

Submitted: Feb 16th, 2024

Approved: Mar 22th, 2024

Machine learning e a evolução da ia na medicina

Machine Learning and the evolution of ai in medicine

Aprendizaje automático y la evolución de la ia en medicina

Cristiano Lima Machado

Bacharelado em Engenharia da Computação pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: cristiano73058@unifatecpr.com.br

Elpídio Resende Terras

Bacharelado em Engenharia da Computação pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: elpidio28950@unifatecpr.com.br

Marjori Naele Mocelin Klinczak

Mestre em Computação Aplicada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: marjori.klinczak@unifatecpr.com.br

RESUMO

Este artigo teve como objetivo descrever a evolução da Inteligência Artificial (IA) e seu progresso na medicina, seguindo uma sequência cronológica desde sua origem, seus precursores e sua utilização. Apresenta, de forma concisa, a história da Inteligência artificial e destaca Alan Turing, matemático, cientista da computação e criptógrafo britânico, tido como um dos precursores da ciência da computação. Dessa forma, o estudo aborda as principais características de uma Rede Neural Artificial (RNA), assim como ferramentas e conceitos que envolvem o *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina), em diferentes áreas clínicas. Por fim, retrata as implicações éticas, sociais e políticas que envolvem a sua rápida ascensão, relatando questões a serem debatidas, como a integridade dos dados de pacientes, diagnósticos e tratamentos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, medicina, redes neurais, aprendizado de máquina.

ABSTRACT

This article aimed to describe the evolution of Artificial Intelligence (AI) and its progress in medicine, following a chronological sequence from its origin, its precursors

and its use. It concisely presents the history of artificial intelligence and highlights Alan Turing, a British mathematician, computer scientist and cryptographer, regarded as one of the forerunners of computer science. The study covers the main characteristics of an Artificial Neural Network (ANN), as well as tools and concepts involving Machine Learning in different clinical areas. It also portrays the ethical, social and political implications surrounding its rapid rise, reporting on issues to be debated, such as the integrity of patient data, diagnoses and treatments.

Keywords: Artificial Intelligence, medicine, neural networks, machine learning.

RESUMEN

Este artículo tuvo como objetivo describir la evolución de la Inteligencia Artificial (IA) y sus avances en la medicina, siguiendo una secuencia cronológica desde su origen, sus precursores y su uso. Presenta de forma concisa la historia de la Inteligencia Artificial y destaca a Alan Turing, matemático, informático y criptógrafo británico, considerado uno de los precursores de la informática. Así, el estudio aborda las principales características de una Red Neuronal Artificial (RNA), así como herramientas y conceptos que involucran Machine Learning, en diferentes áreas clínicas. Por último, retrata las implicaciones éticas, sociales y políticas que rodean su rápido ascenso, planteando cuestiones que deben debatirse, como la integridad de los datos de los pacientes, los diagnósticos y los tratamientos.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, medicina, redes neuronales, aprendizaje automático.

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tornou-se uma realidade promissora em diversos campos da medicina. Sua aplicação está cada vez mais presente na descoberta de novos tratamentos e em diagnósticos mais precisos, sendo uma ferramenta preparada para a otimização de processos clínicos (Geovanini, D. R *et al.*2024). Sua ascensão nos traz algoritmos com maior índice de precisão, auxiliando na tomada de decisões clínicas e acelerando o processo de diagnóstico e tratamento por meio de sua velocidade de análise (Hasse, 2024).

A trajetória da Inteligência Artificial está fortemente vinculada à do matemático britânico Alan Turing, cujas contribuições foram cruciais para o progresso da computação e a evolução da IA. A criação da máquina de Turing por ele, juntamente com o famoso teste de Turing, cujo objetivo era verificar se uma máquina poderia exibir comportamento inteligente, representam marcos significativos na área de Inteligência artificial (Hodges, 2012).

No âmbito do aprendizado de máquina, o *Machine Learning* é uma área da Inteligência artificial (IA), voltada para a criação de algoritmos que podem aprender e se desenvolver a partir de dados. As Redes Neurais Artificiais (RNA) são um dos métodos empregados neste procedimento, inspirados na operação do cérebro humano (Paixão *et al.*, 2022).

Com o crescimento de dados digitais na área médica, incluindo prontuários e exames, as técnicas de *Machine Learning* começaram a ser empregadas para reconhecer padrões e apoiar decisões clínicas. Esses algoritmos podem ser treinados de forma supervisionada, onde os dados já estão rotulados, ou de forma não supervisionada, onde o modelo aprende a partir de dados sem rótulos. Esses rótulos são criados previamente, onde os responsáveis pelo treinamento da IA analisam os dados brutos e os classificam, a partir dos critérios e resultados desejados, ajudando a máquina a reconhecer os padrões a partir desses dados já classificados. Essa classificação pode ser a identificação de objetos em imagens ou mesmo a identificação de sentimentos em textos ou áudios, por exemplo. Ainda, o processo de desenvolvimento de um modelo de ML envolve várias etapas, incluindo o pré-processamento, treinamento e avaliação, sendo essencial que as bases de dados sejam consolidadas para evitar resultados distorcidos (Paixão *et al.*, 2022)

Contudo, o rápido crescimento da Inteligência artificial no setor de saúde também suscita questões éticas e legais significativas, como a manipulação de dados sensíveis, o risco de discriminação com base em algoritmos e as barreiras à privacidade dos pacientes são apenas alguns dos aspectos que exigem uma regulamentação apropriada.

