

Imunologia e vacinas de nova geração: avanços tecnológicos, mecanismos imunológicos e perspectivas para a biomedicina

Immunology and next-generation vaccines: technological advances, immunological mechanisms, and perspectives for biomedicine

Thiago Mendes Sansevero¹

Fernanda Sanches²

Gabriela de Amorim Ferreira Antonio³

José Alberto Paris Junior⁴

Resumo

Os avanços da imunologia e da biotecnologia têm impulsionado o desenvolvimento de vacinas de nova geração, capazes de induzir respostas imunológicas mais específicas, seguras e eficazes, ampliando as possibilidades de prevenção e tratamento de diversas enfermidades. O presente estudo teve como objetivo analisar as evidências científicas relacionadas aos mecanismos imunológicos, às principais plataformas vacinais, às aplicações clínicas e às perspectivas das vacinas de nova geração para a Biomedicina. Trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza descritiva e exploratória, desenvolvida por meio de revisão integrativa da literatura. O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases SciELO, PubMed/MEDLINE, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Google Scholar, Web of Science e Scopus, complementado por documentos técnicos e institucionais publicados entre 2016 e 2026. A análise das evidências demonstrou que plataformas como RNA mensageiro, DNA plasmidial, vetores virais recombinantes e proteínas recombinantes representam importante evolução da imunização tradicional, favorecendo respostas humorais e celulares mais eficientes e ampliando as possibilidades da medicina de precisão e da imunoterapia. Os estudos também evidenciaram desafios relacionados à estabilidade dos imunizantes, à logística de distribuição, à vigilância de variantes, à hesitação vacinal e à necessidade de fortalecimento da pesquisa e da produção nacional de imunobiológicos. Conclui-se que as vacinas de nova geração constituem uma das principais inovações da Biomedicina contemporânea, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de imunização e para o desenvolvimento de abordagens terapêuticas mais individualizadas.

¹ Professor Mestre do Centro Universitário Santa Cecília – UNICEA. Mestre em Biotecnologia pela Universidade de Mogi das Cruzes – UMC. Bacharel em Biomedicina pela Universidade de Mogi das Cruzes – UMC.

² Professora Mestra. Mestra em Ciências pela Universidade de São Paulo – USP. Bacharela em Fisioterapia pelo Centro Universitário de Araraquara – UNIARA.

³ Professora Mestra do Centro Universitário Santa Cecília – UNICEA. Mestra em Design, Tecnologia e Inovação pelo Centro Universitário Teresa D'Ávila – UNIFATEA. Bacharela em Enfermagem pela Universidade de Taubaté – UNITAU, Licenciada em Pedagogia pela Faculdade Única de Ipatinga e Licenciada em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário ETEP.

⁴ Professor Doutor. Doutor em Biotecnologia em Medicina Regenerativa e Química Medicinal pela Universidade de Araraquara – UNIARA. Bacharel em Biomedicina pela Universidade de Araraquara – UNIARA. E-mail: parisjosejr@gmail.com.

Entretanto, sua consolidação dependerá da continuidade dos investimentos em pesquisa científica, inovação tecnológica, formação profissional e fortalecimento das políticas públicas de saúde.

Palavras-chave: Imunologia. Vacinas de nova geração. RNA mensageiro. Biotecnologia. Biomedicina.

Abstract

Advances in immunology and biotechnology have driven the development of next-generation vaccines capable of inducing more specific, safer, and more effective immune responses, expanding the possibilities for preventing and treating a wide range of diseases. This study aimed to analyze the scientific evidence regarding the immunological mechanisms, main vaccine platforms, clinical applications, and future perspectives of next-generation vaccines for Biomedical Sciences. This qualitative, descriptive, and exploratory study was conducted through an integrative literature review. The bibliographic search was performed in the SciELO, PubMed/MEDLINE, Virtual Health Library (VHL), Google Scholar, Web of Science, and Scopus databases, complemented by technical and institutional documents published between 2016 and 2026. The analyzed evidence demonstrated that platforms such as messenger RNA, plasmid DNA, recombinant viral vectors, and recombinant proteins represent a significant advancement over conventional vaccination by promoting more efficient humoral and cellular immune responses and expanding the possibilities of precision medicine and immunotherapy. The studies also highlighted challenges related to vaccine stability, distribution logistics, surveillance of emerging variants, vaccine hesitancy, and the need to strengthen research and national production of immunobiological products. It is concluded that next-generation vaccines represent one of the most important innovations in contemporary Biomedical Sciences, contributing to the improvement of immunization strategies and the development of more personalized therapeutic approaches. However, their consolidation will depend on continued investment in scientific research, technological innovation, professional training, and the strengthening of public health policies.

Keywords: Immunology. Next-generation vaccines. Messenger RNA. Biotechnology. Biomedical Sciences.

1 INTRODUÇÃO

A imunização constitui uma das estratégias mais eficazes para a prevenção e o controle de doenças infecciosas, sendo responsável pela significativa redução da morbimortalidade associada a diversos agravos ao longo das últimas décadas. O avanço da imunologia e da biotecnologia possibilitou o desenvolvimento de plataformas vacinais cada vez mais seguras, específicas e eficazes, capazes de induzir respostas imunológicas direcionadas e duradouras. Nesse contexto, as vacinas de nova geração representam uma importante evolução em relação às vacinas convencionais, incorporando tecnologias inovadoras, como RNA mensageiro (mRNA), DNA plasmidial, vetores virais recombinantes, proteínas recombinantes e nanopartículas lipídicas, ampliando as possibilidades de prevenção e tratamento de diferentes doenças (Pardi et al., 2018; Kallás et al., 2023).

O desenvolvimento dessas plataformas foi impulsionado pelos avanços da biologia molecular, da engenharia genética e da imunologia, permitindo maior compreensão dos

mecanismos celulares e moleculares envolvidos na resposta imune. Além da prevenção de doenças infecciosas, as vacinas de nova geração vêm sendo investigadas para aplicações em oncologia, doenças autoimunes e enfermidades crônicas, consolidando-se como uma das áreas mais promissoras da medicina de precisão e da Biomedicina contemporânea (Karikó; Weissman, 2023; Gazzinelli et al., 2021).

