



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Biociências  
Departamento de Biofísica e Radiobiologia

**MARIANA DOS SANTOS MACHADO**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO AUXÍLIO DO DIAGNÓSTICO  
PRECOCE DO CÂNCER DE MAMA**

Recife  
2024

MARIANA DOS SANTOS MACHADO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO AUXÍLIO DO DIAGNÓSTICO  
PRECOCE DO CÂNCER DE MAMA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Biomedicina da Universidade Federal de  
Pernambuco, como pré-requisito à  
obtenção do título de Bacharel em  
Biomedicina.

Orientadora: Isvânia Maria Serafim da  
Silva Lopes

Recife  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

MACHADO, Mariana dos Santos.

Inteligência Artificial no Auxílio do Diagnóstico Precoce do Câncer de Mama  
/ Mariana dos Santos MACHADO. - Recife, 2024.  
44p. : il., tab.

Orientador(a): Isvânia Maria Serafim da Silva Lopes  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Biociências, Biomedicina, 2024.

1. Mamografia. 2. Ressonância. 3. Tumor. 4. Inteligência Artificial. 5.  
Diagnóstico Precoce. I. Lopes, Isvânia Maria Serafim da Silva. (Orientação). II.  
Título.

610 CDD (22.ed.)

MARIANA DOS SANTOS MACHADO

## **INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO AUXÍLIO DO DIAGNÓSTICO PRECOCE DO CÂNCER DE MAMA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação  
em Biomedicina da Universidade  
Federal de Pernambuco, como pré-  
requisito à obtenção do título de  
Bacharel em Biomedicina.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Isvânia Maria Serafim da Silva Lopes  
UFPE/ Departamento de Biofísica e Radiobiologia

---

Prof. Dr. Thiago de Salazar e Fernandes  
UFPE/ Departamento de Biofísica e Radiobiologia

---

MSc. Camilla de Andrade Tenorio Cavalcanti  
UFRPE/ Departamento de Biociência Animal

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me deram base e apoio para que eu pudesse chegar até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que com sua proteção e orientação me permitiu chegar nesta fase de conclusão de curso.

Agradeço profundamente a minha orientadora, Prof. Dra. Isvânia Maria Serafim, por ter me aceitado de coração aberto e ter me designado sua confiança, atenção, paciência, ensinamentos e principalmente compreensão nesse momento difícil que foi conciliar a produção textual com a vida cotidiana.

Aos professores e servidores do Departamento de Biofísica e Radiobiologia por todo conhecimento compartilhado.

À professora e amiga Dijanah Cota Machado por ser meu guia em muitos momentos. Sou grata pelas conversas, pela escuta e por ter ressignificado dentro de mim o que é ser um professor universitário.

Aos meus pais que sempre lutaram para me dar condições adequadas de estudo. Obrigada pelo cuidado, incentivo e por fortalecer meu caminho.

Aos meus amigos de curso e de vida Nathálya Lima, Jonathan Vasconcelos, Davi Lacerda e Hisla Cavalcante, obrigada por ser meu refúgio, foi na companhia de vocês que, em muitos momentos, pude me reenergizar e encontrar forças para continuar.

A João Santana, meu parceiro e companheiro de vida, por todo amor, compreensão e torcida. Agradeço principalmente pelos ensinamentos diários os quais me engrandeceram como pessoa e como profissional.

A todos que lutaram e aos que ainda lutam por uma educação pública de qualidade.

“Só porque algo funciona não significa que não possa ser melhorado”

Black Panther

MACHADO, Mariana dos Santos. **Inteligência Artificial no Auxílio do Diagnóstico Precoce do Câncer de Mama.** 2024. 44. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

## RESUMO

O câncer (CA) é uma questão de saúde pública de grande relevância, sendo uma das principais causas de óbito, afetando significativamente a expectativa de vida em todo o mundo. Em 2020, houve cerca de 19,3 milhões de novos casos de CA registrados globalmente. Dentre os diversos tipos de CA, o Câncer de Mama (CM) está entre uma das principais causas de morte entre as mulheres em várias regiões do mundo, incluindo o Brasil. Vários fatores de risco estão associados ao CM, incluindo idade avançada, história reprodutiva da mulher, fatores genéticos, histórico familiar e hábitos de vida, mas a detecção precoce desempenha um papel importante nas chances de cura do paciente, permitindo o início imediato do tratamento com a doença ainda em seu estágio inicial. A implementação de uma abordagem preventiva, como a adoção de tecnologias avançadas para a detecção precoce da doença pode impactar diretamente na redução da taxa de mortalidade. Recentemente, o uso da inteligência artificial (IA) tem ganhado destaque na detecção do CM. Diante disto, o propósito central deste estudo consiste em conduzir uma revisão bibliográfica que aborda as técnicas mais eficientes no diagnóstico precoce do câncer de mama, tendo a inteligência artificial como elemento central, a fim de gerar um diagnóstico mais preciso e confiável. Os sistemas de IA podem ser associados a análise da mamografia, a qual pode apresentar limitações em casos de mamas densas, da ultrassonografia (USG) das mamas e da imagem por ressonância magnética (RM) das mamas e a leitura de biópsias, apresentando alta sensibilidade, especificidade e acurácia. A IA tem o potencial de aprimorar a geração de imagens médicas, automatizar fluxos de trabalho e analisar grandes volumes de dados, proporcionando resultados estatisticamente significativos aos pesquisadores. Com isso, a IA tem se mostrado promissora ao auxiliar no diagnóstico, viabilizando assim, o tratamento em estágio ainda inicial do CM, complementando as práticas tradicionais, aumentando a eficiência do cuidado médico e até prevendo o risco de desenvolvimento do câncer de mama.

**Palavras-chave:** Mamografia. Ressonância. Tumor. Inteligência artificial. Diagnóstico precoce.

MACHADO, Mariana dos Santos. **Artificial Intelligence To Help Early Diagnosis of Breast Cancer.** 2024. 44. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

## ABSTRACT

Cancer (CA) is a public health issue of great relevance, being one of the main causes of death, significantly affecting life expectancy around the world. In 2020, there were around 19.3 million new CA cases recorded globally. Among the different types of CA, breast CA (BC) is one of the main causes of death among women in several regions of the world, including Brazil. Several risk factors are associated with BC, including advanced age, the woman's reproductive history, genetic factors, family history and lifestyle habits, but early detection plays an important role in the patient's chances of cure, allowing immediate initiation of treatment, in the early stage. The implementation of a preventive approach, such as the adoption of advanced technologies for early detection of the disease, can have a direct impact on reducing the mortality rates. Recently, the use of artificial intelligence (AI) has gained prominence in BC detection. Given this, the central purpose of this study is to conduct a literature review that addresses the most efficient techniques in the early diagnosis of breast cancer, with artificial intelligence as a central element, in order to generate a more accurate and reliable diagnosis. AI systems can be associated with the analysis of mammography, which may present limitations in cases of dense breasts, ultrasound (USG) of the breasts and magnetic resonance imaging (MRI) of the breasts and the reading of biopsies, presenting high sensitivity, specificity and accuracy. AI has the potential to improve medical imaging, automate workflows, and analyze large volumes of data, providing researchers with statistically significant results. As a result, AI has shown promise in assisting in diagnosis, and thus allowing treatment at an early stage of BC, complementing traditional practices, increasing the efficiency of medical care and even predicting the risk of developing breast cancer.

**Key words:** Mammography. Resonance. Tumor. Artificial Intelligence. Early diagnosis.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

<b>Figura 1</b> – Processo de formação de tumor até a metástase.....	16
<b>Figura 2</b> – Classificação de tumores malignos.....	18
<b>Figura 3</b> – Taxas de mortalidade por câncer de mama, ajustadas por idade pela população mundial, por 100 mil mulheres. Brasil e Regiões, 2000 a 2021.....	20
<b>Figura 4</b> – Fluxograma da Metodologia.....	29

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classificação BI-RADS.....	22
<b>Tabela 2</b> – Estudos que utilizam inteligência artificial para auxiliar no diagnóstico do Câncer de Mama.....	30-35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ACR	Colégio Americano de Radiologia
CA	Câncer
CM	Câncer de Mama
CMTN	Câncer de Mama Triplo Negativo
DL	Deep Learning
HER2+	Receptor do Fator de Crescimento Epidérmico Humano Positivo
IA	Inteligência Artificial
INCA	Instituto Nacional de Câncer
MD	Mamografia Digital
ML	Machine Learning
MM	Mamografia
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
RE+	Receptor de Estrogênio Positivo
RM	Ressonância Magnética
RP+	Receptor de Progesterona Positivo
TDM	Tomossíntese Digital da Mama
TS	Tomossíntese
USG	Ultrassonografia

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	15
2.1	O CÂNCER E A CARCINOGÊNESE.....	15
2.2	CÂNCER DE MAMA.....	16
2.2.1	Tipos e Subtipos do Câncer de Mama.....	17
2.2.2	Prevalência e Mortalidade do CM no Brasil e no Mundo.....	19
2.2.3	Diagnóstico do Câncer de Mama.....	21
2.2.3.1	Autoexame.....	21
2.2.3.2	Mamografia.....	22
2.2.3.3	Ultrassonografia.....	23
2.2.3.4	Ressonânciia Magnética.....	23
2.2.3.5	Tomossíntese.....	24
2.3	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SUA CONTRIBUIÇÃO NO DIAGNÓSTICO PRECOCE DO CÂNCER DE MAMA .....	25
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	27
3.1	OBJETIVO GERAL.....	27
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
<b>4</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	28
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	29
5.1	TIPO DE ESTUDO.....	29
5.2	COLETA E SELEÇÃO DE DADOS.....	29
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	30
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	39
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	40

## 1 INTRODUÇÃO

O câncer (CA) é uma condição crônica que tem origem a partir de sucessivas mutações no material genético das células de um organismo. Essas mutações acarretam mudanças de funções celulares que afetam diretamente o ciclo celular, resultando em proliferação celular desregulada. O processo natural de morte celular, apoptose, não ocorre nessas células anormais, ocasionando, assim, uma produção incontrolável de novas células cancerosas que podem chegar a invadir tecidos vizinhos e se disseminar pelo corpo (Hassanpour; Dehghani, 2017; INCA, 2022).

O CA, então, se tornou um problema de saúde pública de relevância global, sendo uma das principais causas de óbito e um obstáculo significativo para o aumento da expectativa de vida da população mundial. O CA é a principal causa de mortes no mundo, na atualidade, se apresentando como a principal razão para mortes precoces, antes dos 70 anos. De acordo com as estimativas do *Global Cancer Observatory* (Globocan) da *International Agency for Research on Cancer* (IARC) e da Organização Mundial de Saúde (OMS) o câncer teve um impacto significativo em todo o mundo durante o ano de 2020, com o registro aproximado de 19,3 milhões de novos casos e quase 10 milhões de mortes (INCA, 2022; OMS, 2022).

