REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

A IMPORTÂNCIA DO USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APRENDIZAGEM DE MÁQUINA PARA O DESENVOLVIMENTO DA VACINA CONTRA A COVID-19: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

THE IMPORTANCE OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING FOR THE DEVELOPMENT OF THE COVID-19 VACCINE: AN INTEGRATIVE REVIEW

LA IMPORTANCIA DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA EL DESARROLLO DE VACUNAS CONTRA LA COVID-19: UNA REVISIÓN INTEGRAL

Noemi Isabelle Alves Monteiro
Graduação, Universidade Federal do Pará, Brasil.
E-mail: noemialvesmonteiro@gmail.com

Vanessa Regina Silva Mota
Graduação, Universidade Federal do Pará, Brasil.
E-mail:vanessa.silva.mota@ics.ufpa.br

Lucas Piani Corrêa
Universidade Federal do Pará, Brasil.
E-mail:lucaspiani11@gmail.com

Cibelhe Mayara Silva
Universidade Federal do Pará, Brasil.
Email: mayaracibelhe@gmail.com

Alessandro Quaresma Durães de Sousa
Universidade Federal do Pará, Brasil.
E-mail:alessandroduraes10@gmail.com

Agnaldo da Silva Carneiro
Universidade Federal do Pará, Brasil.
E-mail: agnaldosc@ufpa.br

Resumo

A pandemia de COVID-19 exigiu respostas científicas rápidas, impulsionando o uso de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizagem de Máquina (AM) no desenvolvimento de vacinas. Este estudo consiste em uma revisão integrativa da literatura com o objetivo de analisar a importância, a segurança e o papel dessas tecnologias no processo de vacinação contra a COVID-19. A busca foi realizada nas bases de dados BVS, SciELO e Google Scholar, incluindo artigos publicados entre 2020 e 2025. Os resultados mostram que a IA e o AM contribuíram para acelerar as etapas de pesquisa e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

desenvolvimento, otimizar sequências genéticas, identificar alvos moleculares e adaptar-se a variantes virais, além de apoiar análises de segurança e logística. Apesar dos avanços, desafios éticos, técnicos e regulatórios persistem, especialmente relacionados à qualidade dos dados, vieses algorítmicos e proteção da privacidade. Conclui-se que a IA e o AM representam ferramentas estratégicas para a inovação em vacinologia e para o fortalecimento da resposta a futuras emergências de saúde.

Palavras-chave: Inteligência artificial; Aprendizagem de máquina; Vacina coronavírus.

Abstract

The COVID-19 pandemic demanded rapid scientific responses, driving the use of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) in vaccine development. This study consists of an integrative literature review aimed at analyzing the importance, safety, and role of these technologies in the COVID-19 vaccination process. The search was conducted in the BVS, SciELO, and Google Scholar databases, including articles published between 2020 and 2025. The results show that AI and ML contributed to accelerating research and development stages, optimizing genetic sequences, identifying molecular targets, and adapting to viral variants, in addition to supporting safety and logistics analyses. Despite the advances, ethical, technical, and regulatory challenges persist, especially related to data quality, algorithmic biases, and privacy protection. It is concluded that AI and ML represent strategic tools for innovation in vaccinology and for strengthening the response to future health emergencies.

Keywords: Artificial intelligence; Machine learning; Coronavirus vaccine.

Resumen

La pandemia de COVID-19 exigió respuestas científicas rápidas, impulsando el uso de Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (AA) en el desarrollo de vacunas. Este estudio consiste en una revisión bibliográfica integradora que busca analizar la importancia, la seguridad y el rol de estas tecnologías en el proceso de vacunación contra la COVID-19. La búsqueda se realizó en las bases de datos BVS, SciELO y Google Scholar, incluyendo artículos publicados entre 2020 y 2025. Los resultados muestran que la IA y el AA contribuyeron a acelerar las etapas de investigación y desarrollo, optimizar secuencias genéticas, identificar dianas moleculares y adaptarse a variantes virales, además de respaldar los análisis de seguridad y logística. A pesar de los avances, persisten desafíos éticos, técnicos y regulatorios, especialmente relacionados con la calidad de los datos, los sesgos algorítmicos y la protección de la privacidad. Se concluye que la IA y el AA representan herramientas estratégicas para la innovación en vacunología y para fortalecer la respuesta ante futuras emergencias sanitarias.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Aprendizaje automático; Vacuna contra el coronavirus.

1. Introdução

Renomeada como Indústria 4.0, a Quarta Revolução Industrial proporcionou a junção de sistematizações ciberfísicas, ao promover a convergência entre diferentes esferas tecnológicas e naturais, integrando ambientes digitais, estruturas físicas e sistemas biológicos permitindo a customização produtiva em

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

larga escala (Schwab, 2016). Com a sua guinada a partir do século XXI, a Quarta Revolução é focada na temática da revolução digital. Sua descrição envolve a utilização de uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos que se tornaram mais baratos e pela Inteligência Artificial (IA) e aprendizagem de máquina (AM), ou como também é chamada, a aprendizagem automática (Schwab, 2016).

Nesse contexto de acelerada transformação tecnológica, emergiu um dos maiores desafios sanitários da história recente: a pandemia ocasionada pela COVID-19, declarada pela Organização Mundial da Saúde em março de 2020, com impactos significativos na saúde pública, na economia e na sociedade (OMS, 2020; Zhou *et al.*, 2020). A doença, causada pelo SARS-CoV-2, apresenta ampla variabilidade clínica, podendo iniciar como um quadro semelhante ao resfriado comum e evoluir para insuficiência respiratória grave (Kong *et al.*, 2020). A rápida disseminação do vírus e suas consequências impuseram a necessidade urgente de respostas científicas robustas, acelerando o desenvolvimento de estratégias preventivas, especialmente as vacinas, fundamentais para reduzir casos graves e hospitalizações (Krammer, 2020; Polack *et al.*, 2020).

Tradicionalmente, o desenvolvimento de vacinas envolve longas etapas: pré-clínica, ensaios clínicos e aprovação regulatória, o que demanda tempo e recursos substanciais (Scannell *et al.*, 2012). Nesse contexto, a emergência da Inteligência Artificial representou uma verdadeira revolução metodológica, ao oferecer ferramentas capazes de processar e interpretar grandes volumes de dados em escalas e velocidades inéditas (Zhavoronkov, 2020; Patel *et al.*, 2021). Técnicas de aprendizagem de máquina e análise de dados biológicos passaram a ser aplicadas para identificar alvos moleculares, simular respostas imunológicas e otimizar processos experimentais, proporcionando maior precisão e agilidade em comparação aos métodos tradicionais (Goecks *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Esse cenário contribuiu para acelerar o desenvolvimento das primeiras vacinas contra a COVID-19, evidenciando o potencial da IA na indústria farmacêutica (Leslie *et al.*, 2021).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Além de aprimorar procedimentos convencionais (Corey *et al*., 2020). As plataformas baseadas em IA foram essenciais não apenas para o avanço das vacinas de mRNA, como as da Pfizer-BioNTech e Moderna, mas também para o monitoramento contínuo da evolução viral e sua interação com o sistema imunológico, favorecendo adaptações ágeis nas estratégias vacinais e nos processos logísticos (Topol, 2019). A experiência da pandemia demonstrou que a IA é uma ferramenta estratégica tanto para enfrentar crises sanitárias imediatas quanto para fortalecer a capacidade global de resposta a emergências futuras.