A pandemia de COVID-19 representou um marco para o desenvolvimento e a validação clínica dessas tecnologias, demonstrando que plataformas vacinais inovadoras podem ser desenvolvidas e disponibilizadas em curto intervalo de tempo sem comprometer os padrões científicos e regulatórios. Estudos conduzidos em diferentes países evidenciaram elevada eficácia e segurança das vacinas de mRNA e de vetores virais, impulsionando novas pesquisas voltadas ao desenvolvimento de imunizantes para doenças infecciosas emergentes, neoplasias e outras condições de elevada relevância clínica (Polack et al., 2020; Baden et al., 2021; Voysey et al., 2021).

Apesar dos avanços observados, persistem desafios relacionados à duração da resposta imunológica, ao surgimento de variantes virais, à produção em larga escala, aos custos, à logística de armazenamento e distribuição, bem como aos aspectos éticos e regulatórios envolvidos na incorporação dessas tecnologias aos sistemas de saúde. Além disso, a hesitação vacinal e a disseminação de informações falsas continuam representando obstáculos importantes para a efetividade dos programas de imunização em diversos países, inclusive no Brasil (Fiocruz, 2023; Ciência & Saúde Coletiva, 2022).

Diante desse cenário, emerge o seguinte problema de pesquisa: de que maneira os avanços da imunologia têm contribuído para o desenvolvimento das vacinas de nova geração e quais são suas principais aplicações, desafios e perspectivas para a Biomedicina?

Parte-se da hipótese de que as vacinas de nova geração representam uma evolução significativa da imunização convencional ao utilizar plataformas biotecnológicas capazes de induzir respostas imunológicas mais específicas, seguras e duradouras. Entretanto, sua ampla incorporação depende da superação de desafios científicos, regulatórios, econômicos e sociais, bem como da contínua produção de evidências que sustentem sua eficácia e segurança em diferentes contextos clínicos.

O objetivo geral deste estudo consiste em analisar as evidências científicas relacionadas às vacinas de nova geração, discutindo seus mecanismos imunológicos, principais aplicações, limitações e perspectivas para a Biomedicina.

Como objetivos específicos, pretende-se apresentar os fundamentos imunológicos da resposta vacinal; analisar as principais plataformas de vacinas de nova geração e suas

aplicações clínicas; discutir os desafios científicos, tecnológicos, éticos e regulatórios relacionados à sua utilização; e identificar as perspectivas futuras dessas tecnologias no contexto da Biomedicina e da medicina de precisão.

A realização desta pesquisa justifica-se, cientificamente, pela rápida evolução das plataformas vacinais e pela necessidade de sistematizar as evidências recentes acerca de seus mecanismos imunológicos e aplicações biomédicas. Socialmente, o estudo contribui para ampliar a compreensão sobre tecnologias capazes de fortalecer os programas de imunização, prevenir doenças e melhorar a qualidade de vida da população. Profissionalmente, evidencia a ampliação da atuação do biomédico em áreas como imunologia, biotecnologia, desenvolvimento de imunobiológicos, pesquisa translacional e inovação em saúde, ressaltando a importância da formação continuada diante das transformações tecnológicas da área.

O referencial teórico fundamenta-se em estudos nacionais e internacionais publicados entre 2016 e 2026 sobre imunologia, vacinas de nova geração, biotecnologia, medicina de precisão e inovação em imunobiológicos, com ênfase em pesquisas desenvolvidas por instituições brasileiras, complementadas por estudos internacionais de elevado impacto científico.

Por fim, o artigo está estruturado em três capítulos. O primeiro aborda os fundamentos imunológicos da resposta vacinal, enfatizando os mecanismos da imunidade inata e adaptativa. O segundo discute as principais plataformas de vacinas de nova geração e suas aplicações clínicas. O terceiro analisa os desafios científicos, éticos e regulatórios, bem como as perspectivas dessas tecnologias para a Biomedicina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fundamentos imunológicos da resposta vacinal

A resposta imunológica constitui um conjunto de mecanismos celulares e moleculares responsáveis pela defesa do organismo contra agentes infecciosos e outras substâncias potencialmente nocivas. Esse sistema atua de forma integrada por meio da imunidade inata e da imunidade adaptativa, cujas funções complementares permitem reconhecer, neutralizar e eliminar microrganismos, além de estabelecer memória imunológica capaz de conferir proteção em exposições futuras ao mesmo antígeno (Kalil, 2021; Gazzinelli et al., 2021).

A imunidade inata representa a primeira linha de defesa do organismo e caracteriza-se pela resposta rápida e inespecífica frente à presença de agentes infecciosos. Esse sistema envolve barreiras físicas, células fagocíticas, células dendríticas, células natural killer (NK), proteínas do sistema complemento e citocinas inflamatórias, responsáveis pelo reconhecimento inicial dos patógenos e pela ativação da resposta imunológica adaptativa. Embora não produza memória imunológica, sua atuação é fundamental para a eficiência das vacinas, pois influencia diretamente a intensidade e a qualidade da resposta imune subsequente (Gazzinelli et al., 2021).

A imunidade adaptativa, por sua vez, desenvolve-se de maneira específica após o reconhecimento do antígeno e é mediada principalmente pelos linfócitos T e B. Os linfócitos T auxiliares ($CD4^+$) coordenam a resposta imune por meio da produção de citocinas, enquanto os linfócitos T citotóxicos ($CD8^+$) atuam na eliminação de células infectadas. Paralelamente, os linfócitos B diferenciam-se em plasmócitos produtores de anticorpos capazes de neutralizar agentes infecciosos e impedir sua disseminação. A geração de células de memória constitui uma das principais características desse sistema, permitindo respostas mais rápidas e eficazes em exposições posteriores ao mesmo agente (Bonorino, 2020; Kalil, 2021).