Na atualidade, o tipo de CA com maior prevalência em mulheres é o Câncer de Mama (CM), com mais de 2,26 milhões de novos casos no ano de 2020 (OMS, 2022). O CM substituiu o CA de pulmão como o mais prevalente e hoje representa 1 em cada 8 diagnósticos de câncer. Estima-se ainda, que 685.000 mulheres morreram de CM em 2020, correspondendo a 16%, ou 1 em cada 6 mortes por câncer em mulheres neste ano (Arnold et al., 2022).

O CM é um tipo de neoplasia mamária maligna que afeta homens e mulheres, onde as células da glândula mamária se modificam e se proliferam de maneira desordenada, havendo a formação de nódulos mamários na maioria dos casos (Do Nascimento et al., 2023). Devido aos altos índices de morbimortalidade e da prevalência desta neoplasia, é imprescindível que seu diagnóstico seja realizado precocemente para melhor combater esse problema de saúde pública, com o rápido início do tratamento e consequentemente maiores chances de cura do paciente (Soares et al., 2022).

O diagnóstico precoce do CM vem sendo realizado através da mamografia, ultrassonografia (USG), ressonância magnética (RM), da prática sistemática do

autoexame das mamas e em casos de lesões palpáveis, biópsias mamárias são realizadas (Maia; Atty; Tomazelli, 2023). O rastreio mamográfico tem sido o mais utilizado para a detecção precoce do CM, desde os anos 80. Entretanto, um dos principais desafios associados a essa técnica é a notável variabilidade na precisão do diagnóstico entre os radiologistas, o que pode resultar em casos de CM não detectados (Dembrower et al., 2023).

Dentro desse cenário, a ultrassonografia mamária desempenha um papel significativo como um exame adicional à mamografia e à avaliação clínica, se estabelecendo assim, como uma ferramenta importante para a detecção de doenças mamárias por imagem. A USG demonstrou eficácia na detecção de cânceres pequenos e invasivos em tecidos densos, contudo por ser um método examinador-dependente e aparelho-dependente também apresenta limitações (Calas et al., 2020). A RM, também aplicada para detectar CM, é mais sensível do que a mamografia, mas não é amplamente utilizada para exames de rotina da saúde mamária (Liu et al., 2020).

Devido às limitações apresentadas pelos métodos de diagnóstico, deve-se aliar essas metodologias com novas técnicas e equipamentos. O uso da inteligência artificial (IA) tem chamado atenção nos últimos anos por seu potencial revolucionário, havendo um aumento no interesse do seu uso para a detecção do CM, uma vez que a IA apresenta a capacidade de oferecer um diagnóstico mais preciso e confiável em auxílio aos métodos convencionais (Odhiambo et al., 2023).

Dessa forma, considerando os benefícios da introdução da IA aos métodos convencionais de diagnóstico de câncer, principalmente no suporte para os radiologistas em suas interpretações, este trabalho tem o intuito de acoplar informações de diferentes estudos e experimentos a fim de selecionar os melhores atributos da IA, e assim fornecer um panorama completo sobre perspectivas futuras de um diagnóstico mais precoce.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O CÂNCER E A CARCINOGÊNESE

O CA é uma doença de base molecular que origina-se por meio de mutações genéticas que resultam na transformação de células saudáveis em células cancerosas, apresentando características como insensibilidade a sinais inibidores do crescimento, bloqueio da apoptose, potencial replicativo ilimitado, angiogênese sustentada, invasão tecidual e metástase (Vineis; Schatzki; Potter, 2010).

O processo de transformação dessas células é conhecido como carcinogênese ou oncogênese (Figura 1) e abrange vários estágios que progressam de uma lesão pré-cancerosa a tumores malignos. Essas alterações ocorrem devido à interação entre os fatores genéticos de um indivíduo, a exposição excessiva e prolongada a hormônios e três categorias de elementos externos, que incluem os agentes físicos carcinogênicos, como radiação ultravioleta e ionizante, substâncias químicas cancerígenas, como amianto e arsênio, e agentes biológicos carcinogênicos, como infecções causadas por determinados vírus, bactérias ou parasitas (INCA, 2022; OPAS/OMS, 2020).

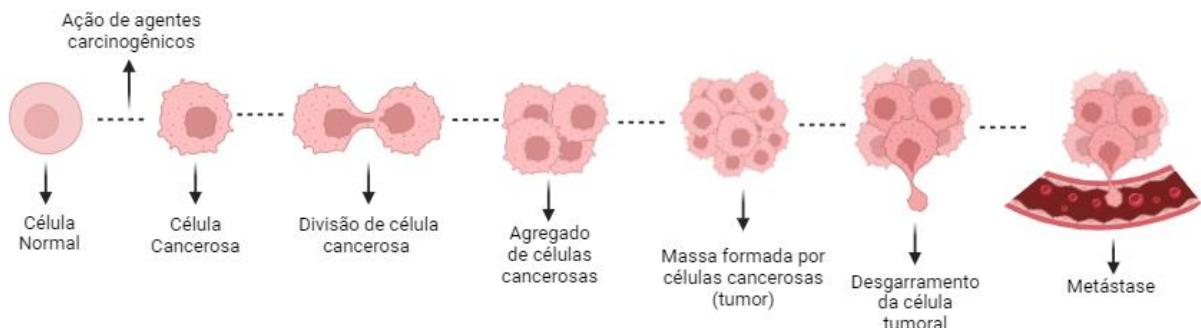
O processo de carcinogênese começa com o estágio de iniciação, onde os agentes carcinogênicos provocam modificações em genes especiais, genomas esses, denominados de proto-oncogenes, que regulam os processos biológicos e atuam como fatores de crescimento, transdutores de sinais e fatores de transcrição nuclear (INCA, 2022; Kontomanolis et al., 2020).

Em seguida, vem o estágio de promoção, no qual as células geneticamente modificadas sofrem ação dos agentes cancerígenos classificados como oncopromotores. Então, os proto-oncogenes ativados são transformados em oncogenes, que levam ao aparecimento de células cancerígenas. Essas células iniciadas são transformadas em células malignas por meio de um processo lento e gradual, que pode ser interrompido pela suspensão do contato com agentes promotores ou por genes supressores de tumor. Todavia se não houver essa suspensão ou ocorrer a falha dos genes supressores, o processo de transformação continua e pode estender-se por vários anos, antes que uma célula cancerosa se prolifere e dê origem a um tumor visível (INCA, 2022; Kontomanolis et al., 2020).

O terceiro estágio é o da progressão, estágio caracterizado pela multiplicação

descontrolada e irreversível das células cancerígenas, que podem invadir tecidos adjacentes e se disseminar pelo corpo (metástase) (INCA, 2022).

**Figura 1.** Processo de formação de tumor até a metástase.



**Fonte:** Autor, 2023. Figura feita no Biorender.

## 2.2 CÂNCER DE MAMA (CM)

O CM é uma doença multifatorial que acomete o tecido da mama, principalmente os lobos e ductos mamários, por meio de um crescimento rápido e desordenado de células anormais, que irão formar um tumor, que apresenta sinais e sintomas como lesões comumente indolores, fixas e com bordas irregulares, edema, eritema, nódulo em uma das mamas ou na axila, mudança no aspecto da pele e produção de secreção sanguinolenta ou serosa pelos mamilos (Cândido et al., 2016; Matos; Rabelo; Peixoto, 2021).

Vários fatores estão relacionados com o aumento do risco de desenvolvimento dessa neoplasia. Existem fatores modificáveis, como os fatores comportamentais/ambientais e os não modificáveis, como os fatores genéticos, endócrinos e a vida reprodutiva (Matos; Rabelo; Peixoto, 2021).

Entre os fatores modificáveis, estão a falta de atividade física; o peso elevado, principalmente após a menopausa, uma vez que a obesidade pode elevar a probabilidade de recidiva do câncer e as chances de óbito; consumo excessivo de álcool, devido ao aumento dos níveis de estrogénios induzidos pela sua ingestão, que eleva os risco de carcinogênese nos órgãos femininos, como a mama; fumar cigarro,

devido ao aumento das chances de mutações nos proto-oncogenes e genes supressores de tumor no tecido mamário (Łukasiewicz et al., 2021).

Além disso, fatores como a exposição ao inseticida Dicloro-Difenil-Tricloroetano e a bifenilas policloradas também podem induzir o desenvolvimento do CM por interromper o desenvolvimento das glândulas mamárias. Má alimentação também contribui para o surgimento do CM, tanto pela falta de nutrientes, como vitaminas (vitaminas C, D, E, entre outras), como pelo consumo de alimentos ultraprocessados, que estão associados com maior risco de CM (Łukasiewicz et al., 2021).

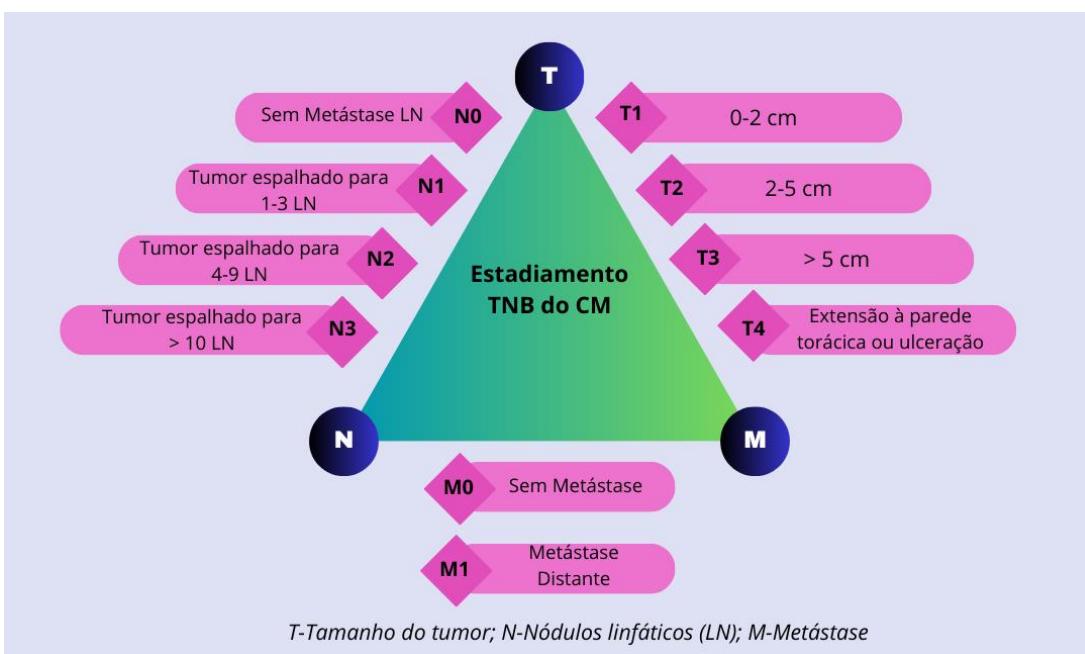
Entre os fatores não modificáveis estão raça (mulheres negras apresentam maior risco de morte); fatores endócrinos e reprodutivos, uma vez que a menstruação precoce, gravidez tardia, amamentação e a menopausa tardia estão associadas com o aumento da exposição a estrógenos e o desequilíbrio hormonal, que são cruciais para indução da oncogênese no microambiente mamário (Łukasiewicz et al., 2021; Matos; Rabelo; Peixoto, 2021).

