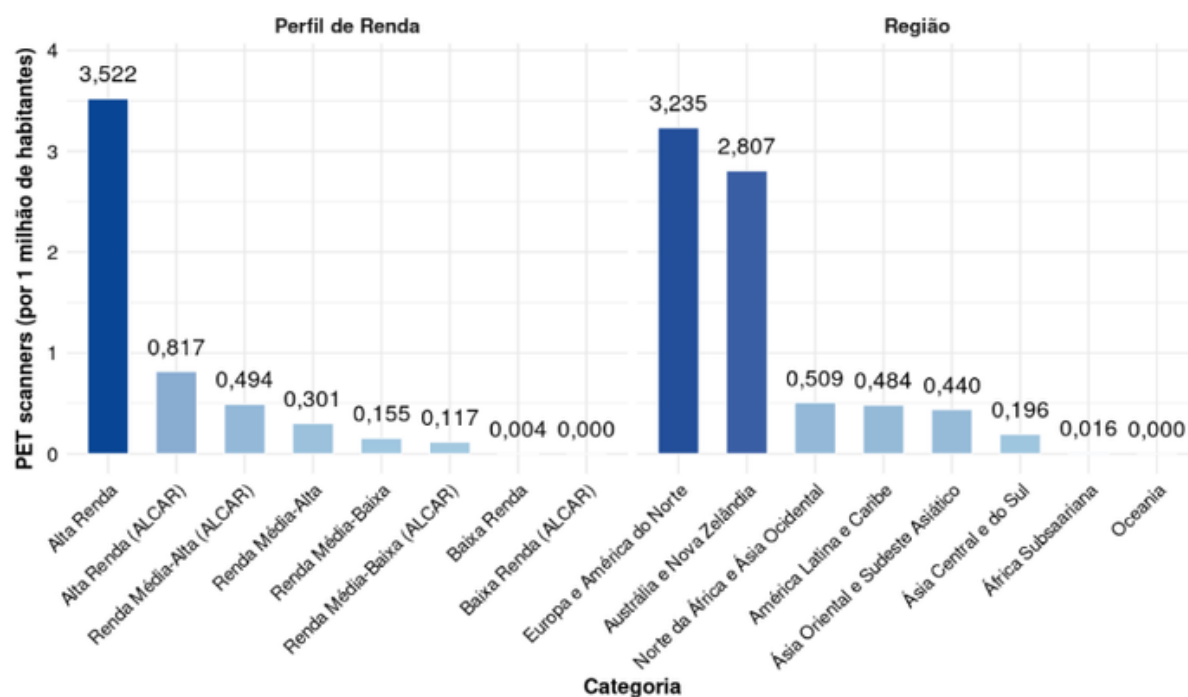
I — Distribuição dos equipamentos de TC por 1 milhão de habitantes



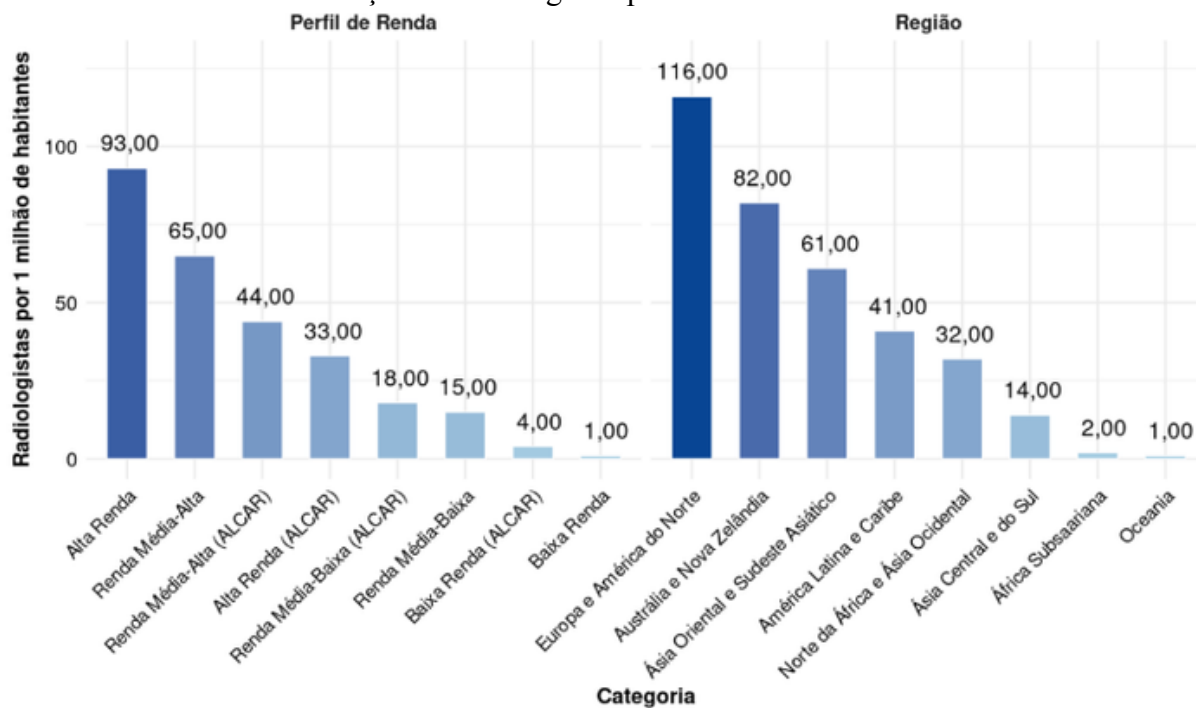
II — Distribuição dos equipamentos de RM por 1 milhão de habitantes



III — Distribuição dos equipamentos de PET por 1 milhão de habitantes



IV — Distribuição de radiologistas por 1 milhão de habitantes



V — Distribuição de médicos nucleares por 1 milhão de habitantes