O desenvolvimento das vacinas baseia-se justamente na capacidade de estimular a imunidade adaptativa sem provocar a doença. Ao apresentar antígenos específicos ao sistema imunológico, os imunizantes induzem a ativação coordenada de células apresentadoras de antígeno, linfócitos T e linfócitos B, culminando na produção de anticorpos neutralizantes e na formação de memória imunológica. Esse processo possibilita que o organismo reconheça rapidamente o agente infeccioso em futuros contatos, reduzindo a gravidade da infecção ou impedindo seu desenvolvimento (Pardi et al., 2018).

Nas últimas décadas, a compreensão dos mecanismos imunológicos envolvidos na resposta vacinal impulsionou o desenvolvimento de novas plataformas tecnológicas. Diferentemente das vacinas tradicionais, produzidas a partir de microrganismos atenuados ou inativados, as vacinas de nova geração utilizam moléculas de RNA mensageiro, DNA plasmidial, proteínas recombinantes ou vetores virais capazes de direcionar de forma mais precisa a resposta imunológica. Essas tecnologias favorecem maior especificidade antigênica, maior flexibilidade no desenvolvimento de imunizantes e potencial adaptação frente ao surgimento de novos patógenos (Karikó; Weissman, 2023; Kallás et al., 2023).

Outro aspecto relevante refere-se ao papel dos adjuvantes e dos sistemas modernos de entrega de antígenos. Compostos como nanopartículas lipídicas, lipossomas e outros carreadores biotecnológicos aumentam a estabilidade dos imunizantes, favorecem a captação

pelos tecidos linfoides e potencializam a ativação das células apresentadoras de antígeno. Essas estratégias contribuem para respostas imunológicas mais robustas, permitindo, em muitos casos, reduzir a quantidade de antígeno administrado e otimizar a eficácia das vacinas (Pardi et al., 2018).

Além da produção de anticorpos, estudos recentes demonstram que a eficácia das vacinas depende também da indução de respostas celulares duradouras. A ativação equilibrada da imunidade humoral e celular favorece proteção prolongada contra diferentes agentes infecciosos e amplia o potencial de utilização das novas plataformas vacinais em doenças virais, bacterianas e até mesmo em determinadas neoplasias. Essa compreensão ampliou significativamente o campo de atuação da imunologia aplicada e estabeleceu as bases para o desenvolvimento de imunizantes cada vez mais específicos e personalizados (Gazzinelli et al., 2021; Kallás et al., 2023).

Em síntese, os avanços da imunologia permitiram compreender, com maior precisão, os mecanismos responsáveis pela indução da resposta vacinal, fornecendo suporte científico para o desenvolvimento das vacinas de nova geração. A integração entre conhecimento imunológico, biotecnologia e engenharia molecular inaugurou uma nova etapa da imunização, caracterizada pela utilização de plataformas mais seguras, versáteis e adaptáveis às necessidades da medicina contemporânea.

Com o objetivo de sintetizar os principais componentes envolvidos na resposta imunológica induzida pelas vacinas, o Quadro 1 apresenta os diferentes elementos celulares e moleculares que participam da ativação da imunidade adaptativa, destacando suas funções e sua importância para o desenvolvimento da memória imunológica, mecanismo essencial para a eficácia dos imunizantes.

Quadro 1 – Principais componentes da resposta imunológica induzida pelas vacinas

Componente imunológico	Função principal	Importância para a vacinação
Células dendríticas	Captura e apresentação de antígenos	Iniciam a ativação da resposta adaptativa
Linfócitos T CD4 ⁺	Coordenação da resposta imune	Estimulam linfócitos B e T citotóxicos
Linfócitos T CD8 ⁺	Destruição de células infectadas	Importantes na imunidade celular
Linfócitos B	Produção de anticorpos	Neutralização de patógenos
Plasmócitos	Secreção de imunoglobulinas	Produção de anticorpos específicos
Células de memória	Resposta rápida em nova exposição	Proteção imunológica de longa duração
Adjuvantes e nanopartículas	Potencialização da resposta imune	Aumentam a eficácia das vacinas de nova geração

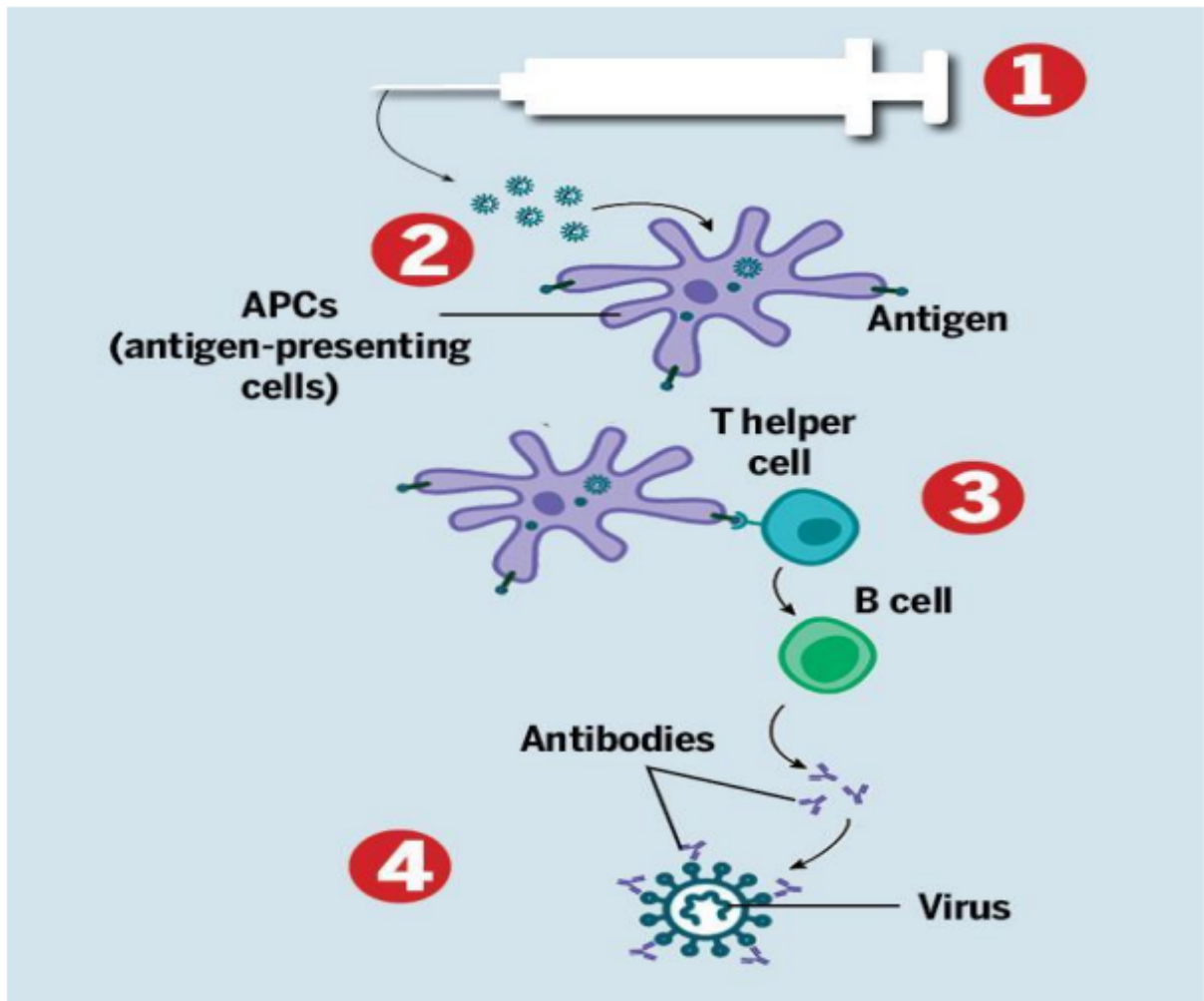
Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kalil (2021), Gazzinelli et al. (2021), Bonorino (2020), Pardi et al. (2018) e Kallás et al. (2023).