Fatores genéticos também estão associados ao desenvolvimento de CM. Existem genes que estão relacionados a maiores chances de CM. Os genes *BRCA1/2* são os principais genes relacionados com o CM, estimando-se que 5-10% dos pacientes com CM possuem mutação nesses genes, genes esses que são responsáveis pela produção de proteínas supressoras de tumor. Outros genes que apresentam alto risco de desenvolvimento de CM são: *PALB2*, *TP53*, *ATM*, *PTEN*, *CHEK2*, *CDH1* e *STK11* (Breast Cancer Association Consortium, 2021; Swaminathan; Saravanamurali; Yadav, 2023).

## 2.2.1 Tipos e Subtipos do CM

Os principais tipos de câncer de mama são os carcinomas lobular e ductal *in situ* e invasivos, sendo o carcinoma ductal invasivo o responsável por aproximadamente 80% dos casos de CM. O CM também é classificado conforme seu estadiamento clínico, seguindo a classificação de tumores malignos. Essa classificação leva em consideração o tamanho do tumor (T), a quantidade de linfonodos em que o tumor está presente (N) e metástase (M) e varia de T0 a T4, de N0 a N3 e de M0 a M1 (Figura 2) (Swaminathan; Saravanamurali; Yadav, 2023).

**Figura 2:** Classificação de tumores malignos.



**Fonte:** Adaptado de Swaminathan; Saravanamurali; Yadav, 2023.

Após a definição das categorias T, N e M, elas são agrupadas em estádios que variam de 0 a IV, sendo 0, a classificação referente ao CM *in situ*, a classificação I, referente ao estádio mais inicial da neoplasia com tumor invasivo de menos de 2 cm, que não se espalhou pelos linfonodos, II referente a tumores entre 2 a 5 cm, III referente a uma neoplasia avançada, em que o tumor pode ser maior que 5 cm e pode ou não ter se espalhado para os linfonodos e/ou outros tecidos adjacentes à mama e o IV referente a um câncer metastático (Matos; Rabelo; Peixoto, 2021).

A análise molecular do CM tem sido amplamente estudada e comumente categorizada em quatro grupos principais com base na expressão imuno-histoquímica do receptor hormonal: receptor de estrogênio positivo (ER+); receptor de progesterona positivo (PR+); receptor do fator de crescimento epidérmico humano positivo (HER2+); e câncer de mama triplo negativo (CMTN), que se caracteriza pela falta de expressão de qualquer um dos receptores mencionados (Shaath et al., 2021).

O receptor de estrogênio (RE) desempenha um papel importante no diagnóstico, uma vez que aproximadamente 70-75% dos carcinomas invasivos da mama são identificados pela expressão elevada do RE (MIAH et al., 2019). Já o receptor de progesterona (PR) é detectado em mais de 50% dos pacientes com RE positivo e é extremamente raro em casos de CM com RE negativo, concluindo assim, que a expressão do PR é controlada pelo RE (Borunda et al., 2022).

Os tumores do tipo Luminal A, que também entram na classificação molecular do CM, são caracterizados pela presença de RE e/ou PR além da ausência de HER2, e geralmente exibem uma baixa expressão do marcador de proliferação celular Ki-67. Clinicamente, esses tumores são de baixo grau, têm crescimento lento e um prognóstico mais favorável, com uma menor incidência de recidiva e uma maior sobrevida (Gao et al., 2022).

Os tumores do tipo Luminal B exibe um fenótipo mais agressivo, com um grau histológico mais elevado e um índice proliferativo aumentado. Esses subtipos podem apresentar perfis de expressão gênica negativos para o receptor de progesterona (PR) e positivos para o HER2 e está associado a prognósticos mais desfavoráveis. Representando cerca de 10-20% dos tumores luminais, os cânceres de mama Luminal B estão ligados a taxas de recorrência mais altas e taxas de sobrevivência relativamente mais baixas em comparação com os tumores Luminal A (Swaminathan et al., 2023; BORUNDA et al., 2022).

O CM HER2-positivo representa cerca de 15-25% dos casos de câncer de mama invasivo e é considerado um subtipo agressivo da doença, associado a resultados de sobrevida menos favoráveis em pacientes com CM. Além disso, esses tumores tem uma grande capacidade metastática e frequentemente se dissemina para o cérebro e outros órgãos viscerais, o que pode prejudicar as funções neurológicas normais e reduzir significativamente a qualidade de vida dos pacientes com esse subtipo de CM (Swaminathan et al., 2023).

Os CMs triplo-negativos (CMTN) formam um grupo heterogêneo que compreende cerca de 15 a 20% de todos os cânceres de mama. Esses tipos de tumores são identificados pela falta de expressão de receptores de estrogênio, receptores de progesterona e receptor 2 (HER2) fazendo com que o CMTN tenha implicações notáveis no seu diagnóstico e tratamento, sendo classificado como o subtipo de CM mais agressivo, altamente metastático e com baixas taxas de sobrevivência globais em cerca de 15% de todos os casos de CM (Arundhathi et al., 2021; Chen et al., 2024; Shaath et al., 2021).

## 2.2.2 Prevalência e Mortalidade do CM no Brasil e no Mundo

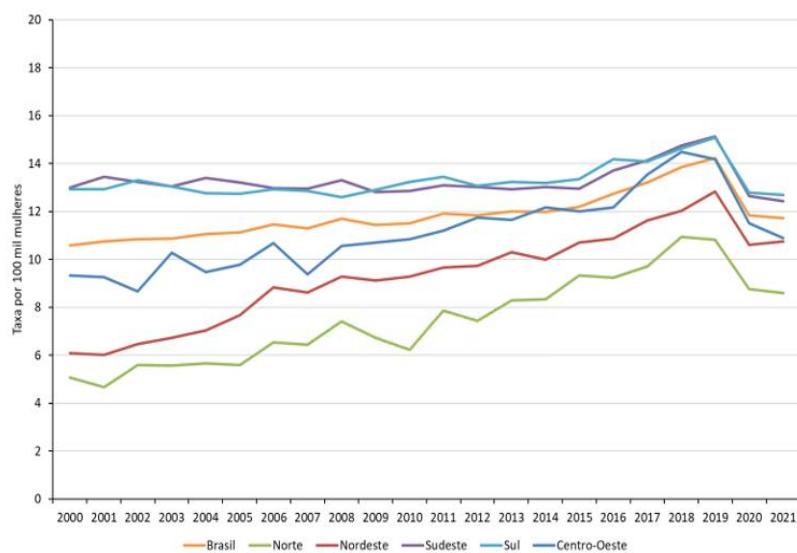
O CM é a neoplasia de maior incidência mundial, com cerca de 2,26 milhões de novos casos em 2020, apresentando maior incidência em países ricos com alto

índice de desenvolvimento humano. Países como Bélgica, EUA, Reino Unido e Itália apresentam taxas de incidência muito mais elevadas do que países como Irã, México, Camarões, e Costa Rica. A China e os Estados Unidos (EUA) apresentam os maiores números de casos de CM (Lei et al., 2021).

Entretanto, quando observa-se a mortalidade do CM constata-se que entre as 685 mil mortes no ano de 2010, cerca de 457 mil mortes foram em países subdesenvolvidos. Em regiões economicamente mais desenvolvidas, os índices de sobrevivência em 5 anos são superiores a 80%, porém quando observamos a sobrevida em 5 anos de países como Índia e África do sul vemos uma queda brusca, com taxas inferiores a 70% e a 50%, respectivamente (Wilkinson; Gathani, 2022).

No Brasil, o CA de mama é o tipo de câncer mais comum, depois do câncer de pele, e também é o que causa mais mortes por câncer em mulheres (Figura 3). Em 2021 houveram 66.280 novos casos e 18.139 mortes causadas por CM (Cartilha INCA, 2023).

**Figura 3.** Taxas de mortalidade por câncer de mama, ajustadas por idade pela população mundial, por 100 mil mulheres. Brasil e Regiões, 2000 a 2021.



**Fonte:** INCA. Atlas de Mortalidade por Câncer.

Acesso em: 13 dez 2023.

Para 2023 foram estimados 73.610 novos casos, entre esses novos casos estimados, o sudeste terá maior incidência (39.330 casos), seguido da região nordeste (15.690 casos) e da região sul (11.230 casos) (Santos et al., 2023; INCA, 2022). Sabendo que o índice de mortalidade relacionado ao CM cresce progressivamente

com o avançar da idade, isso sugere que as regiões sul e sudeste apresentam índices mais elevados devido à sua elevada urbanização e à longevidade da população.

Essas estatísticas, alarmantes, ressaltam a importância do diagnóstico precoce que se mostra imprescindível para reduzir esses números, e de acordo com o INCA, esses dados têm caráter trienal, sendo válidos para os anos de 2023, 2024 e 2025.

### 2.2.3 Diagnóstico do CM

A detecção do CA em sua fase inicial pode aumentar as chances de controle da doença reduzindo sua progressão, aumentar a taxa de sobrevida dos pacientes e reduzir despesas médicas (Van et al., 2023). No Brasil, as Diretrizes para a Detecção Precoce do Câncer de Mama, indicam a mamografia como o principal exame para o rastreamento, uma vez que ele apresenta eficácia comprovada na redução da mortalidade por câncer de mama (INCA, 2022).

Os principais procedimentos de detecção da doença envolvem a mamografia e o exame clínico, além de outras técnicas como USG, RM, tomossíntese, cintilografia, análises sanguíneas, biópsias, exames citopatológicos e histopatológicos, bem como análises de genes (Bernardes et al., 2019; Moshina et al., 2024).