Por exemplo, no Brasil, leis como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e a Lei n. 13.709 (Brasil, 2021) foram criadas para garantir a segurança na utilização da inteligência artificial no setor de saúde (Hasse, 2024). Assim, é adequado a sua regulamentação para garantir que os benefícios tecnológicos não comprometam os direitos dos pacientes e dos profissionais de saúde.

Com base nisso, tem-se por objetivo geral examinar o avanço da Inteligência artificial na medicina, destacando suas aplicações, seus antecedentes e as ferramentas tecnológicas que transformaram a prática médica. Além disso, debate-se as implicações éticas e legais desta tecnologia, ressaltando a importância de uma regulamentação sólida para garantir seu uso consciente e seguro.

Assim, como objetivos específicos tem-se: pesquisar a história da IA e sua relação com Allan Turing, entender o funcionamento de técnicas de IA como a de regressão, por

exemplo, demonstrar o uso que tem sido feito da IA na área médica, e por fim, elencar algumas implicações éticas e regulamentações que estão sendo criadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Alan Turing foi um dos pioneiros no campo da inteligência artificial, desenvolvendo o Teste de Turing, teste esse que abriu caminho para o desenvolvimento de máquinas capazes de reproduzir elementos do pensamento humano. Este ponto de partida definiu as bases para a progressão da Inteligência Artificial (Santos & Del Vechio, 2020).

A partir dessas premissas, surgiram métodos como os algoritmos de aprendizado supervisionado e não supervisionado, que têm um papel crucial na análise de dados e reconhecimento de padrões. Essas estratégias têm sido fundamentais para várias aplicações contemporâneas, incluindo progressos notáveis no campo da medicina (Rodrigues *et al.*, 2021)

2.1 ALAN TURING

Alan Turing, matemático, criptógrafo e cientista da computação britânico, é reconhecido internacionalmente pelas suas contribuições pioneiras na área da Inteligência artificial. Ele propôs o Teste de Turing em 1950, com o objetivo de verificar se uma máquina poderia demonstrar inteligência equivalente à de um ser humano. O teste envolve um momento em que um indivíduo interage, à distância, com um agente (como por exemplo um computador) por um período de tempo pré-estabelecido, e se o humano não conseguir distinguir se está conversando com uma máquina ou com outro ser humano, considera-se que a máquina possui uma Inteligência artificial capaz de simular a cognição humana, ou seja, passou no Teste de Turing (Santos & Del Vechio, 2020).

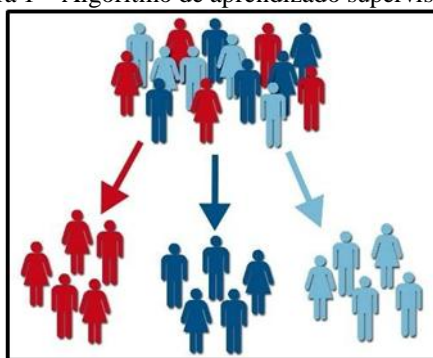
O conceito dessa máquina foi apresentada no artigo *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem* (Turing, 1936), de forma teórica que poderia simular qualquer algoritmo computacional através de uma fita de papel infinita e um mecanismo de leitura e escrita, e cada máquina representaria um algoritmo específico, sendo capaz de ler uma sequência de instruções e executá-las para resolver problemas matemáticos. Turing ainda introduziu o conceito de uma Máquina Universal de Turing,

cujo objetivo era o de simular outras máquinas, o que lançou as bases para o conceito de computadores digitais programáveis modernos, conforme Hodges (2012).

2.2 ALGORITMO DE APRENDIZADO SUPERVISIONADO

No aprendizado supervisionado, procura-se antecipar uma variável-alvo com base em um conjunto de características, empregando técnicas de categorização ou regressão. A expressão "supervisionada" refere-se à compreensão antecipada do estado da variável dependente para cada vetor de atributos nos exemplos contidos no conjunto de dados de treinamento (Rodrigues *et al.*, 2021).

Figura 1 – Algoritmo de aprendizado supervisionado.



Fonte: Data Science Academy, (2023).

A regressão logística é utilizada principalmente para problemas de classificação binária, a regressão logística estima a probabilidade de uma amostra pertencer a uma das duas classes possíveis. Diferente da regressão linear, que prevê valores contínuos, a regressão logística lida com resultados categóricos (Aws, 2024).

Quanto ao algoritmo de árvore de decisão, ele divide iterativamente o conjunto de dados com base em características que resultam na maior distinção entre as classes. Cada nó interno representa uma "pergunta" sobre uma característica, e cada folha representa uma decisão ou classificação final, sendo similar a um fluxograma (Dio, 2024).