A análise do Quadro 1 evidencia que a resposta imunológica desencadeada pelas vacinas resulta da atuação coordenada de diferentes populações celulares. As células dendríticas desempenham papel central na captura e apresentação dos antígenos, iniciando a ativação dos linfócitos T auxiliares, que, por sua vez, coordenam a resposta imunológica e estimulam a ativação dos linfócitos B responsáveis pela produção de anticorpos específicos. Paralelamente, os linfócitos T citotóxicos contribuem para a eliminação de células infectadas, fortalecendo a resposta celular frente aos agentes infecciosos (Kalil, 2021; Gazzinelli et al., 2021).

Observa-se ainda que a formação de células de memória representa um dos principais objetivos da imunização, pois possibilita respostas mais rápidas e eficientes em futuras exposições ao mesmo patógeno. Além disso, a utilização de adjuvantes e sistemas modernos de entrega de antígenos potencializa a ativação imunológica, aumentando a intensidade e a duração da resposta vacinal. Dessa forma, os componentes sintetizados no quadro demonstram a complexidade dos mecanismos imunológicos explorados pelas vacinas de nova geração para promover proteção duradoura.

Para complementar a síntese apresentada anteriormente, a Figura 1 ilustra de forma esquemática as principais etapas da resposta imunológica induzida pelas vacinas de nova geração, evidenciando a sequência de eventos que conduz ao desenvolvimento da memória imunológica e da proteção contra futuras infecções.

Figura 1: Esquema simplificado de imunização



Fonte: Adaptado de Wikimedia Commons (2024), com base em Immune response – Lymphocyte activation. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Immune_response_Lymphocyte.svg. Acesso em: 16 jul. 2026.

Conforme representado na Figura 1, a resposta imunológica inicia-se com a introdução do antígeno vacinal e sua captura pelas células dendríticas, que realizam o processamento e a apresentação antígenoica aos linfócitos T. A ativação dessas células desencadeia uma série de interações imunológicas que culminam na estimulação dos linfócitos B, responsáveis pela diferenciação em plasmócitos produtores de anticorpos específicos. Esse processo evidencia a estreita integração entre imunidade inata e adaptativa durante a resposta vacinal.

A figura também destaca a formação das células de memória, consideradas um dos principais indicadores da eficácia dos imunizantes. Essas células permanecem no organismo por longos períodos e possibilitam resposta mais rápida e intensa diante de uma nova exposição ao mesmo agente infeccioso, reduzindo significativamente o risco de adoecimento. Assim, o esquema sintetiza os mecanismos discutidos ao longo deste capítulo e fornece base conceitual para compreender o funcionamento das diferentes plataformas de vacinas de nova geração apresentadas na seção seguinte.

Em síntese, os fundamentos imunológicos apresentados demonstram que a eficácia das vacinas depende da interação coordenada entre diferentes componentes do sistema imunológico, culminando na produção de anticorpos e no estabelecimento da memória imunológica. A compreensão desses mecanismos permitiu o desenvolvimento de plataformas vacinais cada vez mais sofisticadas, capazes de direcionar respostas imunológicas mais específicas e duradouras. Esses avanços constituem a base científica para o desenvolvimento das vacinas de nova geração, cujas principais tecnologias e aplicações clínicas serão discutidas no próximo capítulo.

2.2 Vacinas de nova geração e aplicações clínicas

Os avanços da imunologia, da biologia molecular e da engenharia genética possibilitaram o desenvolvimento de plataformas vacinais mais específicas, seguras e versáteis do que aquelas tradicionalmente utilizadas. Diferentemente das vacinas produzidas com microrganismos atenuados ou inativados, as vacinas de nova geração empregam moléculas sintéticas ou recombinantes capazes de estimular respostas imunológicas direcionadas, reduzindo riscos biológicos durante sua produção e permitindo maior rapidez no desenvolvimento de novos imunizantes. Essas características ampliaram significativamente o potencial de aplicação das vacinas tanto na prevenção de doenças infecciosas quanto no tratamento de enfermidades crônicas e neoplásicas (Pardi et al., 2018).