#### 2.2.3.1 Autoexame

A prática do autoexame das mamas foi inicialmente adotada como estratégia para reduzir o número de diagnósticos de tumores de mama em estágio avançado. Acreditava-se que isso seria possível ao ensinar às mulheres uma técnica específica de palpação e observação das mamas, a ser realizada e registrada mensalmente (INCA, 2021).

No entanto, estudos clínicos indicaram que o ensino sobre autoexame das mamas não resultou em uma diminuição na taxa de mortalidade. Como alternativa, muitos países começaram a desenvolver a estratégia de *Breast Awareness*, que significa estar consciente e alerta para a saúde das mamas. Esse enfoque orienta as mulheres a examinarem suas mamas regularmente, sem a necessidade de seguir uma técnica específica ou ensino de um método padronizado de autoexame, valorizando a identificação casual de anomalias (INCA, 2021).

### 2.2.3.2 Mamografia (MM)

A mamografia é uma radiografia das mamas feita por um equipamento de raios X chamado mamógrafo, equipamento esse, capaz de identificar alterações suspeitas de CM, antes mesmo do surgimento dos sintomas (Koch, 2016). Considerada o padrão ouro, a mamografia é a principal metodologia de diagnóstico de imagem do CM, sendo preconizada para mulheres de 50 a 69 anos a cada dois anos (Moreira; Malta; Carvalho, 2023).

Entretanto, apesar da MM ser amplamente aceita como padrão ouro para o diagnóstico do CM, durante muito tempo não havia um modelo padronizado de interpretação de imagem. Foi somente com o desenvolvimento do Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) criado pelo American College of Radiology (ACR) que surgiu uma abordagem uniforme para relatar patologias mamárias através de imagens, promovendo assim, uma comunicação mais clara entre os radiologistas e outros profissionais de saúde (Spak et al., 2017; Noonpradej et al., 2021).

O BI-RADS é definido por categorias numeradas de 0 a 6 que indicam qual é o risco desse exame evidenciar um CM, mas não evidenciam o tipo de tumor (Figura 4). As mesmas categorias numeradas são usadas para relatar os resultados de mamografias, ultrassonografias mamárias e ressonâncias magnéticas mamárias, no entanto, as recomendações para acompanhamento podem ser diferentes (BreastCancer, 2024).

**Tabela 1.** Classificação BI-RADS.

<b>Categoria 0:</b> Incompleto
➔ Mamografia – necessita de imagens adicionais e/ou mamografias anteriores para comparações;
➔ Ultrassom e RM – necessita de imagens adicionais.
<b>Categoria 1:</b> Negativo
<b>Categoria 2:</b> Benigno
<b>Categoria 3:</b> Provavelmente Benigno
<b>Categoria 4:</b> Suspeito
➔ Mamografia e Ultrassom
Categoria 4A: Baixa suspeição de malignidade
Categoria 4B: Moderada suspeição de malignidade
Categoria 4C: Alta suspeição de malignidade
<b>Categoria 5:</b> Achado altamente sugestivo de malignidade

**Categoria 6:** Malignidade conhecida e comprovada por biópsia

**Fonte:** Adaptado ACR BI-RADS – Atlas 5º Edição.

Ainda assim, ao longo dos anos, foi-se levantando controvérsias, incertezas e discussões sobre o uso da mamografia como ferramenta de rastreamento. Embora o rastreamento mamográfico tenha reduzido a mortalidade do CM, esse fato não se verifica em todas as faixas etárias, com dados estatisticamente insignificantes para mulheres acima de 50 anos em alguns estudos. Além disso, há uma taxa de falsos positivos associada à mamografia de rastreamento, uma vez que há uma notável variabilidade na precisão do diagnóstico entre os radiologistas (Batchu et al., 2021; Filho et al., 2022).

#### 2.2.3.3 Ultrassonografia (USG)

Outro método utilizado no diagnóstico do CM é a ultrassonografia que utiliza ondas sonoras de alta frequência para criar imagens detalhadas do tecido mamário. Ao contrário da mamografia, não envolve exposição à radiação ionizante, tornando-a um método seguro para detecção de anomalias nas mamas, principalmente em mulheres com tecido mamário denso. Ela auxilia na avaliação de anormalidades identificadas em mamografias e também pode ser empregada para monitorar a evolução da doença e avaliar a eficácia do tratamento (Wang L. et al., 2024).

Quando a mama da paciente é densa, a mamografia apresenta limitações, assim a USG de mama pode ser utilizada como uma metodologia mais sensível para detectar CM oculto em mamas densas, especialmente em mulheres mais jovens. Todavia, por ser um método examinador-dependente e aparelho-dependente, também apresenta limitações (Yuan et al., 2020).

#### 2.2.3.4 Ressonância magnética (RM)

A RM das mamas é uma técnica de imagem avançada com excelente sensibilidade e moderada especificidade. Atualmente, é utilizada para o rastreio suplementar de CM em indivíduos de alto risco e em estadiamento (Ferreira et al., 2021; Gao et al., 2021).

Atualmente, antes da RM ser dada como necessária para detecção de CM, o estudo mamográfico deve ser revisado e completado com uma ultrassonografia

seletiva da área suspeita. Desta forma, as lesões podem ser evidenciadas através de técnicas convencionais. Nos casos em que não é possível a detecção ultrassonográfica ou mamográfica, existe a possibilidade de localização por meio da ressonância magnética (Estrada et al., 2020).

No entanto, a utilização da RM com contraste como uma modalidade de imagem otimizada para capturar tumores biologicamente mais agressivos que podem ser ocultos na mamografia vem ganhando destaque. Isto tem levado a uma expansão do papel da RM no rastreamento do CM de mama. Além disso, há evidências de que a RM supera a mamografia e a ultrassonografia em mulheres com risco moderado de desenvolver câncer, o que levou a uma ampliação mais recente das indicações de rastreamento por RM em certas diretrizes médicas. Porém, devido ao custo mais elevado e a baixa disponibilidade de equipamentos para a realização dessa técnica, a RM acaba não sendo bem difundida e seu uso permanece restrito (Ferreira et al., 2021; Gao et al., 2021).

#### 2.2.3.5 Tomossíntese (TS)

Devido a esses dados, outras técnicas de diagnóstico vêm sendo desenvolvidas. Dentre elas, surgiu a tomossíntese digital da mama (TDM) que combinada com a mamografia digital (MD) está associada a maiores taxas de detecção de câncer em comparação com a MD padrão sozinha (Holen et al., 2023).

A Tomossíntese mamária é uma técnica que surgiu com os avanços tecnológicos e utiliza da combinação da mamografia digital com imagens tridimensionais para facilitar o diagnóstico precoce do CM. As imagens tridimensionais produzidas nesta técnica minimizam a sobreposição do tecido mamário na imagem, facilitando a identificação de lesões. Vários estudos foram publicados confirmando a eficácia da tomossíntese no rastreamento do CM de mama, pois gera aumento da taxa de detecção de câncer, bem como redução do número de falso-positivos. Contudo, é possível que algumas lesões não apareçam nas imagens quando a paciente possui mamas extremamente densas. Além disso, a técnica ainda é de alto custo, dificultando sua implementação (Sobrinho, 2023; Urban et al., 2017).

Apesar da disponibilidade desses métodos de diagnóstico, o maior desafio persiste na diminuição de resultados falso negativos e na identificação precoce da doença, o que poderia ser minimizado através de um maior investimento em

tecnologias que tragam robustez para o diagnóstico do CM, como o uso da IA aumentando assim, as chances de sobrevivência dos pacientes (Bernardes et al., 2019; Larsen et al., 2023).

### 2.3 IA E SUA CONTRIBUIÇÃO NO DIAGNÓSTICO PRECOCE DO CM

A IA é uma forma avançada de tecnologia que usa princípios algorítmicos, baseados em matemática, semelhantes aos da mente humana para lidar com desafios complexos, como os encontrados nas unidades de saúde focadas no paciente com CA (Sufyan et al., 2023).

À medida que a tecnologia avança e a digitalização se torna amplamente adotada, os aplicativos de IA estão sendo gradualmente introduzidos no fluxo de trabalho de diagnóstico (Waissengrin et al., 2023). A utilização crescente da IA na área da patologia tem como objetivo proporcionar informações precisas que muitas vezes são desafiadoras para os patologistas. Isso envolve a avaliação exata de biomarcadores imuno-histoquímicos, sua expressão, avaliação da densidade e avaliação do padrão de distribuição, além da detecção de células cancerígenas isoladas em gânglios suspeitos de metástase, melhorando, assim, a sensibilidade da detecção de maneira eficaz em termos de tempo (Shafi et al., 2023).

Desde o início, os especialistas previram o potencial de soluções altamente personalizadas nos cuidados oncológicos empregando tecnologias de IA. Esta promessa está sendo concretizada incluindo a melhoria do Machine Learning (ML) e do Deep Learning (DL) (Sebastian et al., 2022). Como resultado, temos a IA sendo utilizada para triagem de exames e/ou como suporte para os radiologistas em suas interpretações (Kaneko et al., 2023; Larsen et al., 2023).

A ML ou aprendizagem de máquina é uma subdisciplina da IA que permite que os computadores aprendam com os dados. O ML emergiu como a principal ferramenta de IA para alcançar insights cognitivos, fazer previsões e apoiar a tomada de decisões de um computador. A ML representa um afastamento dos métodos anteriores de IA (sistemas especialistas) que operavam usando um conjunto exaustivo de regras lógicas, codificadas manualmente em software, que tentavam antecipar todos resultados possíveis de um problema. Com a ML, os computadores são capazes de inferir suas próprias regras usando métodos de software avançados (Howard, 2019).

O DL ou aprendizado profundo é um subconjunto de redes neurais que usam múltiplos processamentos de camadas de neurônios interconectados entre entrada e saída de camadas para reconhecer um padrão. Por exemplo, imagens de entrada são inseridas em uma rede neural e os neurônios atribuem pesos matemáticos a diferentes elementos (pixels) da imagem. Uma camada de saída final reúne todas as informações geradas para identificar a imagem. Se a saída está incorreta, a rede neural nota o erro e ajusta os pesos de seus neurônios. A rede examina outra imagem, repete esses passos milhares de vezes, ajustando os pesos a cada vez, estreitando a taxa de erro até que a rede identifique corretamente a imagem. Algoritmos de aprendizagem profunda alcançaram sucesso significativo em reconhecimento de imagem, fala, linguagem natural e compreensão (Howard, 2019).

Em um dos mais importantes estudos sobre a utilização da DL junto a mamografia, Lotter et al. apresentaram um modelo de DL para detecção de CM que rendeu o que há de mais moderno desempenho em relação a esse método de imagem, aumentando o acesso ao rastreio precoce da doença. McKinner et al. também utilizou a IA a fim de analisar seu desempenho perante os exames de imagem projetando-a para destacar áreas específicas de suspeita para malignidade, e identificou que o sistema de IA superou o desempenho dos radiologistas.