Uma evolução das árvores de decisão é o algoritmo *Random Forests*, que criam várias árvores de decisão durante a formação e geram a classe mais frequente ou a média das previsões de todas as árvores individuais, aprimorando a exatidão e diminuindo a possibilidade de sobre ajuste (Guru99, 2024).

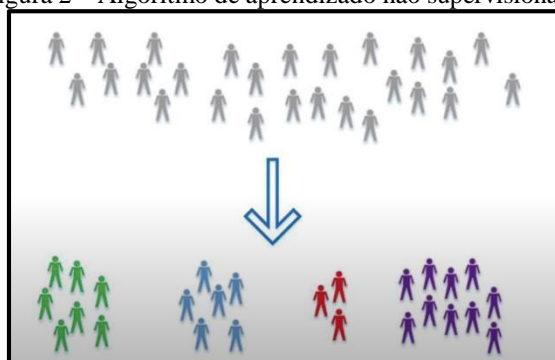
Já as redes neurais, são inspiradas na operação cerebral humana, sendo compostas

por camadas de neurônios interligados que processam informações e aprendem a relacionar entradas e saídas, modificando a intensidade das conexões no decorrer do treinamento (Aws, 2024).

2.3 ALGORITMO DE APRENDIZADO NÃO SUPERVISIONADO

No aprendizado não supervisionado, o foco muda da previsão para a descrição dos dados, utilizando técnicas como agrupamento, associação ou síntese. Neste cenário, não existe um atributo alvo previamente estabelecido e a meta é reconhecer padrões ou conexões entre os atributos ou objetos contidos no conjunto de dados (Rodrigues *et al.*, 2021).

Figura 2 – Algoritmo de aprendizado não supervisionado.



Fonte: Data Science Academy: Aprendizagem não supervisionada (2023).

A Análise de Componentes Principais (PCA) é a técnica que reduz a quantidade de variáveis mantendo a maior parte da variabilidade dos dados. Ela transforma um conjunto de variáveis possivelmente correlacionadas em um conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas chamadas componentes principais (Dio, 2024).

O Agrupamento Hierárquico é o método que busca construir uma hierarquia de grupos, chamados de *clusters*. Essa abordagem pode ser cumulativa, onde cada observação começa em seu próprio *cluster* e pares de *clusters* são mesclados conforme se sobe na hierarquia, ou divisiva, onde todas as observações começam em um único *cluster* e são divididas conforme se desce na hierarquia (Aws, 2024).

Os Autoencoders é um tipo de rede neural que aprende a codificar os dados de forma compacta, geralmente para diminuir a dimensionalidade ou aprender características. O autoencoder busca replicar sua entrada na saída, atravessando uma

camada invisível que simboliza a codificação (Guru99, 2024).

Embora frequentemente usada para classificação supervisionada, a Análise Linear de Discriminantes (LDA) também pode ser aplicada em contextos não supervisionados para encontrar uma combinação linear de características que melhor separa duas ou mais classes de objetos ou eventos (Dio, 2024).

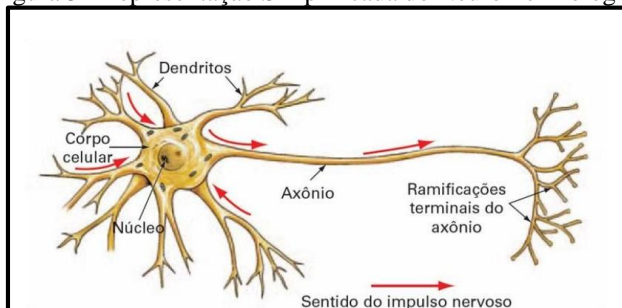
2.4 REDE NEURAL

As redes neurais são modelos de aprendizado de máquina, que inspiradas no cérebro humano, são estruturas formadas por neurônios que cooperam para processar informações e executar tarefas complexas. Elas podem ser utilizadas tanto na biologia quanto na informática (Silva, 2023).

Elas possuem por base os neurônios biológicos, que são neurônios vivos que processam informações e trocam sinais entre si por meio de sinapses. Cada neurônio no cérebro humano funciona como uma unidade de processamento que responde a estímulos e envia sinais para outros neurônios, formando uma complexa rede de comunicação que possibilita a percepção, o aprendizado e o raciocínio (Haykin, 2001)

O neurônio, conforme demonstrado na Figura 1, é a célula básica do sistema nervoso, encarregada de conduzir impulsos elétricos, e que inclui três elementos fundamentais: soma (ou corpo celular) que é o local de processamento de informações, dendritos, que são as ramificações que recebem informações de outros neurônios; e o axônio, uma extensão que transporta informações para outros neurônios (Haykin, 2001).

Figura 3 - Representação Simplificada do Neurônio Biológico



Fonte: Deep Learning Book (2022)

Os neurônios processam impulsos elétricos que, quando excedem um limite definido, são transmitidos pelo axônio. As sinapses são os pontos de conexão entre o

axônio de um neurônio e os dendritos de outro, enquanto que o sistema sináptico é adaptável às experiências, possibilitando ao cérebro recordar e aprender (Haykin, 2001). Este processo de transmissão de informações é crucial para a operação do cérebro como uma extensa rede de comunicação.