Diante dessa relevância, o presente estudo propõe uma revisão integrativa destinada a analisar em profundidade a importância da Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina no desenvolvimento das vacinas contra a COVID-19. Serão discutidas as principais aplicações tecnológicas, as contribuições científicas e práticas da IA e AM, bem como os desafios para sua implementação plena, oferecendo uma visão abrangente e atualizada que possa subsidiar pesquisas futuras e políticas públicas voltadas ao enfrentamento de pandemias mundiais.

2. Objetivos Gerais

Investigar a importância, segurança e atuação da Inteligência Artificial e da aprendizagem de máquina no desenvolvimento de vacinas contra a COVID-19, destacando suas contribuições para o avanço científico, eficiência no processo e confiabilidade dos resultados.

3. Metodologia

O presente tópico discorre acerca da metodologia rigorosa e replicável utilizada para buscar e selecionar publicações relevantes revisadas por pares, assegurando um conjunto de dados confiável para esta revisão de literatura.

3.1 Estratégia de Busca

Foi realizada uma busca sistemática ampla nas bases de dados Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Scholar para identificar publicações sobre a contribuição da IA e ML na elaboração de vacinas para COVID-19. As estratégias de busca foram elaboradas com base na estrutura PICO (P - Elaboração de vacinas, I - IA/ML, C - não aplicável e O - Resultados/saídas de implementação), combinando palavras-chave relevantes, como: “inteligência artificial”, “aprendizagem de máquina/ML”, “aprendizado profundo/DL”, “redes neurais”. Essas estratégias utilizaram operadores booleanos (AND/OR) para conectar as palavras-chave e selecionar conjuntos de dados com maior precisão, como: ("inteligência artificial" OR "machine learning" OR "aprendizagem de máquina") AND ("vacina COVID-19" OR "vacina coronavírus" OR "desenvolvimento de vacina COVID-19"). A busca nas bases de dados utilizou filtros (ano de publicação e idioma) que priorizaram artigos publicados recentemente, representando as tendências e perspectivas atuais. Acerca das publicações selecionadas, todas estavam em português ou inglês. A busca na base de dados seguiu contínua ao longo do ano de 2025, abrangendo estudos a partir de 1º de janeiro de 2020 para capturar os avanços mais recentes na área.

3.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos nesta revisão integrativa os artigos originais completos, revisados por pares, que abordassem de forma direta a aplicação da Inteligência Artificial e do Aprendizagem de Máquina no desenvolvimento de vacinas contra a COVID-19. Também foram considerados estudos de revisão e meta-análises que apresentassem evidências relevantes e atualizadas sobre o tema, publicados entre os anos de 2020 a 2025, nos idiomas português, inglês e disponíveis na íntegra.

Os trabalhos selecionados deveriam descrever metodologias baseadas em IA e AM aplicadas em etapas do processo vacinal, tais como: identificação de alvos moleculares, otimização de epítopos, análise de dados em larga escala. Foram priorizados os estudos que demonstrassem relevância científica, rigor metodológico e aplicabilidade prática no contexto da inovação em vacinas contra a COVID-19.

Foram excluídos artigos duplicados, relatórios técnicos sem revisão por pares, editoriais, cartas, comentários e resumos de eventos sem texto completo disponível.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Excluíram-se também publicações em idiomas diferentes do português ou inglês, estudos que tratassem de automação laboratorial sem uso explícito de IA, pesquisas fora do escopo temático ou publicações anteriores a 2020. Em casos excepcionais, trabalhos de pré-publicações (pré-prints) provenientes de fontes reconhecidas foram incluídos quando apresentavam dados originais de alto impacto e pertinência comprovada para a discussão científica.

3.3. Gestão de citação

As referências foram obtidas na busca de dados e organizadas em ordem alfabética de acordo com a ABNT. As duplicatas foram excluídas após a revisão manual e detalhada. Durante o processo de seleção, os artigos considerados relevantes foram monitorados, e novos estudos identificados fora da busca principal foram adicionados manualmente ao conjunto de dados, a fim de garantir que contribuições significativas não fossem omitidas ou ignoradas na etapa de construção e para garantir o rigor científico.

3.3.1 Processo de Seleção de Estudos

Inicialmente foram identificados 70 estudos nas bases de dados BVS, SciELO e Google Scholar. Após a remoção de duplicatas (n = 10), permaneceram 60 artigos para triagem por título e resumo. Destes artigos, 10 foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Assim, 50 artigos foram avaliados na íntegra, dos quais 18 foram excluídos, resultando em uma amostra final de 32 estudos incluídos nesta revisão integrativa. A elaboração de um diagrama prisma adaptado foi elaborado conforme ilustrado na Figura 1. A seleção dos estudos foi conduzida de acordo com o protocolo estabelecido para inclusão e exclusão. O processo ocorreu em diferentes fases: inicialmente, realizou-se a identificação de todos os artigos disponíveis no banco de dados previamente definido; em seguida, efetuou-se a triagem, na qual os títulos e resumos foram examinados conforme os critérios apresentados nos subtópicos (3.2 e 3.3), baseados na estrutura PICO. Posteriormente, foi feita a verificação da elegibilidade por meio da leitura completa

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

dos textos, observando seus métodos e principais achados e, por último, os trabalhos que atenderam aos requisitos foram incluídos na etapa de síntese, destinada à análise dos resultados e à elaboração das conclusões finais.

Figura 1. Diagrama prisma adaptado.

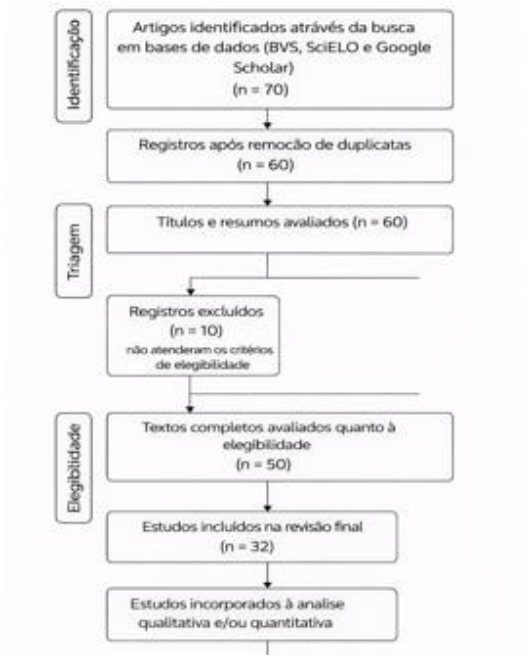

Figura 1. As etapas consecutivas descritas para esta revisão de literatura englobam inicialmente a identificação de artigos a partir da busca nas bases de dados selecionadas e remoção de duplicatas, seguidas por uma triagem de títulos e resumos avaliados utilizando parâmetros de inclusão e exclusão predeterminados, assim, seguido a isso, analisando os textos completos para a sua elegibilidade ou exclusão, para assim incluir na revisão final.