Portanto, estudos sugerem que a IA tem precisão diagnóstica para interpretar imagens radiológicas de rastreamento de CM por meio de identificação de padrões (Dembrower et al., 2023).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar uma revisão de literatura sobre a aplicação da IA na análise de imagens médicas das mamas, obtidas através dos principais métodos de rastreamento como a mamografia, ultrassonografia e ressonância magnética, para identificar se a IA pode auxiliar no diagnóstico precoce.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Fazer levantamento bibliográfico nas bases de dados indexadas;
- Coletar dados sobre a situação atual do uso da IA no diagnóstico do CA;
- Relatar acerca da importância do diagnóstico precoce do câncer de mama;
- Identificar se a IA auxilia no diagnóstico precoce em mamografias, ultrassonografias e RM.

#### **4 JUSTIFICATIVA**

O CM é a neoplasia de maior incidência mundial e com alta taxa de mortalidade. Um diagnóstico precoce aumenta significativamente as chances de tratamento bem-sucedido e sobrevida. Portanto, melhorar as ferramentas de diagnóstico pode ter um impacto direto na saúde pública, reduzindo o número de mortes por CM.

Perante as ferramentas de diagnóstico vigente, a IA tem se mostrado como uma aliada muito importante no auxílio da detecção de achados em imagens, inclusive na análise das imagens médicas. Dessa forma, fazer um levantamento da aplicação da IA para detecção de lesões nas mamas, a partir de imagens de mamografia, ultrassonografia e RM, pode ser de grande importância na avaliação do emprego desta ferramenta como auxílio do diagnóstico precoce.

A inteligência artificial pode contribuir para uma abordagem mais personalizada no diagnóstico e tratamento do CM. Ao analisar grandes conjuntos de dados, a IA pode identificar padrões específicos em pacientes individuais, permitindo uma abordagem mais direcionada e eficaz para cada caso.

## 5 METODOLOGIA

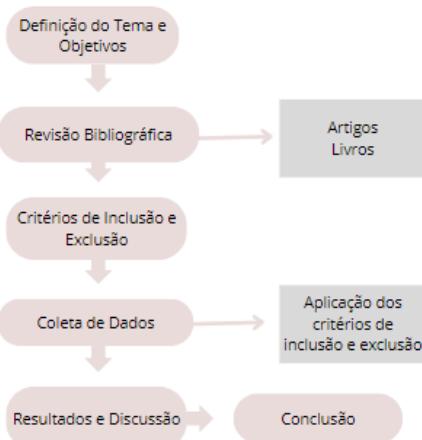
### 5.1 TIPO DE ESTUDO

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica da literatura, realizada a partir das seguintes etapas: identificação do tema e desenvolvimento da pergunta norteadora (A IA pode auxiliar no diagnóstico precoce do CM?), estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão, análise e seleção dos estudos; interpretação dos dados e resultados; apresentação da revisão.

### 5.2 COLETA E SELEÇÃO DE DADOS

O levantamento bibliográfico foi realizado no período de outubro de 2023 a março de 2024 nas seguintes bases de dados: ScienceDirect (Elsevier), Scopus (Elsevier), BVS (Biblioteca Virtual em Saúde) e na biblioteca PubMed (National Library of Medicine). Os descritores utilizados foram “câncer da mama”, “inteligência artificial” e “diagnóstico precoce” com o objetivo de verificar a relação entre esses estudos. Termos livres também foram utilizados a fim de enriquecer ainda mais o texto. Os critérios de inclusão foram os artigos em língua portuguesa, língua espanhola e língua inglesa que foram publicados no período correspondente aos anos de 2019 a 2024, sendo excluídos os artigos que estivessem fora do período proposto, que não se enquadrem no tema, artigos incompletos e com deficiência na descrição metodológica (Figura 4).

**Figura 4.** Fluxograma da Metodologia



**Fonte:** Autor, 2023.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os artigos de maior relevância selecionados segundo os critérios da pesquisa estão expostos na Tabela 2 abaixo.

**Tabela 2:** Estudos que utilizam inteligência artificial para auxiliar no diagnóstico do CM.

Referências	Método	Dados do estudo	Resultados
Rodriguez-Ruiz et al., 2019a	Sistema de DL usando redes neurais convolucionais para a avaliação de imagens de mamografia digital e tomossíntese mamária digital.	Estudo realizado com 2652 exames de 7 países.	O desempenho do sistema de IA foi estatisticamente não inferior ao da média dos 101 radiologistas. O sistema de AI apresentou AUC de 0,840 (intervalo de confiança (IC) de 95% = 0,820 a 0,860) e a média dos radiologistas foi de 0,814 (IC 95% = 0,787 a 0,841). O sistema de AI teve AUC maior que de 61,4 dos radiologistas.
Rodriguez-Ruiz et al., 2019b.	Sistema de DL usando redes neurais convolucionais (Transpara versão 1.3.0) para a avaliação de imagens de mamografia digital.	Estudo americano com 240 exames mamográficos digitais.	Em média, a AUC foi maior com o apoio do sistema de IA comparada com a leitura sem seu apoio (0,89 vs 0,87, respectivamente; $P = 0,002$ ). A sensibilidade aumentou com o suporte da IA (86% [86 de 100] vs 83% [83 de 100]; $P = 0,046$ ) e a especificidade tendeu a melhorar (79% [111 de 140]) vs 77% [108 de 140]; $P = 0,06$ ).
Liu et al., 2019	Algoritmo de IA baseado em DL (LYmph Node Assistant ou LYNA) para detecção de CM metastático em biópsias de linfonodo sentinel.	Estudo realizado nos Estados Unidos com 399 biópsias.	O algoritmo alcançou uma AUC de 99%, sensibilidade de 91% com 1 falso positivo por paciente no conjunto de dados de avaliação Camelyon16. Quando aplicado a um segundo conjunto de dados, o LYNA alcançou uma AUC de 99,6%, sem sofrer interferência de artefatos histológicos comuns, como fixação excessiva, coloração deficiente e bolhas de ar.
Pacilè et al., 2020.	Ferramenta baseada em IA ( <i>MammoScreen V1</i> ) associada a mamografia bidimensional	Estudo retrospectivo com 240 pacientes.	A AUC média entre os leitores foi de 0,769 (IC 95%: 0,724; 0,814) sem IA e 0,797 (IC 95%: 0,754; 0,840) com IA. A sensibilidade média foi aumentada em 0,033 quando se utilizou a ferramenta de IA.

Dembrower et al., 2020	Rede neural profunda para detecção de sinais tumorais em mamografias	Estudo retrospectivo com 7364 pacientes do sexo feminino na Suécia.	O sistema de IA não deixou passar nenhum câncer que teria sido detectado em mamografias.
Adachi et al., 2020	Sistema de estação de DL para para detecção de CM em imagens de ressonância magnética	Estudo realizado no Japão com mais de 200 imagens de ressonância magnética.	A sensibilidade, a especificidade e a AUC foram 0,926, 0,828 e 0,925 para o sistema IA; 0,847, 0,841 e 0,884 para radiologistas sem a utilização de IA; e 0,889, 0,823 e 0,899 para radiologistas usando IA.
Liu et al., 2021.	DL integrado a mamografia	Estudo retrospectivo com 384 pacientes com microcalcificações.	O modelo demonstrou AUC favorável (0,910), sensibilidade de 85,3% e especificidade de 91,9% na previsão de microcalcificações malignas nas mamografias. Os resultados da análise do modelo foram superiores a de radiologistas jovens e equivalente a de radiologistas experientes. A performance dos radiologistas jovens foi aumentada após o auxílio da IA.
Lauritzen et al., 2022	Sistema de DL usando redes neurais convolucionais (Transpara versão 1.7.0) para a avaliação de imagens de mamografia digital	Estudo realizado na Dinamarca com 114 421 pacientes.	A sensibilidade do sistema baseado em IA foi de 69,7% (779 de 1.118; IC de 95%: 66,9, 72,4) e a especificidade foi de 98,6% (111 725 de 113 303; IC 95%: 98,5, 98,7), já a sensibilidade da leitura por radiologistas foi de 70,8% (791 de 1.118; IC de 95%: 68,0, 73,5) e a especificidade de 98,1% (111 196 de 113 303; 95% IC: 98,1, 98,2). 25,1% (529 de 2.107) de exames falsos-positivos foram evitados.
Dembrower et al., 2023	Sistema Insight MMG IA versão 1.1.6 para diagnosticar CM em mamografias	Estudo realizado na Suécia com mamografias de 250 pacientes.	A leitura dupla por um radiologista associada IA, a leitura dupla por dois radiologistas, a Leitura única por IA e a leitura tripla por dois radiologistas mais IA tiveram resultados semelhantes
Marinovich et al., 2023	Algoritmo de IA (Saige-Q v2.0.0) associado a mamografias	Validação externa de um algoritmo de IA em uma coorte retrospectiva de 108.970 mamografias de	A AUC para IA foi de 0,83 em comparação com 0,93 para radiologistas, a sensibilidade para IA (0,67; IC 95%: 0,64–0,70) foi comparável à dos radiologistas (0,68; IC 95%:

		pacientes Austrália.	da	0,66–0,71), e a especificidade mais baixa (0,81 [IC 95%: 0,81–0,81] versus 0,97 [IC 95%: 0,97–0,97]). No entanto, a IA detectou CMs que não foram encontrados pelos radiologistas (0,72 por 1.000; IC 95%: 0,57–0,90).
Wang et al., 2023.	Sistema de termografia infravermelha baseada em IA	Estudo prospectivo com 2202 pacientes de 20 centros espalhados em 10 regiões da China.		A AUC do modelo binário para identificação de pacientes de baixo risco e de risco intermediário/alto foi de 0,9487 (IC 95%: 0,9231–0,9744) internamente e 0,9120 (IC 95%: 0,8460–0,9790) externamente. A precisão do modelo binário foi superior à dos leitores humanos (0,8627 vs. 0,8088, respectivamente). A sensibilidade diagnóstica do modelo em pacientes de alto risco foi de 100%.
Fukuda et al., 2023.	DL usando redes neurais convolucionais para avaliar imagens feitas por elastografia por ultrassom	Estudo realizado com 245 imagens de elastografia de 239 mulheres.		O modelo de DL utilizado apresentou sensibilidade de 0,800, especificidade de 0,966, precisão de 0,898, valor preditivo positivo de 0,941, valor preditivo de 0,875 e AUC de 0,895, sendo significativamente maior que outros métodos testados ( $p < 0,001$ ).
Karthiga; Narasimha; Amirtharajan, 2023	Método de aprendizagem por transferência associado a arquitetura de rede neural de convolução para melhorar a precisão da classificação do CM			Precisão significativa de 95,95% a 99,39% para diferentes bancos de dados.
Liao et al., 2023	Modelo de DL para a detecção do CM	Estudo multicêntrico com 84.016 pacientes femininas.		A AUC da coorte de validação interna e duas coortes de validação externa independentes para esse modelo foi de 0,950 (intervalo de confiança [IC] de 95%: 0,909–0,969), 0,956 (IC95%: 0,939–0,971) e 0,907 (95% [IC]: 0,877–0,938), respectivamente. Os valores de sensibilidade foram 94,4% (95% [IC]: 72,7%–99,9%), 100% (95% [CI]: 69,2%–100%) e 80% (95% [CI]: 28,4%–99,5 %), respectivamente. A AUC para diagnóstico preciso para o modelo foi de 0,945