Esse sistema de comunicação e aprendizado inspirou cientistas da computação a desenvolverem algoritmos baseados na estrutura do cérebro, com o objetivo de criar sistemas capazes de aprender e adaptar-se a partir de dados, como explica Marin (2024).

2.5 REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)

Redes Neurais Artificiais (RNA) são modeladas para imitar o comportamento dos neurônios biológicos do cérebro humano e consistem em camadas interconectadas de neurônios artificiais que processam dados e informações de entrada e produzem saídas baseadas nos pesos e conexões entre essas camadas, reproduzindo sinapses biológicas (Paixão *et al.*, 2022).

Essas redes possuem a capacidade de aprender padrões complexos sem a necessidade de programação direta, e elas têm sido utilizadas em diversas aplicações, como reconhecimento de imagem, tradução de idiomas e, mais recentemente, em diagnósticos médicos. As RNAs se diferenciam das redes convencionais por sua capacidade de aprendizagem não supervisionada e profunda (Yu *et al.*, 2018).

2.6 APRENDIZADO DE MÁQUINA - *MACHINE LEARNING* (ML)

O aprendizado de máquina (*Machine Learning*, ML) é uma área da inteligência artificial baseada nas redes neurais que se concentra no desenvolvimento de algoritmos que aprendem a partir de dados, sem a necessidade de instruções programadas direta. Diferente dos sistemas baseados em regras, onde cada possível ação precisa ser programada, o ML permite que o sistema descubra padrões e tome decisões com base em dados históricos, criando modelos preditivos e classificatórios (Paixão *et al.*, 2022).

Este procedimento acontece em três etapas: pré-processamento, treinamento e avaliação, etapas em que os dados são estruturados, o modelo é treinado e os resultados são confrontados com os dados de teste para assegurar a exatidão (Paixão *et al.*, 2022).

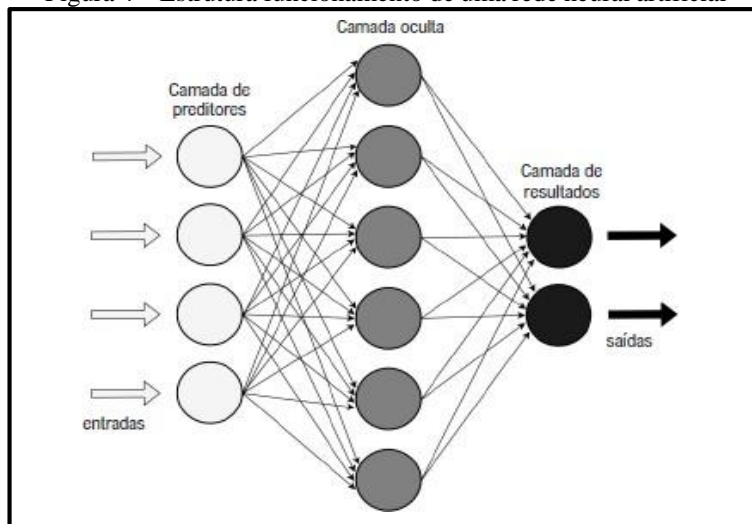
Em ML, existem duas principais estratégias: o aprendizado supervisionado e o

aprendizado não supervisionado. Essas técnicas são estratégias que possibilitam aos modelos aprender com dados para fazer previsões, categorizar informações ou identificar padrões invisíveis. No aprendizado supervisionado, o modelo é aprimorado com dados previamente categorizados, com o objetivo de reduzir a discrepância entre o resultado esperado e o alcançado pelo modelo. No aprendizado não supervisionado, o algoritmo estrutura informações sem rótulos, possibilitando a descoberta de padrões inexplorados e percepções (Paixão *et al.*, 2022). As técnicas de ML abrangem desde algoritmos mais simples, como árvores de decisão,

até modelos complexos, como redes neurais artificiais (RNA). Cada técnica é empregada de acordo com a natureza do problema e as informações disponíveis, proporcionando resoluções inteligentes em vários campos, tais como antecipação de tendências, reconhecimento visual e automação (Rodrigues *et al.*, 2021).

O aprendizado nas RNA ocorre ajustando esses pesos, que são atualizados em cada interação até que o erro seja minimizado (Paixão *et al.*, 2022, p. 97), conforme pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 4 – Estrutura funcionamento de uma rede neural artificial



Fonte: Paixão *et al.* (2022, p. 97)

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MACHINE LEARNING NA MEDICINA

A integração da Inteligência Artificial (IA) e do aprendizado de máquina na

medicina está transformando as práticas de diagnóstico e tratamento, pois as ferramentas de IA têm demonstrado alto potencial da identificação de doenças em exames de imagem e auxiliado nas decisões clínicas, identificando anomalias e doenças com maior precisão e rapidez (Yu *et al.*, 2018). A IA permite maior acurácia em áreas como radiologia, cardiologia e patologia, em que grandes volumes de dados visuais e clínicos são gerados diariamente (Marin, 2024).