3.3.2 Processo de Triagem

A triagem inicial, baseada em título e resumo, foi conduzida por um dos autores principais. Os estudos selecionados nessa etapa foram posteriormente avaliados na íntegra pelo mesmo pesquisador e revisados por um coautor, incluindo a análise metodológica, a fim de evitar omissões ou erros na interpretação dos dados. Todas as justificativas e limitações foram devidamente registradas e arquivadas, garantindo total transparência do processo (conforme estabelecido na seção de acesso aos dados)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

3.4 Avaliação da qualidade/ Risco de viés

A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos nesta revisão integrativa foi conduzida de forma sistemática, com base em critérios objetivos adaptados de abordagens utilizadas em revisões na área da saúde e em pesquisas que envolvem aplicações de Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina. Considerando a heterogeneidade metodológica dos estudos voltados ao desenvolvimento vacinal baseado em IA, optou-se por empregar parâmetros padronizados que permitissem avaliar a robustez científica, a transparência e a reprodutibilidade dos achados reportados.

Cada artigo selecionado foi analisado de acordo com os seguintes critérios metodológicos:

1. Descrição clara do modelo ou técnica de IA/AM empregada;
2. Detalhamento da base de dados, amostra e variáveis utilizadas no treinamento e validação;
3. Presença de validação experimental, pré-clínica ou clínica dos resultados obtidos por métodos computacionais;
4. Discussão explícita sobre limitações metodológicas, riscos e possíveis vieses algorítmicos;
5. Reprodutibilidade do estudo, considerando a disponibilidade de parâmetros, protocolos, códigos ou acesso aos dados.

Com base no atendimento a esses critérios, os estudos foram classificados em três níveis de qualidade metodológica:

- Alta qualidade metodológica, quando atenderam a quatro ou cinco critérios;
- Qualidade moderada, quando atenderam a dois ou três critérios;
- Baixa qualidade metodológica, quando atenderam a zero ou um critério.

Essa estratégia permitiu fortalecer a confiabilidade da síntese dos resultados e minimizar o risco de vieses interpretativas, assegurando maior rigor científico na análise das evidências sobre o uso da Inteligência Artificial e da Aprendizagem de Máquina no desenvolvimento de vacinas contra a COVID-19.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

3.5 Declaração de Uso de Inteligência Artificial (IA)

No decorrer da elaboração do presente estudo, a ferramenta de IA generativa Perplexity foi utilizada. Sua aplicação deu-se como apoio à organização textual e revisão linguística. Nenhuma ferramenta foi empregada para análise automática de dados, elaboração de resultados ou mesmo tomada de decisão de cunho científico, sendo todas essas feitas por análise humana. O conteúdo total presente nesta revisão foi vistoriado criticamente, sendo de responsabilidade dos autores a redação e integridade científica do atual manuscrito, em conformidade com as recomendações editoriais internacionais.

4. Resultados e Discussão

A avaliação crítica da qualidade metodológica dos estudos incluídos evidenciou predominância de artigos classificados como de qualidade moderada, refletindo o caráter majoritariamente in silico das pesquisas que aplicam Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina ao desenvolvimento vacinal conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1: avaliação crítica da qualidade metodológica dos estudos incluídos.

Estudo	C1	C2	C3	C4	C5	Classificação
Zhavoronkov (2018)	✔	✖	✖	✔	✖	Baixa
Asediya et al. (2024)	✔	✔	✖	✔	✖	Moderada
El Arab et al. (2025)	✔	✔	✔	✔	✖	Alta
Bhattacharya et al. (2023)	✔	✔	✔	✖	✔	Alta

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Chen B. et al. (2019)	✔	✔	✖	✖	✔	Moderada
Chen; Wei (2022)	✔	✔	✖	✖	✔	Moderada
Wang et al. (2022)	✔	✔	✖	✖	✔	Moderada
Kaushik et al. (2023)	✔	✔	✔	✖	✔	Alta
Goodswen et al. (2023)	✔	✔	✖	✖	✔	Moderada
Ong; He (2022)	✔	✔	✖	✖	✔	Moderada
Hasanzadeh et al. (2022)	✔	✔	✖	✔	✖	Moderada
Tian et al. (2022)	✔	✔	✔	✖	✖	Moderada
Mazzocco et al. (2021b)	✔	✔	✔	✔	✖	Alta
Lux et al. (2025)	✖	✔	✖	✖	✖	Baixa
Thakkar et al. (2023)	✖	✔	✔	✔	✖	Moderada
FDA (2023)	✖	✖	✔	✔	✖	Moderada
EMA (2025)	✖	✖	✔	✔	✖	Moderada
Guimarães et al. (2015)	✖	✔	✔	✖	✖	Moderada
Floridi et al. (2020)	✖	✖	✖	✔	✖	Baixa

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Char et al. (2020)	✖	✖	✖	✔	✖	Baixa
Minssen et al. (2020)	✖	✖	✖	✔	✖	Baixa
Patel et al. (2021)	✔	✔	✖	✖	✖	Moderada
Goecks et al. (2020)	✔	✔	✖	✖	✖	Moderada
Ramos et al. (2023)	✖	✔	✔	✖	✖	Moderada
Mohammad;Maryam (2023)	✖	✔	✔	✖	✖	Moderada
Zhang et al. (2024)	✖	✔	✖	✔	✖	Moderada
Olawade et al. (2024)	✖	✔	✖	✔	✖	Moderada
Alamoodi et al. (2021)	✖	✔	✖	✔	✖	Moderada
André; Ribeiro (2020)	✖	✖	✖	✔	✖	Baixa
Marengo; Duarte; Pinho (2019)	✖	✖	✖	✔	✖	Baixa
Nichiata; Passaro (2023)	✖	✖	✖	✔	✖	Baixa
Waltz (2020)	✖	✖	✖	✔	✖	Baixa

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Legenda:C1 – descrição do modelo de IA/AM; C2 – detalhamento da base de dados; C3 – validação experimental/pré-clínica/clínica; C4 – discussão de limitações e vieses; C5 – reprodutibilidade.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Esses estudos, em geral, apresentaram descrição adequada dos modelos computacionais e das bases de dados utilizadas, porém com limitações recorrentes quanto à validação experimental e à reprodutibilidade completa dos métodos, Dessa forma, os estudos classificados como de alta qualidade metodológica foram aqueles que, além de detalhar de forma clara os modelos de IA/AM, apresentaram validação experimental, pré-clínica ou clínica, bem como discussão explícita de limitações e potenciais vieses algorítmicos.