Entre as plataformas mais inovadoras destacam-se as vacinas de RNA mensageiro (messenger RNA – mRNA). Esse modelo utiliza moléculas sintéticas de RNA que transportam a informação genética necessária para que as próprias células do indivíduo produzam proteínas antigênicas capazes de estimular o sistema imunológico. Após a tradução dessas proteínas, ocorre ativação coordenada da imunidade humoral e celular, com produção de anticorpos neutralizantes e formação de células de memória. Segundo Pardi et al. (2018),

essa tecnologia apresenta elevada flexibilidade, rapidez de desenvolvimento e potencial para adaptação frente ao surgimento de novos agentes infecciosos.

A consolidação clínica das vacinas de mRNA ocorreu durante a pandemia de COVID-19. Polack et al. (2020) demonstraram elevada eficácia da vacina BNT162b2 (Pfizer-BioNTech) na prevenção da doença sintomática, enquanto Baden et al. (2021) observaram resultados semelhantes para a vacina mRNA-1273 (Moderna). Esses estudos representam marcos importantes para a imunologia aplicada, demonstrando que plataformas baseadas em RNA mensageiro podem induzir respostas imunológicas robustas e apresentar perfil de segurança favorável em larga escala.

Outra estratégia amplamente utilizada corresponde às vacinas de vetores virais recombinantes, que empregam vírus modificados geneticamente para transportar genes codificadores de antígenos até as células do hospedeiro. Após a infecção controlada dessas células, ocorre a expressão da proteína antigênica e consequente ativação da resposta imunológica. A vacina ChAdOx1 nCoV-19, desenvolvida pela Universidade de Oxford em parceria com a AstraZeneca, exemplifica essa plataforma e apresentou eficácia significativa na prevenção da COVID-19, além de estimular respostas humorais e celulares consistentes (Voysey et al., 2021).

As vacinas de proteínas recombinantes também representam importante avanço tecnológico. Nessa abordagem, apenas proteínas específicas do agente infeccioso são produzidas por técnicas de engenharia genética e utilizadas como antígenos vacinais, frequentemente associadas a adjuvantes capazes de potencializar a resposta imunológica. Essa estratégia apresenta elevado perfil de segurança, especialmente para indivíduos imunocomprometidos, e vem sendo aplicada no desenvolvimento de imunizantes contra diferentes doenças infecciosas e parasitárias (Kallás et al., 2023).

Além das aplicações profiláticas, observa-se crescente interesse pelas vacinas terapêuticas. Diferentemente das vacinas tradicionais, essas plataformas têm como objetivo estimular o sistema imunológico contra doenças já estabelecidas, especialmente determinados tipos de câncer. Estudos conduzidos por Sahin e colaboradores demonstram que vacinas individualizadas baseadas em neo antígenos tumorais podem induzir respostas específicas dos linfócitos T contra células neoplásicas, inaugurando uma nova perspectiva para a imunoterapia personalizada.

Outro avanço importante refere-se à utilização da bioinformática e da imunoinformática no desenvolvimento vacinal. Ferramentas computacionais permitem identificar epítomos imunogênicos, prever interações entre antígenos e moléculas do complexo principal

de histocompatibilidade (MHC) e selecionar candidatos vacinais com maior potencial imunogênico antes da realização de experimentos laboratoriais. Essa abordagem reduz tempo e custos de desenvolvimento, contribuindo para acelerar a produção de novos imunizantes e ampliar sua eficácia.

No Brasil, instituições como a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e o Instituto Butantan vêm desempenhando papel estratégico no desenvolvimento de plataformas vacinais e na produção de imunobiológicos. Além da participação no enfrentamento da pandemia de COVID-19, essas instituições têm investido em pesquisas relacionadas a vacinas de RNA mensageiro, proteínas recombinantes e novas tecnologias de produção nacional, fortalecendo a capacidade científica e tecnológica do país e ampliando sua autonomia na área de imunobiológicos.

Em conjunto, essas evidências demonstram que as vacinas de nova geração representam uma transformação significativa na imunização moderna. A utilização de plataformas biotecnológicas inovadoras amplia as possibilidades de prevenção e tratamento de doenças, fortalece a medicina de precisão e inaugura novas perspectivas para a atuação da Biomedicina em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e assistência à saúde.

A diversidade das plataformas vacinais desenvolvidas nas últimas décadas evidencia a profunda transformação ocorrida na imunologia aplicada e na biotecnologia. Diferentemente das vacinas convencionais, baseadas principalmente em microrganismos atenuados ou inativados, as tecnologias de nova geração utilizam estratégias moleculares capazes de induzir respostas imunológicas mais específicas, seguras e adaptáveis às características de diferentes agentes infecciosos. Essa evolução ampliou significativamente as possibilidades de prevenção de doenças e abriu novas perspectivas para aplicações terapêuticas, especialmente no campo da oncologia, da medicina personalizada e das doenças emergentes.

Nesse contexto, torna-se importante sistematizar as principais características das plataformas vacinais atualmente empregadas, destacando seus mecanismos de funcionamento, vantagens, limitações e aplicações clínicas. Assim, o Quadro 2 apresenta uma síntese comparativa das tecnologias que compõem as vacinas de nova geração, permitindo visualizar suas principais diferenças e compreender como cada plataforma contribui para o avanço da Biomedicina e para o desenvolvimento de estratégias inovadoras de imunização.

Quadro 2 – Principais plataformas de vacinas de nova geração e aplicações biomédicas

Plataforma vacinal	Mecanismo de ação	Principais aplicações
RNA mensageiro (mRNA)	Expressão intracelular de proteínas antigênicas	COVID-19, vacinas personalizadas e câncer
DNA plasmidial	Introdução de DNA codificador de antígenos	Doenças infecciosas e pesquisas experimentais
Vetores virais	Transporte de genes por vírus recombinantes	COVID-19, Ebola e outras viroses
Proteínas recombinantes	Administração de proteínas antigênicas purificadas	Hepatite B, HPV e novos imunizantes
Vacinas terapêuticas	Estímulo direcionado contra células doentes	Imunoterapia oncológica
Plataformas personalizadas	Seleção de neoantígenos específicos	Medicina de precisão e câncer

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Pardi et al. (2018), Polack et al. (2020), Baden et al. (2021), Voysey et al. (2021), Kallás et al. (2023) e Sahin et al.