Aplicações como o reconhecimento de imagens de tomografia, por exemplo, são cada vez mais comuns e ajudam profissionais a detectarem anomalias em estágios iniciais de doenças. A implementação dessas tecnologias apresenta potencial, porém requer uma validação rigorosa e uma regulamentação apropriada, além de não eliminarem a análise de um profissional qualificado (Marin, 2024).

O uso de *ML* na medicina tem se expandido, principalmente em diagnósticos e prognósticos, aproveitando a crescente digitalização de dados médicos, como prontuários eletrônicos e exames de imagem (Paixão *et al.*, 2022). Em áreas como a dermatologia, uma RNA foi capaz de diferenciar lesões benignas de malignas em mais de 129.000 casos, alcançando uma precisão comparável à de dermatologistas experientes (Paixão *et al.*, 2022). Na cardiologia, utilizam-se métodos de *ML* para examinar eletrocardiogramas (ECGs) e prever a mortalidade dos pacientes, alcançando uma taxa de acerto superior aos métodos convencionais (Paixão *et al.*, 2022).

Outra pesquisa que envolveu mais de 380.000 pacientes no Reino Unido, algoritmos de *Machine Learning* foram utilizados para antecipar eventos cardiovasculares, obtendo um aumento de 7,6% na previsão em relação aos métodos convencionais (Paixão *et al.*, 2022). A utilização de RNA em testes cardiológicos, como Eletrocardiogramas, apresenta resultados promissores ao detectar irregularidades complexas que os médicos não conseguem identificar, melhorando a precisão e a confiabilidade do diagnóstico (Paixão *et al.*, 2022).

O uso de algoritmos de aprendizado profundo, capazes de lidar com milhares de variáveis em tempo real, é um progresso notável, porém deve ser cuidadosamente incorporado ao processo clínico (Marin, 2024), e ainda existem obstáculos técnicos e éticos a serem vencidos.

3.2 EVOLUÇÃO IA NA MEDICINA

As primeiras implementações de IA na saúde ocorreram nas décadas de 1960 e 1970, com destaque para os sistemas *Dendral* e *MYCIN* (AFYA, 2024). O *Dendral*, desenvolvido na Universidade de Stanford, foi pioneiro em realizar análises químicas a partir de dados espectrográficos, permitindo deduzir estruturas moleculares de amostras. Esse sistema representou um avanço considerável ao introduzir uma abordagem sistemática para a análise de substâncias químicas, configurando-se como um dos primeiros casos de IA aplicada à medicina (Afya, 2024).

O *MYCIN*, outro sistema originado em Stanford, foi desenvolvido especificamente para o diagnóstico de infecções do sangue, sendo composto por 500 regras de decisão, o *MYCIN* examinava sintomas e exames para detectar infecções e sugerir tratamentos, representando uma inovação significativa para a época. Com esse sistema evidencia-se a capacidade da Inteligência Artificial em auxiliar diagnósticos médicos, pavimentando o caminho para o avanço de tecnologias mais avançadas (Afya, 2024).

Em 2007, a IBM apresentou o *Watson*, um sistema de Inteligência Artificial que compreendia a linguagem natural e respondia a perguntas complexas, inicialmente voltado para a área de entretenimento e, mais tarde, em 2011 aplicado na medicina, incluindo o diagnóstico de câncer. A partir deste ponto, o *Watson Health* foi consolidado como uma plataforma de IA para a saúde, atendendo a várias especialidades médicas (Afya, 2024).

Progressos também foram feitos na cirurgia robótica assistida por IA, como o sistema *Da Vinci*, aprovado pela FDA (*Food and Drug Administration*), agência federal do Departamento de Saúde no ano de 2000, sendo amplamente utilizado em procedimentos urológicos, ginecológicos e oncológicos. A precisão da IA permite realizar cirurgias minimamente invasivas, com menos risco para o paciente e tempo de recuperação reduzido. (Hasse, 2024).

Outra aplicação relevante da IA na saúde é o *Watson for Oncology* 2012, que analisa informações de pacientes com câncer, incluindo dados genéticos e históricos clínicos, para propor tratamentos personalizados. Esse sistema apoia oncologistas na criação de terapias sob medida, aumentando a eficácia do tratamento e reduzindo efeitos adversos. Além disso, há uma aplicação similar para auxiliar oncologistas na escolha dos protocolos de quimioterapia, considerando a resposta individual de cada paciente aos medicamentos (Hasse, 2024).

A *In Silico Medicines*, fundada em 2014, passou a utilizar a Inteligência Artificial para identificar e criar novos antibióticos, combatendo a resistência bacteriana ao

aprimorar a avaliação de compostos e escolher os mais promissores para a aplicação clínica. Este procedimento proporciona uma considerável economia de tempo e recursos quando comparado aos métodos convencionais de pesquisa (Hasse, 2024).