Esses trabalhos representam o nível mais avançado de maturidade tecnológica identificado nesta revisão, indicando maior potencial de transferência para aplicações translacionais.Por outro lado, os estudos classificados como de baixa qualidade metodológica corresponderam majoritariamente a artigos conceituais, éticos ou regulatórios, os quais, embora relevantes para a contextualização do uso da IA em saúde, não apresentaram evidência empírica direta nem detalhamento metodológico suficiente para atender aos critérios estabelecidos. Em conjunto, esses resultados reforçam a necessidade de integração entre abordagens computacionais e validação empírica, bem como de maior transparência metodológica, para fortalecer a robustez e a aplicabilidade clínica das soluções baseadas em IA no desenvolvimento de vacinas.

O quadro 1 apresenta a síntese metodológica dos estudos incluídos nesta revisão, distribuídos de acordo com os objetivos específicos da pesquisa. Observa-se que a maior parte dos estudos concentra-se na aplicação de técnicas de Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina no desenvolvimento vacinal, bem como na aceleração do processo de pesquisa e desenvolvimento, evidenciando o papel estratégico dessas tecnologias aplicado ao contexto vacinal contra a COVID-19.

Foram incluídos 32 estudos que atenderam aos critérios de elegibilidade

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

desta revisão, ressaltando que um mesmo estudo pode se encaixar em mais de um eixo temático, todos com foco na aplicação de Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina no desenvolvimento de vacinas contra a COVID-19. Entre os estudos incluídos, 14 estudos abordaram técnicas de IA e AM aplicadas ao desenvolvimento vacinal, 9 estudos discutiram evidências relacionadas à segurança e validação dos métodos baseados em IA, enquanto 10 estudos destacaram o papel dessas tecnologias na aceleração do processo de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, 9 estudos abordaram desafios e limitações associados ao uso da IA e da AM, e 8 estudos discutiram perspectivas futuras e possíveis novas aplicações dessas tecnologias no campo da imunização conforme indicado no quadro abaixo.

QUADRO 1: SÍNTESE DOS ESTUDOS ANALISADOS.

Objetivo específico	Tema analisado	Quantidade de artigos	Caracterização dos estudos
Analisar as principais técnicas de IA e AM aplicadas no desenvolvimento das vacinas contra a COVID-19	Técnicas de IA/AM aplicadas ao desenvolvimento vacinal	14 estudos	Estudos que utilizam machine learning, deep learning, imuno-informática e métodos in silico para identificação de epítopos, antígenos e candidatos vacinais
Avaliar evidências científicas sobre a segurança dos métodos baseados em IA e AM	Segurança e validação dos métodos	9 estudos	Artigos que discutem validação científica, ensaios pré-clínicos e integração da IA como ferramenta de apoio à decisão
Investigar a	Aceleração do	10 estudos	Estudos que evidenciam

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

contribuição da IA e da AM na aceleração do P&D	processo de pesquisa e desenvolvimento		redução de tempo, custos e aumento da eficiência no desenvolvimento de vacinas
Mapear desafios e limitações no uso da IA e da AM	Desafios, limitações técnicas e éticas	9 estudos	Trabalhos que abordam vieses algorítmicos, qualidade dos dados, barreiras regulatórias e infraestrutura
Identificar perspectivas futuras da IA e AM em imunização	Perspectivas futuras e novos usos	8 estudos	Estudos que discutem tendências, aplicações futuras e inovação no desenvolvimento de vacinas

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

4.1 Aplicações da Inteligência Artificial no Desenvolvimento de Vacinas

Com base nas considerações de Zhavoronkov (2020) a inteligência artificial trouxe uma grande revolução na descoberta de vacinas e medicamentos, promovendo avanços significativos na velocidade das pesquisas farmacêuticas, conforme abordado no estudo, técnicas como aprendizado profundo, incluindo redes neurais profundas, têm sido aplicadas para processar vastos conjuntos de dados biológicos e químicos, possibilitando novos compostos moleculares e otimizando candidatos terapêutico. Nesse sentido, essa transformação tecnológica tem um papel fundamental no contexto de desenvolvimento da vacina contra covid-19, já que esteve presente de forma atuante acelerando etapas críticas do desenvolvimento, desde identificar alvos até o design molecular, somando para a criação de imunizantes eficazes.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Designer Molecular inicial na Covid-19: Os resultados apresentados na literatura indicam que a aplicação de inteligência artificial no design molecular inicial de vacinas baseadas em mRNA contribuiu significativamente para a otimização de sequências genéticas com maior estabilidade e eficiência de expressão. No estudo de Asediya *et al.,* (2024), algoritmos de aprendizagem de máquina demonstraram alta capacidade preditiva na otimização de códons e regiões não traduzidas (UTRs), permitindo selecionar construções de mRNA com maior potencial imunogênico antes da validação experimental. Esses resultados evidenciam uma redução substancial no tempo de desenvolvimento e nos custos associados às etapas iniciais do processo vacinal.

De forma convergente, os dados abordados por Ramos *et al.,* (2022) mostram que abordagens semelhantes foram empregadas em ambientes industriais, como no caso da Pfizer, para análise genômica pós-sequenciamento do SARS-CoV-2. Os autores relatam que o uso de IA possibilitou rápida adaptação do design vacinal frente ao surgimento de variantes virais, reforçando que a integração entre análise genômica e modelagem computacional foi determinante para a agilidade observada no desenvolvimento das vacinas contra a COVID-19. Assim, os resultados sugerem que a IA não apenas aprimora o design molecular, mas também aumenta a capacidade de resposta a cenários epidemiológicos dinâmicos.

Simulação Pré-Clínica: Na fase pré-clínica, os resultados descritos na literatura apontam que técnicas de aprendizagem profunda têm ampliado a precisão das simulações moleculares e da predição de imunogenicidade. O estudo de El arab *et al.,* (2025) demonstra que modelos de deep learning aplicados ao docking molecular e à predição de epítopos apresentaram desempenho superior em relação a métodos tradicionais, especialmente na identificação de regiões antigênicas com maior probabilidade de induzir resposta imune eficaz. Esses achados indicam que a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

IA permite uma triagem mais eficiente de candidatos vacinais, reduzindo a dependência de testes laboratoriais extensivos nas fases iniciais.

Adicionalmente, segundo Lux *et al.,* (2025), os autores evidenciam resultados positivos no uso de modelos computacionais para avaliação toxicológica acelerada. Segundo os autores, a integração entre IA e business intelligence possibilitou antecipar potenciais efeitos adversos e otimizar decisões relacionadas à segurança das formulações. Esses resultados reforçam que a IA desempenha papel central não apenas na eficácia, mas também na segurança dos candidatos vacinais, contribuindo para a racionalização do processo pré-clínico.