			[95% [IC]: 0,933–0,965], para radiologistas com assistência de IA foi de 0,899 [95% [CI]: 0,883–0,913] e a dos radiologistas sem assistência de IA foi de 0,716 [IC95%: 0,693–0,738]; $p < 0,0001$ ).
Shen et al., 2023	Técnicas de DL para prever CM feminino detectado por ultrassom com base em dados clínicos e descritores de ultrassom <i>Breast Imaging Reporting and Data System</i> (BI-RADS)	Estudo com 1051 pacientes na China.	No conjunto de dados externo, o modelo mostrou sensibilidade de 93,8% (IC95%, 87,5–98,8), especificidade de 91,0% (IC95%, 85,0–96,0) e AUC de 0,92 (IC95%, 0,88–0,97) para prever o CM.
Lin et al., 2023	Sistema de aprendizagem profunda para mamografia com foco na interpretação de microcalcificações	Estudo multicêntrico com 4.810 mamografias digitais de microcalcificações de 2.448 pacientes do sexo feminino.	Os valores gerais de precisão para diferenciar mamas benignas de malignas foram de 0,8124 para a amostra de treinamento e 0,7237 para a amostra de teste. Os valores de sensibilidade de predição de câncer de mama maligno foram 0,8891 para a amostra de treinamento e 0,7778 para a amostra de teste. Para as duas regiões previstas de calcificação maligna, o modelo produziu graus de confiança de 0,831 e 0,426. Para as regiões de calcificação benigna previstas, o modelo forneceu graus de confiança de 0,382–0,708.
Challa et al., 2023	Algoritmo de IA (Visiopharm Integrator System) para identificação de metástases linfonodais em carcinoma de mama invasivo por triagem de lâminas de hematoxilina e eosina.	Estudo para validação de 3 coortes.	Para a validação do coorte com o linfonodo sentinel, o algoritmo detectou todas as 46 metástases, incluindo 19 macrometástases, 26 micrometástases e 1 com células tumorais isoladas com sensibilidade de 100%, especificidade de 41,5%, valor preditivo positivo de 29,5% e valor preditivo negativo de 100%. Já para a validação do coorte de linfonodos não sentinel, Visiopharm Integrator System detectou todas as 81 metástases, incluindo 23 de carcinoma lobular e 31 de casos de quimioterapia pós-neoadjuvante, com sensibilidade de 100%,

			especificidade de 78,5%, valor preditivo positivo de 68,1% e valor preditivo negativo de 100%.
Singh; Khanna; Singh et al., 2023	Estratégias de ML para diagnóstico precoce de CM.	Estudo empírico realizado na Índia.	Exatidão de até 98,9578%, sensibilidade de até 0,9696, especificidade de até 1,000, precisão de 1,000 e AUC de 0,9980.
Palm et al., 2023.	Sistema de IA para determinar status de HER2	Coorte com 495 biópsias de CM invasivo realizado na Suíça.	Foi observada concordância moderada ( $\kappa$ de Cohen 0,59) entre a verdade fundamental e a IA na imuno-histoquímica, com a maioria das discrepâncias ocorrendo entre pontuações de 0 e 1+. A concordância entre os patologistas foi substancial ( $\kappa$ de Fleiss 0,77) e a concordância dos patologistas com os escores de IA foi de 80,6%. A concordância substancial da IA com a verdade básica ( $\kappa$ de Cohen 0,80) foi detectada em lâminas de hibridização <i>in situ</i> coradas, e a precisão da IA foi semelhante para os tumores primários e metastáticos.
Amir et al., 2023.	Sistema de apoio à decisão de IA na avaliação ultrassonográfica do carcinoma lobular invasivo da mama	Revisão retrospectiva realizada com 75 pacientes com carcinoma lobular invasivo da mama.	O sistema de IA interpretou 100% dos carcinomas lobulares invasivos como suspeitos ou provavelmente malignos (sensibilidade de 100% e taxa de falsos negativos de 0%). 99% (82/83) dos carcinomas detectados foram inicialmente recomendados para biópsia pelo radiologista interpretativo e 100% (83/83) foram recomendados para biópsia após uma ILC adicional ter sido identificada pelo sistema.
Helal et al., 2024.	Modelo de mamografia com contraste multivisualização associado a DL	Estudo de validação com 2006 imagens de 326 mulheres.	A AUC para desempenho do modelo foi de 0,936; (IC 95%: 0,898, 0,973; $p < 0,001$ ), a sensibilidade foi de 75%, a especificidade foi de 96,3%, a precisão total foi de 90,1%, o valor preditivo positivo foi de 87,1% e o valor preditivo negativo foi de 92%, valor

			de $p$ ( $<0,001$ ). Enquanto os índices de diagnóstico dos radiologistas foram: sensibilidade de 88,9%, especificidade de 92,6%, precisão total de 91,7%, valor preditivo positivo 80% e valor preditivo negativo 96,2%, valor $p$ ( $<0,001$ ).
Lee; Hong; Kim, 2024	Sistema de IA ((Lunit insight MMG, versão 1.1.7.1) para detecção de CM	Estudo com 1.819 mulheres com 2.061 exames mamográficos e de USG de rastreamento.	Os radiologistas com assistência da IA mostraram a mesma sensibilidade (76,5%) e especificidade semelhante (92,3% vs. 93,8%), AUC (0,844 vs. 0,851) e taxas de reconvocação (8,8% vs. 7,4%) em comparação com o modelo independente. Os radiologistas sem assistência da IA apresentaram menor especificidade (91,9% vs 94,6%) e acurácia (91,5% vs 94,1%) e maiores taxas de reconvocação (8,6% vs 5,9%, todos $p < 0,05$ ) em comparação com o sistema isolado.
Kwon et al., 2024	Software de detecção assistida baseado em IA para ultrassom mamária automatizado	Estudo retrospectivo com 231 mulheres.	A AUC dos radiologistas foi de 0,870, a sensitividade foi de 76,6% e a especificidade de 88%, enquanto a AUC do software ficou entre 0,884-0,919, a sensitividade entre 72,4-89% e a especificidade entre 64,1-98,3%.

**Fonte:** Autor, 2024. AUC: Área sob a curva característica de operação do receptor; DL: Deep Learning; IA: Inteligência artificial; ML: Machine Learning; USG: Ultrassonografia.

Como padrão ouro, a mamografia é a principal técnica utilizada no diagnóstico de CM. Estudos mostram que o uso de IA para leitura de mamografias apresenta exatidão, sensibilidade e especificidade comparáveis ou até superiores a leituras realizadas por um radiologista não muito experiente. Quando auxiliado pelo uso da IA, os resultados apresentados por esses radiologistas são superiores, havendo a diminuição de falsos negativos e maior eficiência do diagnóstico de CM (Pacilé et al., 2020; Rodriguez-Ruiz et al., 2019a; Rodriguez-Ruiz et al., 2019b).

Os sistemas de IA, sejam eles DL, ML ou outros, são capazes de identificar massas anormais e microcalcificações, achados frequentemente ignorados durante o rastreio do CM devido à sua pequena granularidade e características indistinguíveis,

onde a partir desses achados, fica mais palpável predizer se o CM é maligno ou benigno. Dessa maneira, os sistemas baseados em IA se apresentam como uma forma de complemento ao trabalho realizado por radiologistas, evidenciando achados muitas vezes negligenciados na análise, que levam a um direcionamento mais assertivo no diagnóstico (Helal et al., 2024; Lin et al., 2023).

A IA associada à mamografia se apresenta como um excelente aparato para o diagnóstico correto e precoce do CM, uma vez que pode ser utilizada como triagem por radiologistas, assim diminuindo as chances de erros humanos, negligências e falsos negativos, além de diminuir o tempo de análise dos radiologistas e o trabalho excessivo em decorrência da quantidade de análises, facilitando, assim, a triagem, o diagnóstico e o tratamento do CM (Rodriguez-Ruiz et al., 2019a; Lin et al., 2023).

A associação da USG com a IA também é bastante discutida na literatura. Estudos mostram que essa associação também aumenta exatidão, sensibilidade e especificidade em vários casos, em comparação com uma única leitura de radiologistas, logo podendo ser usada como uma ferramenta de diagnóstico combinada para melhorar o desempenho desses profissionais no diagnóstico do CM e consequentemente identificando pacientes com câncer de mama precocemente (Kwon et al., 2024; Liao et al., 2023; Wang et al., 2023).

Sistemas de IA voltados à leitura de USG são capazes de predizer a benignidade ou a malignidade de achados nas imagens ultrassonográficas. Achados como fibroadenoma, adenose, mastopatia, carcinoma ductal invasivo, carcinoma ductal *in situ* e carcinoma lobular invasivo são encontrados com alta acurácia por modelos de IA, como a DL, e a sua aplicação na rotina pode reduzir o número de avaliações falso positivas e as recomendações desnecessárias de biópsias para pacientes negativos. Além disso, essa associação também pode oferecer um suporte de decisão útil em lesões menores, nas quais a forma, as margens e/ou a vascularização podem ser mais difíceis de discernir por um radiologista (Amir et al., 2023; Fukuda et al., 2023; Shen et al., 2023).

A associação de IA com RM também é eficaz para o diagnóstico de CM. Os sistemas baseados em IA para a interpretação de RM apresentam sensibilidade, especificidade e AUC maiores do que a leitura realizada por radiologistas. O sistema ainda tem capacidade de alto desempenho na detecção e diagnóstico de lesões em projeções de intensidade máxima de RM de mama com contraste dinâmico, podendo aumentar o desempenho diagnóstico de radiologistas (Adachi et al., 2020).