Uma nova ferramenta também foi criada pelo *Google Health* em 2016, utilizando algoritmos de IA para identificar retinopatia diabética com uma precisão superior à dos diagnósticos realizados manualmente por oftalmologistas, que permite a detecção precoce de lesões vasculares na retina, prevenindo complicações graves e preservando a visão dos pacientes (Hasse, 2024).

Além disso, assistentes médicos virtuais baseados em IA estão sendo empregados para triagem de sintomas e respostas a perguntas frequentes de pacientes, o que reduz a carga de trabalho administrativo dos profissionais de saúde (Hasse, 2024).

Na Tabela 1 é possível visualizar o resumo das pesquisas apresentadas, bem como a técnica e o algoritmo utilizado, percebe-se com isso que muitos trabalhos não indicam com exatidão a técnica utilizada, visto que esse pode ser um diferencial competitivo para seu negócio.

Tabela 1: Resumo das pesquisas apresentadas.

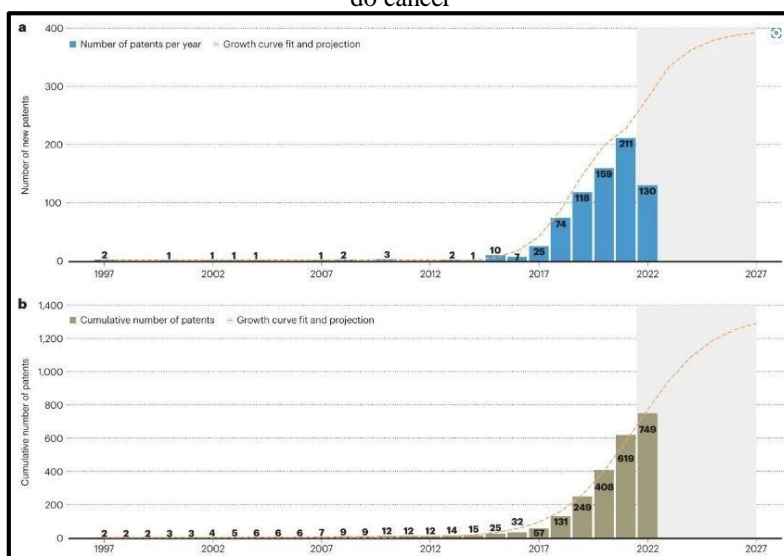
Ferramenta	Ano	Autor	Descrição	Algoritmo utilizado	Técnica utilizada
Deldral	1967	Universidade de Stanford	Análise de substâncias químicas.	Não consta	Não consta
MYCIN	1970	Universidade de Stanford	Diagnosticar doenças no sangue.	Não consta	Não consta
Sistema da Vinci	2000	Administração de Alimentos e Medicamentos dos EUA	Auxílio em procedimentos urológicos, ginecológicos e oncológicos, proporcionando cirurgias minimamente invasivas.	Não consta	Não consta
Watson	2007	IBM	Inicialmente voltado para o entretenimento, mas em 2011 foi adaptado para a medicina, auxiliando em diagnósticos complexos.	Supervisionado e não supervisionado	Regressão logística e Análise de Componentes Principais
Watson on oncology	2012	IBM	Análise de dados clínicos e genéticos de pacientes com câncer, sugerindo tratamentos personalizados, a fim de melhorar a eficácia e reduzir efeitos adversos.	Supervisionado	Regressão logística e redes neurais
In Silico Medicines	2014	Alex Zhavoronkov, Andrew Hopkins e a empresa Dassault Systèmes	Identificar e criar novos antibióticos, combatendo a resistência bacteriana e economizando tempo e recursos na pesquisa de novos tratamentos.	Supervisionado	Regressão logística, Árvores de decisão e Random Forests
Google Health	2016	Google	identifica retinopatia diabética com precisão superior a dos oftalmologistas, prevenindo complicações graves.	Supervisionado e não supervisionado	Redes Neurais, Agrupamento Hierárquico e Análise de Componentes Principais

Fonte: dos Autores, 2024.

No gráfico apresentado na Figura 5 pode-se visualizar a quantidade de patentes de

IA na área de oncologia e para a montagem desse gráfico, foi utilizada uma base de dados com informações de mais de 50 escritórios de patentes em todo o mundo. Na primeira parte do gráfico, é possível ver quantidade de patentes criadas por ano e na segunda, o cumulativo, ou seja, quantas patentes existiam a cada ano. Então como podemos ver, o estudo identificou 749 registros em 2022. Embora as primeiras patentes datem de 1997, a maioria dos registros aconteceu após 2015. Podemos também observar que em pouco tempo tivemos um grande avanço em um pequeno período de tempo de 2017 à 2022 (Maíra, 2024).

Figura 5 – o crescimento acelerado de aplicações de inteligência artificial voltadas para o enfrentamento do câncer



Fonte: (Maíra, 2024).