Análise de Dados e Logística: Os resultados associados ao uso da IA na análise de dados e logística demonstram impactos relevantes na condução de ensaios clínicos e na distribuição de vacinas. Os achados de Mohammad e Maryam (2023) relatam que ferramentas baseadas em big data e aprendizagem de máquina foram eficazes no recrutamento otimizado de voluntários, no monitoramento de eventos adversos e na gestão da cadeia de suprimentos de vacinas de mRNA. Estes sistemas permitiram maior rastreabilidade, redução de perdas e melhor previsão de demanda, fatores críticos durante a vacinação em larga escala.

Em complemento, Braga *et al.,* (2024) apresentam resultados que extrapolam o ambiente clínico, evidenciando o potencial da IA na otimização logística em contextos pandêmicos. Os autores destacam que a integração de dados clínicos, laboratoriais e operacionais favorece a tomada de decisão em saúde pública, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos e maior equidade na distribuição de vacinas. Dessa forma, os resultados discutidos indicam que a IA atua como elemento estratégico para aumentar a eficiência e a resiliência dos sistemas de imunização.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

4.1.1 Principais técnicas de IA e AM e contribuições no desenvolvimento vacinal

Estudos evidenciam que ao integrar dados experimentais e reais de múltiplas origens, a inteligência artificial permite rastrear mutações genéticas no SARS-CoV-2 ao longo do tempo, otimizando a eficácia de vacinas futuras (Waltz, 2020; Kaushik *et al*., 2023). Assim como, informações genômicas e proteômicas de infecções variadas impulsionam modelos preditivos robustos via Inteligência Artificial, enquanto o design vacinal ganha avanços significativos com análises do ciclo infeccioso do patógeno em níveis genéticos, moleculares e celulares (Ong e He, 2022; Goodswen *et al*., 2023; Kaushik *et al*., 2023) tornando, assim, a seleção de antígenos proteicos ou peptídeos imunogênicos mais precisos e assertivos no início do processo de desenvolvimento vacinal (Schubert-Unkmeir e Kaushik *et al*., 2023; Guimarães *et al*., 2015; Hardt et al., 2016; Vetter et al., 2018), sendo aprimorada por técnicas de IA que oferecem precisão e agilidade superiores aos processos tradicionais (Kaushik et al., 2023). Entretanto, em meio aos diversos avanços e benefícios da utilização de ferramentas para acelerar esse processo, os estudos in vivo e vitro são indispensáveis e precisam ser realizados com agilidade e segurança para garantir a eficácia dessas futuras vacinas e principalmente a segurança a longo prazo e curto prazo.Esses algoritmos trouxeram diversas contribuições na vacinologia reversa principalmente em relação a seleção precisa de mutações e epítopos, acelerando o design de vacinas como a do SARS-CoV-2. A tabela 2 a seguir baseada no estudo de Bhattacharya *et al.,* (2023) exemplifica de forma prática essa abordagem ao utilizar IA para selecionar e priorizar 9 alterações chaves na região RBD (de 853 provas em variantes Alpha, Beta, Delta, Gamma e Omicron), baseando-se em modelos de Chen & Wei (2022) e Wang *et al.,* (2022), seguidos de seleção por score antigênico top-ranked (VaxiJen) (Kaushik *et al*., 2023).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Tabela 2: Contribuições da IA/ ML no desenvolvimento vacinal.

Técnica	Contribuição principal (Bhattacharya *et al*, 2023)	Implicações gerais
Inteligência artificial	Redução de 853 para 9 mutações RBD em 4 epítopos chave (ex.: FQPTYGVGH com N501Y)	Vacina "à prova de mutação" contra escape vacinal, cobrindo VOCs/VOIs
ML para simulação	Previsão de imunidade inata/adaptativa via docking TLR4/MD-2 (ΔG -96,67 kcal/mol)	Acelere iterações in silico, reduzindo custos pré-clínico
Integração IA/ML	Construção estável, antigênica (0,5703) e não-alergênica, com ligantes (EAAAK, GGPPG	Plataforma para vacinas peptídicas universais em pandemias Kaushik et al. (2023)

Fonte: Adaptado de Bhattacharya *et al*. (2023) e Kaushik *et al*. (2023).

Com base na avaliação crítica da qualidade metodológica apresentada na Tabela 2, observa-se uma diferença clara entre estudos que empregam técnicas de deep learning e aqueles fundamentados em métodos clássicos de bioinformática. Os modelos baseados em deep learning demonstraram vantagens significativas em termos de capacidade de processamento de grandes volumes de dados, identificação de padrões não lineares complexos e adaptação rápida a mutações virais, sendo particularmente eficazes nas etapas iniciais de design vacinal e seleção de epítopos.

Em contraste, os métodos clássicos de bioinformática, como alinhamento de sequências, modelagem baseada em regras e imunoinformática tradicional, apresentaram maior transparência e interpretabilidade, além de menor dependência de grandes volumes de dados. Contudo, esses métodos mostraram limitações

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

quanto à escalabilidade e à capacidade de capturar interações biológicas complexas, sendo frequentemente classificados como de qualidade metodológica moderada, com menor potencial de generalização frente a variantes emergentes.

No que se refere ao nível de maturidade tecnológica, as abordagens baseadas em deep learning ainda se concentram predominantemente em contextos in silico, com lacunas importantes relacionadas à reprodutibilidade e à validação experimental consistente, o que restringe sua transferência direta para aplicações clínicas. Por outro lado, os métodos clássicos, embora menos inovadores, apresentam maior estabilidade metodológica e histórico de uso consolidado, sendo mais facilmente integráveis a fluxos regulatórios existentes. Esses achados indicam que a integração híbrida entre técnicas de deep learning e métodos clássicos de bioinformática representa, no momento, a estratégia mais promissora para avançar o desenvolvimento vacinal de forma robusta e translacional.

4.2 Segurança e rigor da utilização de IA no Processo Vacinal

Segundo Floridi (2020), os princípios de não-maleficência e beneficência fundamentam a segurança e a ética no uso da Inteligência Artificial em saúde, ao estabelecer que essas tecnologias não devem causar danos e devem maximizar benefícios à população. À luz dos estudos analisados nesta revisão, observa-se que tais princípios são operacionalizados quando a IA é utilizada como ferramenta de apoio à decisão, com riscos minimizados por meio de validação científica e supervisão humana. Conforme Minssen (2020), a efetividade desse processo depende do estabelecimento de regulações robustas capazes de garantir segurança e eficácia, enquanto Char, Abràmoff e Feudtner (2020) reforçam que sistemas de IA devem obedecer a critérios claros de desenvolvimento, implementação e validação para evitar vieses e resultados prejudiciais. Os achados, conforme discutido por Thakkar (2023) e evidenciado por diretrizes recentes da Food and Drug Administration (FDA, 2023) e da Agência Europeia de Medicamentos (EMA,2025),

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

que a segurança das aplicações de IA na saúde está diretamente relacionada à atuação coordenada de órgãos reguladores, à padronização de requisitos de transparência, à interpretabilidade dos modelos e à definição de métricas de desempenho confiáveis. Entretanto, os aspectos regulatórios se apresentam atualmente de forma lenta em relação ao desenvolvimento de vacinas impulsionadas por IA , ainda assim, debates evidenciam a busca por superar barreiras éticas e logísticas, garantindo a implementação global e equitativa para o desenvolvimento vacinal baseado em IA (Zhang *et al*., 2024; Olawade *et al*.,2024; Alamoodi *et al*., 2021; Hasanzadeh *et al.,* 2022). Ademais, a presença de comitês de ética, auditorias de vieses e o uso de bases de dados diversas e representativas emergem como elementos centrais para fortalecer a governança, a equidade e a confiança pública no uso da IA, especialmente em contextos de emergências sanitárias, onde a sua utilização com análises rápidas são feitas, consolidando o papel regulatório como essencial para a legitimidade e aceitação dessas tecnologias.