A síntese apresentada no Quadro 2 evidencia que as vacinas de nova geração utilizam diferentes plataformas biotecnológicas para estimular respostas imunológicas específicas e duradouras. Embora apresentem mecanismos distintos de ação, todas compartilham o objetivo de ampliar a eficácia, a segurança e a flexibilidade do desenvolvimento vacinal, favorecendo aplicações que vão desde a prevenção de doenças infecciosas até a imunoterapia personalizada.

Em conclusão, observa-se que a evolução das plataformas vacinais modificou profundamente a forma de desenvolver imunizantes e ampliou suas possibilidades terapêuticas. Esse cenário consolida a Biomedicina como área estratégica para a pesquisa, produção e avaliação de novas tecnologias em imunização, ao mesmo tempo em que evidencia desafios científicos e regulatórios que serão discutidos no próximo capítulo.

2.3 Desafios, limitações e perspectivas das vacinas de nova geração para a Biomedicina

Os avanços observados no desenvolvimento das vacinas de nova geração representam uma das mais importantes transformações da imunologia e da biotecnologia nas últimas

décadas. Entretanto, a consolidação dessas plataformas vacinais na prática clínica depende da superação de desafios científicos, tecnológicos, regulatórios e sociais que influenciam diretamente sua produção, distribuição e aceitação pela população. Nesse contexto, a evolução das vacinas modernas deve ser compreendida não apenas como resultado da inovação tecnológica, mas também como consequência da integração entre pesquisa científica, políticas públicas e fortalecimento dos sistemas de saúde (Fiocruz, 2023).

Entre os principais desafios científicos destaca-se a necessidade de garantir respostas imunológicas amplas, duradouras e capazes de acompanhar a rápida evolução de determinados agentes infecciosos. Vírus de elevada variabilidade genética, como influenza e SARS-CoV-2, apresentam frequentes mutações que podem reduzir a eficácia dos imunizantes ao longo do tempo, exigindo atualização periódica das formulações vacinais. Embora plataformas como as vacinas de RNA mensageiro permitam maior rapidez no desenvolvimento de novas versões, a vigilância genômica contínua permanece indispensável para acompanhar o surgimento de variantes de interesse epidemiológico (Pardi et al., 2018; Kallás et al., 2023).

Outro aspecto relevante refere-se à estabilidade e à logística de distribuição desses imunizantes. Algumas plataformas, especialmente as baseadas em RNA mensageiro, necessitam de condições rigorosas de armazenamento em baixas temperaturas para preservar sua estabilidade molecular, dificultando sua implementação em regiões com infraestrutura limitada. Esse desafio evidencia que o sucesso das vacinas de nova geração depende não apenas de sua eficácia biológica, mas também da capacidade dos sistemas de saúde em assegurar armazenamento, transporte e distribuição adequados (Polack et al., 2020; Baden et al., 2021).

Além das limitações técnicas, questões bioéticas e regulatórias assumem papel central na incorporação dessas tecnologias. O desenvolvimento acelerado de vacinas durante a pandemia de COVID-19 demonstrou a capacidade da comunidade científica em responder rapidamente a emergências sanitárias, mas também evidenciou a necessidade de manter rigor metodológico em todas as etapas da pesquisa clínica. A transparência dos estudos, o monitoramento contínuo da segurança, a farmacovigilância e a comunicação científica baseada em evidências constituem elementos fundamentais para fortalecer a confiança da população nos programas de imunização.

Outro desafio amplamente discutido refere-se à hesitação vacinal. Apesar do amplo conjunto de evidências científicas que comprovam a eficácia e a segurança das vacinas, a circulação de informações falsas e a desinformação nas plataformas digitais têm contribuído

para a redução das coberturas vacinais em diversos países. Esse cenário amplia o risco de reemergência de doenças previamente controladas e reforça a importância das estratégias de educação em saúde e divulgação científica, nas quais biomédicos e demais profissionais da saúde desempenham papel essencial (Ciência & Saúde Coletiva, 2022).

Sob a perspectiva tecnológica, observa-se crescente integração entre imunologia, bioinformática e inteligência artificial. Ferramentas computacionais têm sido empregadas para identificar epítopos imunogênicos, modelar estruturas proteicas, prever respostas imunológicas e selecionar candidatos vacinais com maior potencial de eficácia. A denominada imuno informática reduz o tempo necessário para o desenvolvimento de novos imunizantes e amplia a capacidade de resposta frente ao surgimento de patógenos emergentes, fortalecendo a medicina de precisão e a pesquisa translacional.

As perspectivas futuras indicam expansão do desenvolvimento de vacinas personalizadas, especialmente na imunoterapia oncológica. A utilização de neo antígenos específicos identificados por sequenciamento genético possibilita o desenvolvimento de imunizantes individualizados capazes de estimular respostas direcionadas contra células tumorais. Paralelamente, novas plataformas baseadas em RNA auto amplificante, nanopartículas de última geração e sistemas avançados de entrega de antígenos tendem a ampliar a duração e a intensidade da resposta imunológica, reduzindo a necessidade de doses de reforço e aumentando a eficiência dos imunizantes (Karikó; Weissman, 2023).

No Brasil, instituições como a Fundação Oswaldo Cruz e o Instituto Butantan desempenham papel estratégico na consolidação dessas tecnologias. Os investimentos em pesquisa, produção nacional de imunobiológicos e desenvolvimento de plataformas inovadoras fortalecem a autonomia científica do país e ampliam sua capacidade de resposta frente a futuras emergências sanitárias. Contudo, a expansão dessas iniciativas depende da continuidade do financiamento à pesquisa, da formação de recursos humanos altamente qualificados e da integração entre universidades, centros de pesquisa e setor produtivo.

Sob o ponto de vista da Biomedicina, a evolução das vacinas de nova geração amplia significativamente os campos de atuação profissional. O biomédico passa a participar de etapas relacionadas ao desenvolvimento de imunobiológicos, cultura celular, biologia molecular, imunologia experimental, bioinformática, controle de qualidade, validação laboratorial, pesquisa clínica e farmacovigilância. Esse cenário evidencia a necessidade de formação interdisciplinar capaz de integrar conhecimentos em imunologia, biotecnologia, genética e inovação tecnológica.