3.3 IMPLICAÇÕES ÉTICAS, LEGAIS E SOCIAIS

Hasse (2024) destaca que o uso da Inteligência Artificial na medicina levanta questões fundamentais relacionadas à privacidade e à proteção das informações dos pacientes. A Lei Geral de Proteção de Dados estabelece diretrizes claras para o tratamento de dados pessoais e exige que a utilização da Inteligência Artificial seja feita de forma ética, garantindo a proteção dos pacientes contra abusos e discriminação (Hasse, 2024). A autora também discute a resolução número 2.314/22 do Conselho Federal de Medicina (CFM), que define as orientações éticas e técnicas para a aplicação da Inteligência Artificial na área da saúde, proporcionando o uso responsável e seguro da tecnologia.

Para além dos desafios éticos, existem também dúvidas sobre o impacto no

mercado de trabalho. Hasse (2024) discorre que a automação de tarefas pode levar à eliminação de empregos em áreas administrativas e outras atividades repetitivas no ramo da saúde. Contudo, a autora sugere que esses efeitos adversos possam ser amenizados por meio de programas de treinamento e adaptação, possibilitando que os profissionais de saúde desenvolvam novas competências e se adaptem às demandas de um mercado progressivamente mais digital.

A crescente aplicação da Inteligência Artificial na área da saúde suscita questões éticas complexas, principalmente no que diz respeito à privacidade, proteção de dados e igualdade. De acordo com Aquino *et al.* (2023), a aplicação da Inteligência Artificial na medicina pode potencializar a eficiência e diminuir despesas, contudo, também traz consigo riscos, como a chance de exposição de dados confidenciais dos pacientes (Marin, 2024). A Organização Mundial da Saúde (OMS) propõe a necessidade de regulamentações sólidas para assegurar o uso ético e transparente das ferramentas de Inteligência Artificial.

Além disso, a Inteligência Artificial pode intensificar as desigualdades já existentes. Conforme Benjamins *et al.* (2020) destacam, existe o perigo de que as tecnologias mais recentes estejam acessíveis apenas para instituições médicas com maior capacidade financeira, intensificando a desigualdade no acesso a tratamentos de última geração. A clareza dos algoritmos, que frequentemente funcionam como "caixas-pretas", também é um problema, já que impede que pacientes e profissionais de saúde possam compreender os fundamentos dos resultados propostos pelos sistemas de Inteligência Artificial, prejudicando a confiança na aplicação dessas tecnologias.

4 CONCLUSÃO

O percurso da Inteligência Artificial na medicina mostrou um cenário de constante progresso, destacando-se como um instrumento essencial para diagnósticos, terapias e aprimoramento de procedimentos clínicos. Desde as primeiras investigações teóricas de Alan Turing até os usos contemporâneos de ML e Redes Neurais Artificiais, a Inteligência Artificial tem demonstrado sua capacidade em diversos campos da medicina, melhorando a exatidão e a eficácia dos cuidados de saúde. Todas as ferramentas mencionadas neste artigo não tem seu custo divulgado, portanto não é possível avaliar o custo benefício. A avaliação do progresso tecnológico mostra que, além de suas utilidades práticas, a

Inteligência Artificial suscita questões éticas e regulatórias essenciais, particularmente no que diz respeito à privacidade e à gestão dos dados dos pacientes. Portanto, a regulamentação e a utilização ética da tecnologia são fundamentais para assegurar que seus benefícios sejam amplamente acessíveis e seguros.

Com a evolução das tecnologias e a ampliação da capacidade de processamento, espera-se que a Inteligência Artificial continue a crescer, incorporando-se cada vez mais aos sistemas de saúde e abrindo possibilidades para novos usos na medicina personalizada. Contudo, é vital que as futuras evoluções sejam respaldadas por uma sólida estrutura jurídica e diretrizes éticas que garantam o respeito aos direitos dos pacientes e profissionais. Assim, a Inteligência Artificial poderá desempenhar seu papel de forma sustentável e inclusiva, impulsionando progressos notáveis na área médica e aprimorando, em geral, a qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

Afya Medical. Inteligência artificial na medicina: o futuro chegou. Afya Educação Médica. Disponível em: [https://educacaomedica.afya.com.br/blog/a-inteligencia-artificial-na-medicina-ja-e-uma-realidade?utm_source=\(direct\)&utm_medium=\(none\)](https://educacaomedica.afya.com.br/blog/a-inteligencia-artificial-na-medicina-ja-e-uma-realidade?utm_source=(direct)&utm_medium=(none)). Acesso em: 20 nov. 2024.

Aquino, Y. S. J. *et al.* Utopia versus dystopia: professional perspectives on the impact of healthcare artificial intelligence on clinical roles and skills. *International Journal of Medical Informatics*, v. 169, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2022.104903>. Acesso em: 06 nov. 2024.

Aws. Aprendizado supervisionado versus não supervisionado - diferença entre algoritmos de machine learning. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/compare/the-difference-between-machine-learning-supervised-and-unsupervised/>. Acesso em: 6 nov. 2024.

Aykin, S. *Redes neurais: princípios e práticas*. Porto Alegre: Bookman, 2001. Hodges, A. Alan Turing: uma biografia introdutória. Tradução de Ana Cristina Ferreira. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática*, n. 67, p. 1-8, out. 2012. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/boletimspm/article/view/3867>. Acesso em: 21 set. 2024.