4.3 Desafios para a Implementação Plena do Processo de Vacinação Contra a COVID-19 Usando Inteligência Artificial (Limitações e Riscos Identificados)

A implementação plena do processo de vacinação contra a COVID-19, especialmente com a incorporação de ferramentas baseadas em Inteligência Artificial (IA), encontra desafios estruturais já reconhecidos em campanhas de saúde anteriores. De acordo com Cruz (2017), Sato (2020) e Portnoy (2018), mesmo em contextos com vacinas disponíveis e sistemas de saúde organizados, as campanhas enfrentam limitações relacionadas à identificação da população-alvo, à atualização de bases de dados e ao planejamento operacional em nível local, fatores que impedem a obtenção de coberturas vacinais totais. Essas limitações tornam-se ainda mais relevantes quando se propõe o uso de IA, uma vez que a efetividade de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

modelos preditivos, sistemas de apoio à decisão e soluções de geoprocessamento depende diretamente da qualidade, integridade e atualização das informações utilizadas. Os autores King e Martodipoero (1978) descrevem o microplanejamento como essencial para integrar dados locais, logística e ferramentas de monitoramento rápido; contudo, falhas nesse processo podem comprometer a precisão das análises automatizadas e gerar riscos como alocação inadequada de recursos e exclusão de populações vulneráveis. Assim, embora a IA represente um avanço potencial para o aprimoramento das campanhas de vacinação, sua aplicação plena permanece condicionada à superação de desafios operacionais já identificados pelos autores, especialmente no que se refere à gestão de dados populacionais e à capacidade de planejamento em nível territorial.

Segundo André Ribeiro (2020), o uso da inteligência artificial no setor de saúde também levanta questões éticas e legais. A privacidade dos dados dos pacientes é uma preocupação constante, visto que a IA requer grandes quantidades de informações sensíveis para treinar seus algoritmos. Além disso, existe o risco de viés nos sistemas de IA, caso os dados utilizados para treinar os algoritmos não sejam representativos da diversidade da população. Isso pode levar a decisões erradas ou discriminatórias, impactando a qualidade do atendimento. Tais desafios exigem uma regulamentação rigorosa e a criação de políticas de proteção à privacidade e à equidade no uso de tecnologias de IA. Os achados evidenciam que as questões éticas e legais associadas ao uso da inteligência artificial em saúde representam desafios significativos para sua aplicação segura. Conforme destacado por André e Ribeiro (2020), a necessidade de grandes volumes de dados sensíveis amplia os riscos relacionados à privacidade e à segurança da informação, enquanto o uso de bases de dados pouco representativas pode resultar em vieses algorítmicos e decisões inadequadas. Em consonância com essas questões, a Lei Geral de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Proteção de Dados Pessoais (LGPD), em vigor desde 2018, estabelece o arcabouço legal para a proteção da privacidade no tratamento de dados pessoais. No âmbito do Ministério da Saúde, que utiliza grandes volumes de dados sensíveis em campanhas de vacinação e aplicações de Inteligência Artificial, tais informações, embora essenciais, permanecem expostas a riscos de uso indevido e violações de privacidade. Conforme evidenciado pelos resultados e pela literatura (Marengo; Duarte; Pinho, 2019; Nichiata; Passaro, 2023), a efetividade da LGPD depende da qualidade dos dados e da governança da informação, sendo a implementação dessas diretrizes ainda um desafio para o uso seguro e equitativo da IA em saúde pública.

4.4 Perspectivas Futuras do Uso de IA na Criação de vacinas

Em uma perspectiva futura, o uso da inteligência artificial na elaboração de vacinas tende a se integrar de forma cada vez mais consistente a tecnologias emergentes, promovendo maior precisão e ampliando a escalabilidade dos processos, ao mesmo tempo em que contribui para a superação de desafios inerentes ao desenvolvimento vacinal. Nesse contexto, a medicina personalizada ganha espaço como uma abordagem promissora. Conforme já destacado por Tian *et al.*, (2022), tecnologias ômicas de célula única, como o sequenciamento de RNA de célula única e a citometria de massa, permitem a análise detalhada da heterogeneidade e da dinâmica das células imunes, oferecendo informações valiosas sobre as respostas induzidas por vacinas e as interações hospedeiro-patógeno. Dessa forma, os dados obtidos fortalecem a perspectiva de que a convergência tecnológica não apenas otimiza processos existentes, mas também amplia o alvo de aplicação da medicina personalizada no campo vacinal, colaborando como uma estratégia promissora para futuras ações de imunização.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

Adicionalmente, a combinação da inteligência artificial com a biologia sintética representa uma tendência relevante para o desenvolvimento de vacinas de próxima geração. De acordo com Chen *et al.*, (2019), essa integração possibilita o projeto e a otimização racional de construções vacinais, com controle preciso sobre a apresentação de antígenos, a administração de adjuvantes e a modulação da resposta imunológica. Sob essa perspectiva, os achados indicam que o uso conjunto dessas tecnologias tende a aprimorar não somente a eficiência do desenvolvimento vacinal, como também os perfis de eficácia e segurança, contribuindo para a produção de vacinas mais específicas e com menor potencial de efeitos adversos.

No que se refere aos ensaios clínicos, é observado que a aplicação da inteligência artificial tende a se consolidar, futuramente, como uma ferramenta estratégica para a otimização dessas etapas. Conforme descrito por Mazzocco *et al.,* (2021b), a IA pode simplificar o planejamento, o recrutamento de participantes e o monitoramento dos estudos clínicos, reduzindo falhas operacionais, tempo de execução e custos. Além disso, o monitoramento contínuo e a análise avançada de dados favorecem a tomada de decisão em tempo real e aumentam a confiabilidade dos resultados. Assim, a incorporação da IA nos ensaios clínicos reforça seu potencial para acelerar o desenvolvimento de vacinas, mantendo elevados padrões de qualidade, segurança e eficiência.