Além do auxílio no diagnóstico por imagem, a IA ainda pode ser usada para quantificar Ki-67, ER e PR a partir de análises de imunohistoquímica. A grande presença desses marcadores está associada com carcinomas invasivos e metástases e essa quantificação realizada pela IA contribui para diagnósticos corretos, que levam a terapia e prognóstico mais assertivos (Abele et al., 2023).

Sistemas de IA também conseguem diagnosticar metástases em preparações histológicas de biópsias do tecido mamário. Os sistemas de IA conseguem identificar macrometástases e micrometástases com ótima sensibilidade, podendo ser utilizados para melhorar a produtividade do patologista e reduzir o número de falsos negativos associados à detecção morfológica de células tumorais (Challa et al., 2023; Liu et al., 2019).

Sistemas de IA, como DL, podem ainda oferecer prognóstico baseado em achados histológicos. O estudo de Atallah et al. 2023 mostra que a densidade das células tumorais, o tamanho do tumor e a carga tumoral podem oferecer informações importantes para o processo de diagnóstico do paciente com CM.

Alguns sistemas não sofrem interferência de artefatos histológicos comuns, contudo outros sistemas possuem limitações quanto a especificidade, causando uma falsa positividade devido a presença de histiócitos, linfócitos esmagados, entre outros. Esses artefatos são prontamente reconhecidos por patologistas, evidenciando que a associação entre os 2 métodos é a melhor combinação para chegar ao diagnóstico (Challa et al., 2023; Liu et al., 2019).

Há estudos que abordam a utilização da IA como uma alternativa para a substituição completa de radiologistas e patologistas, entretanto se trata de uma hipótese polêmica, onde não há evidências suficientes para sua implementação, sendo ainda, a associação da leitura de mamografias, USG, RM e biópsias por IA com a leitura por radiologistas e patologistas, ainda a melhor opção (Marinovich et al., 2023).

Com a introdução da IA nos sistemas de saúde e na interpretação de imagens médicas, muitos radiologistas têm levantado questionamentos sobre o impacto que isso poderia ter em sua profissão (Kukarni, et al., 2019). Em um estudo que relaciona o uso da IA na prática radiológica, Abuzaid e colaboradores entrevistaram 549 radiologistas a fim de entender sua preocupação quanto ao uso da IA nos exames de imagem. Entre os entrevistados, houve uma ampla variação no nível educacional representando diferentes gerações que variam de técnicos até doutorados. As

conclusões revelaram que os técnicos de radiologia enfrentam dificuldades em adquirir educação e formação relacionadas à IA devido a falta de cursos de formação que envolvam esse sistema. As causas dessa situação incluem a resistência do corpo docente, a complexidade da utilização da IA e os custos.

A maioria dos entrevistados considera que a IA desempenha um papel importante e amplo, embora haja sentimentos mistos sobre o impacto negativo ou positivo em suas carreiras. A educação adequada será um desenvolvimento fundamental exigido pela IA. O argumento final é que o ensino da IA deve ser incluído tanto nos cursos de graduação quanto nos de formação contínua pois, certamente, a IA não substituirá o radiologista, mas o radiologista que não usar IA será substituído.

## 7 CONCLUSÃO

A aplicação da IA é uma abordagem promissora para auxiliar no diagnóstico do CM, pois aumenta a sensibilidade, especificidade e acurácia, podendo predizer malignidade ou benignidade de lesões e oferecer prognóstico. Com isso, a IA tem se mostrado como ferramenta útil para os radiologistas e patologistas durante o processo de triagem e diagnóstico do CM. A IA quando aplicada aos métodos convencionais de rastreio como a mamografia, RM e USG impacta diretamente no início precoce do tratamento do CM, na complementação das práticas tradicionais, no aumento da eficiência do cuidado médico e até na prevenção do risco de desenvolvimento do câncer de mama.

## REFERÊNCIAS

- ABELE, N. et al. Noninferiority of Artificial Intelligence-Assisted Analysis of Ki-67 and Estrogen/Progesterone Receptor in Breast Cancer Routine Diagnostics. **Modern Pathology**, v. 36, n. 3, p. 100033, mar. 2023.
- ABUZAID, M.M. et al. An extensive survey of radiographers from the Middle East and India on artificial intelligence integration in radiology practice. **Health Technol.** v. 11, p. 1045–1050 mai. 2021.
- ADACHI, M. et al. Detection and diagnosis of breast cancer using artificial intelligence based assessment of maximum intensity projection dynamic contrast-enhanced magnetic resonance images. **Diagnostics**, v. 10, n. 5, p. 330, mai. 2020.
- AMIR, T. et al. A role for breast ultrasound artificial intelligence decision support in the evaluation of small invasive lobular carcinomas. **Clinical Imaging**, v. 101, p. 77-85, set. 2023.
- ARNOLD, M. et al. Current and Future Burden of Breast Cancer: Global Statistics for 2020 and 2040. **The Breast**, v. 66, p. 15-23, dez. 2022.
- ARUNDHATHI, J. R. Dev, et al. "Metabolic Changes in Triple Negative Breast Cancer-Focus on Aerobic Glycolysis". **Molecular Biology Reports**, v. 48, n. 5, p. 4733–45, maio. 2021.
- ATALLAH, N. M. et al. Deciphering the Morphology of Tumor-Stromal Features in Invasive Breast Cancer Using Artificial Intelligence. **Modern Pathology**, v. 36, n. 10, p. 100254, out. 2023.
- BATCHU, S. et al. A review of applications of machine learning in mammography and future challenges. **Oncology**, v. 99, n. 8, p. 483-490, mai. 2021.
- BERNARDES, N. et al. "Câncer de Mama X Diagnóstico". **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 13, n. 44, p. 877-885, fev. 2019.
- BREAST CANCER ASSOCIATION CONSORTIUM. Breast cancer risk genes—association analysis in more than 113,000 women. **New England Journal of Medicine**, v. 384, n. 5, p. 428-439, fev. 2021.
- BREASTCANCER. **The Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS)** . Disponível em: <<https://www.breastcancer.org/screening-testing/mammograms/bi-rads-results>> - Acesso em: 08 de março de 2024.
- CALAS, Maria Julia Gregório, et al. "Preliminary study of the technical limitations of automated breast ultrasound: from procedure to diagnosis". **Radiologia Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 293–300, out. 2020.
- CÂNDIDO, C. et al. A carcinogênese e o câncer de mama. **Revista Maiéutica**, v. 4, n. 1, p. 45-52, 2016.
- CARTILHA INCA. **Câncer de Mama: vamos falar sobre isso?**. 8<sup>a</sup> ed. Revisada e atualizada, p. 6-16, set. 2023.
- CHALLA, B et al. Artificial Intelligence–Aided Diagnosis of Breast Cancer Lymph Node Metastasis on Histologic Slides in a Digital Workflow. **Modern Pathology**, v. 36, n. 8, p. 100216, ago. 2023.
- CHEN, Ling, et al. "A Novel Antagonist of the CCL5/CCR5 Axis Suppresses the Tumor Growth and Metastasis of Triple-Negative Breast Cancer by CCR5-YAP1 Regulation". **Cancer Letters**, v. 583, p. 216635, fev. 2024.
- DEMBROWER, K. et al. Effect of artificial intelligence-based triaging of breast cancer screening mammograms on cancer detection and radiologist workload: a retrospective simulation study. **The Lancet Digital Health**, v. 2, n. 9, p. e468-e474, set. 2020.

DEMBROWER, Karin, et al. "Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Screening Mammography in Sweden: A Prospective, Population-Based, Paired-Reader, Non-Inferiority Study". **The Lancet Digital Health**, v. 5, p. e703–11, out. 2023.

ESTRADA, Jaramillo et al., "Descriptores Bi-Rads Para La Clasificación De Las Lesiones Mamarias Y Su Aplicación Para Las Lesiones Mamarias No Palpables". **Más Vita**, v. 2, n. 2 Extraord, p. 59-69, mai. 2020.

FERREIRA, S. S. et al. Indicações de exames de ressonância magnética das mamas em um centro de referência no diagnóstico e tratamento de câncer de mama no Brasil. **Radiologia Brasileira**, v. 54, p. 83-86, mar. 2021.

FILHO, S. G. et al. Mamografia de rastreamento, atenção primária e decisão compartilhada: a voz das mulheres. **Revista de APS**, v. 25, ago. 2022.

FUKUDA, T. et al. Deep Learning for differentiation of breast masses detected by screening ultrasound elastography. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 49, n. 4, p. 989-995, abr. 2023.

GAO, Y. et al. Magnetic resonance imaging in screening of breast cancer. **Radiologic Clinics**, v. 59, n. 1, p. 85-98, jan. 2021.

HASSANPOUR, S. H.; DEHGHANI, M. Review of cancer from perspective of molecular. **Journal of cancer research and practice**, v. 4, n. 4, p. 127-129, dez. 2017.

HELAL, M. et al. Validation of artificial intelligence contrast mammography in diagnosis of breast cancer: Relationship to histopathological results. **European Journal of Radiology**, p. 111392, 2024.

HOLEN, Å. S. et al. "Early Screening Outcomes before, during, and after a Randomized Controlled Trial with Digital Breast Tomosynthesis". **European Journal of Radiology**, v. 167, p. 111069, out. 2023.

HOWARD, John. "Artificial Intelligence: Implications for the Future of Work". **American Journal of Industrial Medicine**, v. 62, n. 11, p. 917–26, nov. 2019.

INCA. **Mortalidade**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/gestor-e-profissional-de-saude/controle-do-cancer-de-mama/dados-e-numeros/mortalidade>> Acesso em: 09 de outubro de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). **Como surge o câncer?**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/como-surge-o-cancer>. Acesso em: 01 Fev. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. INCA. **Atlas da mortalidade**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/gestor-e-profissional-de-saude/controle-do-cancer-de-mama/dados-e-numeros/mortalidade>>. Acesso em: 09 de outubro de 2023.

KANEKO, M. et al. "The Novel Green Learning Artificial Intelligence for Prostate Cancer Imaging". **Urologic Clinics of North America**, v. 51, p. 1–13, fev. 2024.

KARTHIGA, R.; NARASIMHAN, K.; AMIRTHARAJAN, R. Diagnosis of breast cancer for modern mammography using artificial intelligence. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 202, p. 316-330, dez. 2022.

KOCH, H. Mamografia como método para diagnosticar o câncer de mama. **Radiologia Brasileira**, v. 49, n. 6, p. VII-VII, dez. 2016.

KONTOMANOLIS, Emmanuel N., et al. "Role of Oncogenes and Tumor-Suppressor Genes in Carcinogenesis: A Review". **Anticancer Research**, v. 40, n. 11, p. 6009–15, nov. 2020.

KULKARNI, S. et al. "Artificial Intelligence in Medicine: Where Are We Now?" **Academic Radiology**, v. 27, n. 1, p. 62-70, jan. 2020.