Benjamens, S.; Dhunoo, P.; Meskó, B. The state of artificial intelligence-based FDA-approved medical devices and algorithms: an online database. *npj Digital Medicine*, v. 3, p. 118, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00324-0>. Acesso em: 06 nov. 2024.

Brasil. Projeto de lei sobre uso de inteligência artificial avança no Congresso. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2021/setembro/projeto-de-lei-sobre-uso-de-inteligencia-artificial-avanca-no-congresso>. Acesso em: 20 nov. 2024. Data Science Academy: Aprendizagem não supervisionada. YouTube, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YS5mCodsKs0>. Acesso em: 2 dez. 2024.

Deep Learning Book. O neurônio biológico e matemático. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.com.br/o-neuronio-biologico-e-matematico/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Dio. Aprendizado supervisionado e não supervisionado: diferenças e aplicações. Disponível em: <https://www.dio.me/articles/aprendizado-supervisionado-e-nao-supervisionado-diferencas-e-aplicacoes>. Acesso em: 6 nov. 2024.

Geovanini, D. R. *et al.* A inteligência artificial na medicina. Curitiba: Editora CRV, 2024. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-br&lr=&id=tjkveqaaqbaj&oi=fnd&pg=pa17&dq=ia+novos+tratamentos+na+medicina&ots=slyeru9dbl&sig=vk9zqvlokaf9dbnese_crxnlca. Acesso em: 20 nov. 2024.

GURU99. Aprendizado de máquina não supervisionado: algorithms, tipos com exemplo. Disponível em: <https://www.guru99.com/pt/unsupervised-machine-learning.html>. Acesso em: 6 nov. 2024.

Hasse Peneda, J. Inteligência artificial na medicina: uma análise abrangente e atualizada com ênfase em aspectos legais, éticos e tecnológicos. *Revista de Direito da Saúde Comparado*, v. 3, n. 4, p. 70-79, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unisa.br/index.php/direitosaude/articulo/view/614>. Acesso em: 21 set. 2024.

Imagem sobre segmentação de mercado. [s.d.]. Disponível em: <https://img1.wsimg.com/is-team/ip/cfa9f820-c1ef-4cd0-a25f-42ba9de8b1ea/mkt-segmentacao.jpg?cr=t:0%25,l:0%25,w:100%25,h:100%25/rs=w:1280>. Acesso em: 2 dez. 2024.

Jain, A. K.; Mao, J.; Mohiuddin, K. M. Artificial neural networks: a tutorial. *IEEE Computer*, v. 29, n. 3, p. 56-63, 1996. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.com.br/o-neuronio-biologico-e-matematico/>. Acesso em: 10 out. 2024.

Maíra Menezes, Pesquisa mostra expansão de aplicações de inteligência artificial contra o câncer. Fiocruz. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/es/node/185098>. Acesso em 13 dez. 2024.

Marin, Heimar de Fátima; Núcleo de informação e coordenação do ponto BR (NIC.br). Inteligência artificial na saúde: potencialidades, riscos e perspectivas para o Brasil. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2024. Disponível em: <https://cetic.br/pt/publicacao/inteligencia-artificial-na-saude-potencialidades-riscos-e-perspectivas-para-o-brasil/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

Paixão, G. M. de M. *et al.* Machine learning na medicina: revisão e aplicabilidade. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 118, n. 1, p. 95-102, jan. 2022. Disponível em: <https://abccardiologia.org/article/machine-learning-na-medicina-revisao-e-aplicabilidade>. Acesso em: 06 nov. 2024.

Rodrigues, F.; Francisco, F. A.; Rocha, T. V. Modelos de machine learning para predição do sucesso de startups. *Revista de Gestão de Projetos*, v. 12, n. 2, p. 28-55, 2021. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/bitstreams/514b0214-e724-4f69-b6d1-73b44283a197>. Acesso em: 10 nov. 2024.

Santos, A. M. J. dos; Del Vecchio, G. H. Inteligência artificial, definições e aplicações: o uso de sistemas inteligentes em benefício da medicina. *Interface Tecnológica*, v. 17, n. 1, p. 129-137, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343406086_inteligencia_artificial_definicoes_e_aplicacoes_o_uso_de_sistemas_inteligentes_em_beneficio_da_medicina. Acesso em: 21 set. 2024.

Silva, J. Inteligência artificial e aprendizado de máquina: estado atual e tendências. *Revista USP*, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 45-57, 2023. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/185035/171217>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Turing, A. M. *et al.* On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Journal of Mathematics*, v. 58, p. 345-363, 1936. Disponível

em: https://lond-mathsoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1112/plms/s2-42.1.230?saml_referrer=. Acesso em: 20 nov. 2024.

Yu, K.-H.; Beam, A. L.; Kohane, I. S. Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, v. 2, p. 719-731, 2018. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?q=Artificial+Intelligence+in+healthcare.+Nature%0D%0ABiomedical+Engineering,+2,+719-731&hl=pt-PT&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart. Acesso em: 06 nov. 2024.