4.5 Síntese das convergências entre os estudos abordados

Há consenso significativo entre os autores quanto ao potencial da IA/AM para acelerar e otimizar o desenvolvimento de vacinas. Trabalhos como Zhavoronkov (2018), Patel et al. (2021), Asediya et al. (2024) e El Arab et al. (2025) concordam que modelos computacionais permitem reduzir etapas tradicionalmente longas, como triagem de candidatos vacinais, análise de variantes virais e iterações experimentais, substituindo ciclos laboratoriais extensos por simulação in silico.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

De forma semelhante, estudos focados em vacinologia reversa e desenho de epítopos (Goodswen et al., 2023; Ong & He, 2022; Mazzocco et al., 2021b) convergem ao apontar que algoritmos de aprendizado profundo e modelos baseados em dados ômicos ampliam a precisão na seleção de alvos imunogênicos, superando abordagens empíricas tradicionais. Essa concordância também se estende a pesquisas que utilizam IA para prever a apresentação de antígenos via HLA e respostas imunes adaptativas (Chen B. et al., 2019; Tian et al., 2022).

Outro ponto de convergência refere-se à necessidade de validação rigorosa e governança ética. Documentos regulatórios e análises normativas (FDA, 2023; EMA, 2025; Floridi *et a*l., 2020; Char, Abràmoff & Feudtner, 2020) concordam que, embora a IA ofereça ganhos substanciais, sua aplicação em saúde e imunização deve obedecer a princípios de transparência, segurança, explicabilidade e não-maleficência. Esses autores compartilham a visão de que modelos de “caixa-preta” representam um risco quando aplicados a decisões críticas em saúde pública.

4.5.1 Síntese das divergências e tensões na literatura

Apesar do consenso quanto ao potencial da IA, os artigos divergem de forma relevante quanto à maturidade tecnológica e aplicabilidade prática dessas ferramentas. Enquanto revisões mais recentes e otimistas (El Arab *et al*., 2025; Olawade *et al*., 2024; Zhang *et al*., 2024) defendem que a IA já se encontra em estágio avançado para apoiar vacinas de próxima geração, inclusive contra câncer e doenças emergentes, autores mais cautelosos, como Waltz (2020) e Alamoodi *et al*. (2021), destacam que muitos modelos permanecem dependentes de bases de dados limitadas, enviesadas ou pouco representativas, o que compromete sua generalização.

Há também divergência quanto à segurança imunológica e toxicológica dos produtos desenvolvidos com apoio de IA. Estudos como Lux *et al.* (2025) e Thakkar *et al*. (2023) apontam que modelos computacionais podem acelerar avaliações de segurança, mas reconhecem limitações quando confrontados com dados do mundo real. Em contraste, Guimarães *et al*. (2015) e Floridi *et al.* (2020) alertam que riscos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

imunológicos, como reações autoimunes, não podem ser plenamente antecipados por modelos algorítmicos, exigindo validação experimental extensa.

No campo regulatório, observa-se uma tensão clara entre inovação tecnológica e adequação normativa. Enquanto FDA (2023) e EMA (2025) sinalizam abertura crescente para o uso de IA/AM no desenvolvimento de medicamentos e vacinas, Minssen *et al.,* (2020) e André & Ribeiro (2020) argumentam que há lacunas regulatórias, especialmente no que diz respeito à responsabilização legal, proteção de dados e governança algorítmica. Essa divergência revela que o avanço técnico não é acompanhado, na mesma velocidade, por marcos legais e éticos consolidados.

5. Considerações Finais

A análise integrada dos artigos selecionados evidencia que o uso de Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina no desenvolvimento vacinal é amplamente reconhecido como um avanço estratégico, especialmente no que se refere à identificação de antígenos, desenho de epítopos, previsão imunológica e aceleração do processo de pesquisa e desenvolvimento (P&D). No entanto, os estudos divergem quanto ao grau de maturidade dessas abordagens, à robustez das evidências de segurança e à capacidade de integração regulatória e ética dessas tecnologias.

Dessa Forma, a presente revisão integrativa evidenciou que a Inteligência Artificial e a Aprendizagem de Máquina desempenharam papel fundamental no desenvolvimento das vacinas contra a COVID-19, ao permitir a aceleração de etapas críticas, como a identificação de alvos moleculares, a seleção de epítopos, a otimização de sequências genéticas e a simulação pré-clínica, contribuindo para maior eficiência, precisão e redução de custos no processo vacinal. Os achados demonstram que essas tecnologias atuam como ferramentas de apoio à decisão científica, desde que integradas a validações experimentais, supervisão regulatória e princípios éticos. Apesar dos desafios relacionados à qualidade dos dados, vieses algorítmicos, barreiras regulatórias e proteção da privacidade, conclui-se que a IA

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

e a AM representam pilares estratégicos para a inovação em vacinologia, ampliando a capacidade de resposta a emergências sanitárias e consolidando-se como instrumentos essenciais para o futuro da imunização e da saúde pública global.

REFERÊNCIAS

ANDRÉ, S.; RIBEIRO, P**.** E-health: as TIC como mecanismo de evolução em saúde. ***Gestão e Desenvolvimento*****,** n. 28, p. 95–116, jul. 2020.

AHUJA, A. S. et al. Inteligência artificial e COVID-19: uma abordagem multidisciplinar. **Integrative Medicine Research**, 2020. DOI: 10.1016/j.imr.2020.100434.l0

ASEDIYA, V. S. et al. Vaccine development using artificial intelligence and machine learning: a review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 282, p. 136643, 2024.

BHATTACHARYA, M. et al. Uma nova vacina de próxima geração à prova de mutações para SARS-CoV-2. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124893, 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124893.

BRAGA, Tiago Moraes et al. O uso de inteligência artificial na interpretação de exames médicos. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 7, n. 3, p. e70932-e70932, 2024.

CHAR, D. S. et al. Identifying ethical considerations for machine learning healthcare applications. **American Journal of Bioethics**, v. 20, n. 11, p. 7-17, 2020. DOI: 10.1080/15265161.2020.1819469.

CHEN, B. et al. Previsão da apresentação de antígenos HLA de classe II por aprendizado profundo. **Nature Biotechnology**, v. 37, p. 1332-1343, 2019. DOI: 10.1038/s41587-019-0280-2.

Chen J., Wei GW. Projeto de inteligência artificial matemática de anticorpos monoclonais à prova de mutação contra COVID-19. **Commun. Inf. Syst.** 2022;22(3):339–361. doi: 10.4310/cis.2022.v22.n3.a3.

COREY, L. et al. A strategic approach to COVID-19 vaccine R&D. **Science**, v. 368, n. 6494, p. 948-950, 2020.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

CRUZ, A. A queda da imunização no Brasil. **Consensus**, v. 25, p. 20-29, 2017.EMA. Inteligência artificial. Disponível em:https://www.ema.europa.eu/en/about-us/how-we-work/big-data/artificial-intelligence. Acesso em: 8 jan. 2026.

El Arab RA, Alkhunaizi M, Alhashem YN, Al Khatib A, Bubsheet M, Hassanein S. Artificial intelligence in vaccine research and development: an umbrella review. **Front Immunol**. 2025 May 8;16:1567116. doi: 10.3389/fimmu.2025.1567116.

FLORIDI, L. et al. How to design AI for social good: seven essential factors. **Science and Engineering Ethics**, v. 26, n. 3, p. 1771-1796, 2020. DOI: 10.1007/s11948-020-00213-5.