- KWON, M. et al. Diagnostic Performance of Artificial Intelligence-Based Computer-Aided Detection Software for Automated Breast Ultrasound. **Academic Radiology**, v. 31, n. 2, p. 480-491, fev. 2024.
- LARSEN, M. et al. "AI Risk Score on Screening Mammograms Preceding Breast Cancer Diagnosis". **Radiology**, v. 309, n. 1, p. e230989, out. 2023.
- LAURITZEN, A. D. et al. An artificial intelligence-based mammography screening protocol for breast cancer: outcome and radiologist workload. **Radiology**, v. 304, n. 1, p. 41-49, jul. 2022.
- LEE, S. E.; HONG, H.; KIM, E. Diagnostic performance with and without artificial intelligence assistance in real-world screening mammography. **European Journal of Radiology Open**, v. 12, p. 100545, jan. 2024.
- LEI, S. et al. Global patterns of breast cancer incidence and mortality: A population-based cancer registry data analysis from 2000 to 2020. **Cancer Communications**, v. 41, n. 11, p. 1183-1194, nov. 2021.
- LIAO, J. et al. Artificial intelligence-assisted ultrasound image analysis to discriminate early breast cancer in Chinese population: a retrospective, multicentre, cohort study. **eClinicalMedicine**, v. 60, p. 102001, jun. 2023.
- LIN, Q. et al. Artificial intelligence-based diagnosis of breast cancer by mammography microcalcification. **Fundamental Research**, jun. 2023.
- LIU, H. et al. "Comparison of BSGI, MRI, Mammography, and Ultrasound for the Diagnosis of Breast Lesions and Their Correlations with Specific Molecular Subtypes in Chinese Women". **BMC Medical Imaging**, v. 20, n. 1, p. 98, dez. 2020.
- LIU, H. et al. A deep learning model integrating mammography and clinical factors facilitates the malignancy prediction of BI-RADS 4 microcalcifications in breast cancer screening. **European Radiology**, v. 31, n. 8, p. 5902-5912, ago. 2021.
- LIU, Y. et al. Artificial intelligence-based breast cancer nodal metastasis detection: insights into the black box for pathologists. **Archives of Pathology & Laboratory Medicine**, v. 143, n. 7, p. 859-868, jul. 2019.
- ŁUKASIEWICZ, Sergiusz, et al. "Breast Cancer— Epidemiology, Risk Factors, Classification, Prognostic Markers, and Current Treatment Strategies—An Updated Review". **Cancers**, v. 13, n 17, p. 4287, ago. 2021.
- MAIA, C. F. C.; ATTY M., TAVARES A.; TOMAZELLI, J. Diagnóstico Precoce de Câncer de Mama em Mulheres com Lesões Palpáveis: Oferta, Realização e Necessidade de Biópsias no Município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 69, n. 3, set. 2023.
- MARINOVICH, M. L. et al. Artificial intelligence (AI) for breast cancer screening: BreastScreen population-based cohort study of cancer detection. **eBioMedicine**, v. 90, p. 104498, abr. 2023.
- MATOS, S. E. M.; RABELO, M. R. G.; PEIXOTO, M. C. Análise epidemiológica do câncer de mama no Brasil: 2015 a 2020/Epidemiological analysis of breast cancer in Brazil: 2015 to 2020. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 3, p. 13320-13330, jun. 2021.
- MCKINNEY, S. M. et al. "International Evaluation of an AI System for Breast Cancer Screening". **Nature**, v. 577, n. 7788, p. 89–94, jan. 2020.
- MIAH, S. et al. "Estrogen Receptor Signaling Regulates the Expression of the Breast Tumor Kinase in Breast Cancer Cells". **BMC Cancer**, v. 19, n. 1, p. 78, dez. 2019.
- MOREIRA, A. P. L. et al. Tendência de realização da mamografia e fatores associados em mulheres de 50 a 69 anos. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 31, n. 3, p. e31030594, 2023.

- MOSHINA, N., Gräwingholt, A., Lång, K. et al. "Digital breast tomosynthesis in mammographic screening: false negative cancer cases in the To-Be 1 trial". **Insights Imaging**, v. 15, n. 1, p. 38, fev. 2024.
- NASCIMENTO, G. R. et al. Câncer de mama: A importância do diagnóstico precoce para o controle de doença. **Revista de Epidemiologia e Saúde Pública-RESP**, v. 1, n. 2, jul. 2023.
- NOONPRADEJ, S. et al. "Prediction for Breast Cancer in BI-RADS Category 4 Lesion Categorized by Age and Breast Composition of Women in Songklanagarind Hospital". **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, v. 22, n 2, p. 531–36, fev. 2021.
- ODHIAMBO, P. et al. "Mutational signatures for breast cancer diagnosis using artificial intelligence." **Journal of the Egyptian National Cancer Institute** v. 35, n.1, p.14, mai. 2023.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Cancer. 2022. Disponível em:< <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>>. Acesso em: 01 Fev. 2024.
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE (OPAS) / ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS) **Câncer**. 2020. Disponível em:< <https://www.paho.org/pt/topicos/cancer>>. Acesso em: 01. Fev. 2024.
- ORRANTIA-BORUNDA, E. et al. "Subtypes of Breast Cancer". **Breast Cancer**, organizado por Department of Medical Education, Dr. Kiran C. Patel College of Allopathic Medicine, Nova Southeastern University, FL, USA e Harvey N. Mayrovitz, Exon Publications, p. 31–42, ago. 2022.
- PACILÈ, S. et al. Improving breast cancer detection accuracy of mammography with the concurrent use of an artificial intelligence tool. **Radiology: Artificial Intelligence**, v. 2, n. 6, p. e190208, nov. 2020.
- PALM, C. et al. Determining HER2 status by artificial intelligence: an investigation of primary, metastatic, and HER2 low breast tumors. **Diagnostics**, v. 13, n. 1, p. 168, jan. 2023.
- RODRÍGUEZ-RUIZ, A. et al. Detection of breast cancer with mammography: effect of an artificial intelligence support system. **Radiology**, v. 290, n. 2, p. 305-314, fev. 2019b.
- RODRIGUEZ-RUIZ, A. et al. Stand-alone artificial intelligence for breast cancer detection in mammography: comparison with 101 radiologists. **JNCI: Journal of the National Cancer Institute**, v. 111, n. 9, p. 916-922, set. 2019a.
- SANTOS, M. O. et al. Estimated cancer incidence in Brazil, 2023-2025. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 69, n. 1, p. 3700, fev. 2023.
- SEBASTIAN, A. M. et al. "Artificial Intelligence in Cancer Research: Trends, Challenges and Future Directions". **Life**, v. 12, n. 12 p. 1991, dez. 2022.
- SHAATH, H. et al. "Molecular classification of breast cancer utilizing long non-coding RNA (lncRNA) transcriptomes identifies novel diagnostic lncRNA panel for triple-negative breast cancer". **Cancers**, v. 13, n 21, p. 5350, out. 2021.
- SHAFI, S. et al. "Artificial Intelligence in Diagnostic Pathology". **Diagnostic Pathology**, v. 18, n. 1, p. 109, out. 2023.
- SHEN, W. et al. Predicting female breast cancer by artificial intelligence: Combining clinical information and BI-RADS ultrasound descriptors. **WFUMB Ultrasound Open**, v. 1, n. 2, p. 100013, dez. 2023.
- SINGH, L. K.; KHANNA, M.; SINGH, R. Artificial intelligence based medical decision support system for early and accurate breast cancer prediction. **Advances in Engineering Software**, v. 175, p. 103338, jan. 2023.
- SOARES, C. J. S. et al. Relevância das medidas preventivas para o diagnóstico precoce de câncer de mama. **Research Society and Development**, v. 11, n. 7, mai. 2022.

SOBRINHO, M. S. Tomossíntese Mamária: Tecnologia Complementar no Diagnóstico Precoce do Câncer de Mama. **Atas de Ciências da Saúde**, v. 11, n. 6, nov. 2023.

SPA AK, D. A., et al. "BI-RADS ® Fifth Edition: A Summary of Changes". **Diagnostic and Interventional Imaging**, v. 98, n 3, p. 179–90, mar. 2017.

SUFYAN, M. et al. "Artificial Intelligence in Cancer Diagnosis and Therapy: Current Status and Future Perspective". **Computers in Biology and Medicine**, v. 165, p. 107356, out. 2023.

SUNG, H.; Ferlay, J.; Siegel, R.L.; Laversanne, M.; Soerjomataram, I.; Jemal, A.; Bray, F. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. **CA: A Cancer Journal for Clinicians**, v. 71, n. 3, p. 209-249, mai. 2021.

SWAMINATHAN, H.; SARAVANAMURALI, K.; YADAV, S. A. Extensive review on breast cancer its etiology, progression, prognostic markers, and treatment. **Medical Oncology**, v. 40, n. 8, p. 238, jul. 2023.

URBAN, Linei Augusta Brolini Dellê, et al. "Breast cancer screening: updated recommendations of the Brazilian College of Radiology and Diagnostic Imaging, Brazilian Breast Disease Society, and Brazilian Federation of Gynecological and Obstetrical Associations". **Radiologia Brasileira**, v. 50, n 4, p. 244–49, ago. 2017.

VINEIS, P.; SCHATZKIN, A.; POTTER, J. D. "Models of carcinogenesis: an overview". **Carcinogenesis**, v. 31, n. 10, p. 1703-1709, out. 2010.

WAISSENGRIN, B. et al. "Artificial Intelligence (AI) Molecular Analysis Tool Assists in Rapid Treatment Decision in Lung Cancer: A Case Report". **Journal of Clinical Pathology**, v. 76, n. 11, p. 790–92, nov. 2023.

WANG, L. "Mammography with deep learning for breast cancer detection". **Frontiers in Oncology**, v. 14, p. 1281922, fev. 2024.

WANG, X. et al. Breast cancer pre-clinical screening using infrared thermography and artificial intelligence: a prospective, multicentre, diagnostic accuracy cohort study. **International Journal of Surgery**, v. 109, n. 10, p. 3021-3031, out. 2023.

WILKINSON, L.; GATHANI, T. Understanding breast cancer as a global health concern. **The British Journal of Radiology**, v. 95, n. 1130, p. 20211033, fev. 2022.

YOEN, H. et al. Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection on Mammography: Factors Related to Cancer Detection. **Academic Radiology**, jan. 2024.

YUAN, Wei-Hsin et al. Supplemental breast cancer-screening ultrasonography in women with dense breasts: a systematic review and meta-analysis. **British journal of cancer**, v. 123, n. 4, p. 673-688, ago. 2020.