Em síntese, as vacinas de nova geração representam uma das principais fronteiras da imunologia aplicada e da Biomedicina contemporânea. A consolidação dessas plataformas dependerá do equilíbrio entre inovação científica, segurança, acesso equitativo e fortalecimento das políticas públicas de imunização, permitindo que os avanços tecnológicos se traduzam em benefícios efetivos para a saúde da população.

Quadro 3 – Principais desafios e perspectivas das vacinas de nova geração

Aspecto	Desafios atuais	Perspectivas futuras
Desenvolvimento científico	Atualização frente a variantes e novos patógenos	Plataformas vacinais mais rápidas e adaptáveis
Produção e logística	Cadeia de frio, custos e distribuição	Tecnologias mais estáveis e acessíveis
Segurança	Monitoramento contínuo e farmacovigilância	Aprimoramento dos sistemas de vigilância pós-comercialização
Aspectos sociais	Hesitação vacinal e desinformação	Fortalecimento da educação em saúde e comunicação científica
Inovação tecnológica	Integração entre biologia molecular e bioinformática	Imunoinformática, inteligência artificial e vacinas personalizadas
Atuação biomédica	Necessidade de qualificação interdisciplinar	Expansão da pesquisa, desenvolvimento e medicina de precisão

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Pardi et al. (2018), Polack et al. (2020), Baden et al. (2021), Kallás et al. (2023), Fiocruz (2023) e Ciência & Saúde Coletiva (2022).

A síntese apresentada no Quadro 3 demonstra que a consolidação das vacinas de nova geração depende da superação de desafios que ultrapassam os aspectos estritamente biológicos. Questões relacionadas à inovação tecnológica, infraestrutura, segurança, comunicação científica e qualificação profissional influenciam diretamente o sucesso dessas plataformas e sua incorporação aos programas de imunização.

Em conclusão, observa-se que a evolução das vacinas de nova geração inaugura uma nova etapa da imunologia aplicada, marcada pela integração entre biotecnologia, bioinformática e medicina de precisão. Embora persistam desafios científicos e sociais, as perspectivas futuras indicam expansão dessas tecnologias para diferentes áreas da saúde,

consolidando a Biomedicina como protagonista no desenvolvimento de imunobiológicos inovadores e na promoção de estratégias preventivas cada vez mais eficazes.

3 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza descritiva e exploratória, desenvolvida por meio de revisão integrativa da literatura. Esse método foi adotado por possibilitar a reunião, organização e análise crítica das evidências científicas relacionadas aos avanços da imunologia e ao desenvolvimento das vacinas de nova geração, permitindo compreender seus mecanismos imunológicos, aplicações biomédicas, limitações e perspectivas futuras.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados SciELO, PubMed/MEDLINE, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Google Scholar, Web of Science e Scopus, complementado por documentos técnicos e institucionais publicados por organizações de reconhecida relevância científica, como a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), o Instituto Butantan e organismos internacionais relacionados à imunização e à pesquisa biomédica. A estratégia de busca utilizou descritores em português e inglês, combinados por operadores booleanos, incluindo os termos: imunologia, vacinas de nova geração, RNA mensageiro, DNA vaccine, viral vectors, recombinant vaccines, immunology, mRNA vaccines, precision medicine e vaccinology.

Foram incluídos artigos científicos, revisões, ensaios clínicos, documentos técnicos e estudos metodológicos publicados entre 2016 e 2026, disponíveis na íntegra e diretamente relacionados ao tema da pesquisa. Priorizou-se a utilização de autores brasileiros e de estudos desenvolvidos em instituições nacionais, recorrendo-se à literatura internacional apenas quando necessária para contemplar tecnologias pioneiras ou evidências científicas amplamente consolidadas.

Como critérios de exclusão, foram desconsiderados trabalhos duplicados, resumos de eventos científicos, dissertações, teses, publicações sem revisão por pares, documentos sem acesso ao texto completo e estudos que não apresentassem relação direta com os objetivos desta revisão. Também foram excluídas pesquisas voltadas exclusivamente ao desenvolvimento experimental de plataformas vacinais sem discussão de seus mecanismos imunológicos ou aplicações biomédicas.

Após a seleção, os estudos foram submetidos às etapas de leitura exploratória, seletiva e analítica. As informações extraídas foram organizadas de acordo com os objetivos da pesquisa, contemplando fundamentos imunológicos, plataformas vacinais, aplicações clínicas, desafios científicos, aspectos éticos e perspectivas futuras. Posteriormente, realizou-se análise qualitativa e interpretativa das evidências, identificando convergências, divergências e lacunas na produção científica.

A síntese das informações permitiu construir uma visão integrada sobre os avanços das vacinas de nova geração, evidenciando sua relevância para a Biomedicina e para a medicina de precisão. Dessa forma, a revisão integrativa possibilitou reunir evidências atualizadas e fundamentadas acerca das transformações promovidas pelas novas plataformas vacinais e de seus impactos na pesquisa, na assistência em saúde e no desenvolvimento tecnológico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da literatura evidenciou que as vacinas de nova geração representam um dos mais importantes avanços da imunologia aplicada nas últimas décadas, promovendo mudanças significativas na prevenção e, mais recentemente, no tratamento de diferentes enfermidades. As evidências científicas demonstram que plataformas como RNA mensageiro (mRNA), DNA plasmidial, vetores virais recombinantes e proteínas recombinantes ampliaram as possibilidades da imunização ao estimular respostas imunológicas mais específicas, flexíveis e adaptáveis às características dos diferentes agentes infecciosos (Pardi et al., 2018; Kallás et al., 2023).

Entre os principais achados identificados na literatura destaca-se o papel das vacinas de mRNA no enfrentamento da pandemia de COVID-19. Os estudos de Polack et al. (2020) e Baden et al. (2021) demonstraram elevada eficácia dessas plataformas na prevenção da doença sintomática e na redução das formas graves da infecção, consolidando o RNA mensageiro como uma tecnologia segura e aplicável em larga escala. Além dos resultados clínicos favoráveis, esses estudos evidenciaram que a rapidez no desenvolvimento e na atualização das vacinas constitui uma importante vantagem frente a patógenos sujeitos a frequentes mutações.