GOECKS, J. et al. How machine learning will transform biomedicine. **Cell**, v. 181, n. 1, p. 92-101, 2020.

Hasanzadeh A, Hamblin MR, Kiani J, Noori H, Hardie JM, Karimi M, et al. A inteligência artificial poderia revolucionar o desenvolvimento de nanovetores para terapia gênica e vacinas de mRNA? **Nano Today**. (2022) 47:101665. doi: 10.1016/J.NANTOD.2022.101665.

KAUSHIK, R. et al. Inteligência artificial na aceleração do desenvolvimento de vacinas. **Frontiers in Bacteriology**, v. 2, p. 1258159, 2023. DOI: 10.3389/fbrio.2023.1258159.

KING, M. H.; MARTODIPOERO, S. Health microplanning in the developing countries: a systems approach to appropriate technology. ***International Journal of Health Services***, v. 8, n. 4, p. 653–664, 1978.

KONG, W. H. et al. SARS-CoV-2 detection in patients with influenza-like illness. **Nature Microbiology**, v. 5, n. 5, p. 675-678, 2020. DOI: 10.1038/s41564-020-0713-1.

KRAMMER, F. SARS-CoV-2 vaccines in development. **Nature**, v. 586, p. 516-527, 2020.

LESLIE, D. et al. IA na luta contra a COVID-19: avanços e desafios. **Nature Machine Intelligence**, 2021.

MINSSEN, T. et al. Regulatory responses to medical machine learning. **Journal of Law and the Biosciences**, v. 7, n. 1, lsaa002, 2020. DOI: 10.1093/jlb/lsaa002.

OLAWADE, D. B. et al. Leveraging artificial intelligence in vaccine development. **Journal of Microbiological Methods**, v. 224, p. 106998, 2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Estudo global sobre as origens do SARS-CoV-2. Genebra: OMS, 2021.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

PATEL, S. J. et al. Artificial intelligence enabled rapid development of COVID-19 vaccines. **Expert Opinion on Drug Discovery**, 2021. DOI: 10.1080/17460441.2021.1882788.

POLACK, F. P. et al. Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine. **New England Journal of Medicine**, v. 383, p. 2603-2615, 2020.

PORTNOY, A.; JIT, M.; HELLERINGER, S.; VERGUET, S. Impact of measles supplementary immunization activities on reaching children missed by routine programs. **Vaccine**, v. 36, n. 1, p. 170–178, 2018.

RAMOS, Maíra Catharina et al. Big Data e Inteligência Artificial para pesquisa translacional na Covid-19: revisão rápida. **Saúde em Debate,**v.46,p.1202-1214,2023. https://doi.org/10.1590/0103-1104202213518

SATO, A. P. S. Pandemic and vaccine coverage: challenges of returning to schools. ***Revista de Saúde Pública*****,** v. 54, p. 115, 2020.

SCANNELL, J. W. et al. Diagnosing the decline in pharmaceutical R&D efficiency. **Nature Reviews Drug Discovery**, v. 11, n. 3, p. 191-200, 2012. DOI: 10.1038/nrd3681.

SCHWAB, K. ***A quarta revolução industrial*****.** São Paulo: Edipro, 2016.

THAKKAR, S. et al. Inteligência artificial e dados reais para segurança de medicamentos. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 140, p. 105388, 2023.

TIAN, Yuan et al. Imunologia de célula única da infecção por SARS-CoV-2. **Nature biotechnology** , v. 40, n. 1, p. 30-41, 2022.

TOPOL, E. J. High-performance medicine. **Nature Medicine**, v. 25, p. 44-56, 2019.

Zhang WY, Zheng XL, Coghi PS, Chen JH, Dong BJ, Fan XX. Revolucionando o desenvolvimento de adjuvantes: aproveitando a IA para vacinas contra o câncer de próxima geração. **Front Immunol**. (2024) 15:1438030/BIBTEX. doi: 10.3389/FIMMU.2024.1438030/BIBTEX.

ZHAVORONKOV, A. Artificial intelligence for drug discovery. **Molecular Pharmaceutics**, v. 15, n. 10, p. 4311-4317, 2018. DOI: 10.1021/acs.molpharmaceut.8b00930.

ZHOU, P. et al. A pneumonia outbreak associated with new coronavirus of bat origin. **Nature**, v. 579, n. 7798, p. 270-273, 2020. DOI: 10.1038/s41586-020-2012-7.

FDA. Utilizando inteligência artificial e aprendizado de máquina no desenvolvimento de medicamentos. 2023. Disponível em:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/01/2026 - **Accepted:** 10/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/1yz89p79
Pages: 1-29

https://www.fda.gov/media/167973/download.

GOODSWEN, S. J. et al. Um guia para vacinologia reversa na descoberta de vacinas in silico. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 47, n. 2, 2023. DOI: 10.1093/femsre/fuad004.

GUIMARÃES, L. E. et al. Vacinas, adjuvantes e autoimunidade. **Pharmacological Research**, v. 100, p. 190-209, 2015. DOI: 10.1016/j.phrs.2015.08.003.

KING, M. H.; MARTODIPOERO, S. Health microplanning in the developing countries. **International Journal of Health Services**, v. 8, n. 4, p. 653-664, 1978.

MAZZOCCO, G. et al. Projeto auxiliado por IA de vacina baseada em epítopos para SARS-CoV-2. **Frontiers in Genetics**, v. 12, 2021. DOI: 10.3389/fgene.2021.602196.

MARENGO, L. L. et al. Tecnologias móveis em saúde: reflexões sobre desenvolvimento, aplicações, legislação e ética. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 46, 2022.

Mohammad, S., & Maryam, M. (2023). The Role of Artificial Intelligence in the Development of COVID-19 Vaccine. **International journal of preventive medicine,** 14, 97. https://doi.org/10.4103/ijpvm.ijpvm_333_21.

NICHIATA, L. Y. I.; PASSARO, T. E-health e saúde pública: a presença digital do Sistema Único de Saúde do Brasil por meio de aplicativos de dispositivos móveis. ***Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde*****,** [S. l.], v. 17, n. 3, 2023.

ONG, E.; HE, Y. Desenvolvimento de vacinas por vacinologia reversa e machine learning. **Methods in Molecular Biology**, v. 2414, p. 1-16, 2022.

PORTNOY, A. et al. Impact of measles supplementary immunization activities. **Vaccine**, v. 36, n. 1, p. 170-178, 2018.

WALTZ, Emily. AI takes its best shot: what AI can—and can't—do in the race for a coronavirus vaccine-[vaccine]. **IEEE Spectrum**, v. 57, n. 10, p. 24-67, 2020. DOI: 10.1109/MSPEC.2020.9205545.

Wang R., et al. Variantes emergentes do SARS-CoV-2 que superam a resistência à vacina. **ACS Infect Dis.** 2022;8(3):546–556. doi: 10.1021/acsinfecdis.1c00557