Os resultados também demonstram que a evolução das plataformas vacinais está diretamente relacionada ao aprofundamento dos conhecimentos em imunologia. A compreensão dos mecanismos de ativação da imunidade inata e adaptativa permitiu o

desenvolvimento de imunizantes capazes de induzir respostas humorais e celulares mais eficientes. Nesse contexto, observa-se que a produção de anticorpos neutralizantes, associada à formação de células de memória, permanece como um dos principais indicadores da eficácia imunológica das vacinas modernas, reforçando a importância da integração entre pesquisa básica e desenvolvimento tecnológico (Gazzinelli et al., 2021).

Outro aspecto recorrente nos estudos refere-se à ampliação das aplicações das vacinas além da prevenção de doenças infecciosas. A literatura demonstra crescente desenvolvimento de vacinas terapêuticas voltadas ao tratamento de neoplasias, utilizando antígenos tumorais específicos para estimular respostas imunológicas direcionadas contra células malignas. As pesquisas conduzidas por Sahin e colaboradores evidenciam que a utilização de neo antígenos individualizados inaugura uma nova perspectiva para a imunoterapia personalizada, aproximando a imunologia da medicina de precisão e ampliando o campo de atuação da Biomedicina.

A revisão também evidenciou o papel crescente da bioinformática e da imunoinformática no desenvolvimento de novos imunizantes. Ferramentas computacionais capazes de identificar epítomos imunogênicos, modelar proteínas e prever respostas imunológicas vêm reduzindo significativamente o tempo necessário para seleção de candidatos vacinais. Essa integração entre ciência de dados, biologia molecular e imunologia representa um importante avanço metodológico, permitindo otimizar etapas do desenvolvimento pré-clínico e direcionar pesquisas para antígenos de maior potencial imunogênico.

Apesar dos avanços observados, os estudos convergem ao apontar limitações importantes. A estabilidade de determinadas plataformas vacinais, especialmente aquelas baseadas em RNA mensageiro, ainda impõe desafios relacionados ao armazenamento e à distribuição em regiões com infraestrutura limitada. Além disso, o surgimento contínuo de variantes virais exige atualização periódica de alguns imunizantes, tornando indispensável a manutenção da vigilância epidemiológica e genômica para preservar a efetividade das estratégias de imunização (Pardi et al., 2018).

Outro resultado relevante refere-se aos aspectos sociais relacionados à vacinação. Embora a literatura confirme a elevada segurança e eficácia das vacinas de nova geração, diversos estudos destacam que a hesitação vacinal e a disseminação de desinformação constituem fatores capazes de comprometer a cobertura vacinal e reduzir o impacto das políticas públicas de imunização. Nesse contexto, observa-se consenso quanto à necessidade de fortalecimento da educação em saúde e da divulgação científica baseada em evidências,

favorecendo maior confiança da população nos programas de vacinação (Ciência & Saúde Coletiva, 2022).

No cenário brasileiro, verificou-se importante participação de instituições como a Fundação Oswaldo Cruz e o Instituto Butantan no desenvolvimento, produção e avaliação de imunobiológicos. As iniciativas voltadas à produção nacional de vacinas e ao fortalecimento da infraestrutura científica demonstram que o país possui capacidade técnica para contribuir significativamente com o desenvolvimento de plataformas vacinais inovadoras. Entretanto, os estudos ressaltam que a continuidade desses avanços depende da manutenção dos investimentos em pesquisa, inovação tecnológica e formação de recursos humanos altamente qualificados (Fiocruz, 2023).

De forma geral, as evidências analisadas demonstram que as vacinas de nova geração representam uma evolução consistente da imunização tradicional, combinando avanços em imunologia, biotecnologia e engenharia molecular. Ao mesmo tempo, a literatura reforça que sua consolidação depende da integração entre inovação científica, fortalecimento dos sistemas de saúde e políticas públicas capazes de assegurar acesso equitativo às tecnologias. Sob essa perspectiva, a Biomedicina assume papel estratégico tanto na produção do conhecimento quanto na implementação de soluções voltadas à prevenção, ao controle de doenças e ao desenvolvimento de novas estratégias terapêuticas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão integrativa permitiu analisar as evidências científicas relacionadas aos avanços da imunologia e ao desenvolvimento das vacinas de nova geração, evidenciando que essas plataformas representam uma das mais importantes inovações da Biomedicina contemporânea. Os estudos analisados demonstram que a evolução dos conhecimentos em imunologia, biologia molecular e biotecnologia possibilitou o desenvolvimento de imunizantes mais específicos, seguros e versáteis, ampliando significativamente as possibilidades de prevenção e tratamento de diferentes doenças.

As evidências reunidas confirmam que plataformas como RNA mensageiro, DNA plasmidial, vetores virais recombinantes e proteínas recombinantes vêm modificando o panorama da imunização ao promover respostas humorais e celulares mais eficientes, além de favorecer maior rapidez na adaptação dos imunizantes frente ao surgimento de novos patógenos. Observou-se ainda que essas tecnologias apresentam potencial para aplicações

além das doenças infecciosas, destacando-se seu emprego crescente na imunoterapia oncológica e na medicina personalizada.

Nesse contexto, a hipótese inicialmente proposta foi confirmada, uma vez que os estudos demonstram que as vacinas de nova geração constituem uma evolução significativa em relação às plataformas vacinais convencionais. Contudo, sua consolidação depende da superação de desafios relacionados à produção, estabilidade, logística de distribuição, vigilância de variantes, sustentabilidade econômica e fortalecimento dos mecanismos de monitoramento da segurança pós-comercialização.

Do ponto de vista da Biomedicina, verifica-se que a expansão dessas tecnologias amplia significativamente a atuação do biomédico em áreas como imunologia, biotecnologia, desenvolvimento de imunobiológicos, pesquisa translacional, bioinformática, controle de qualidade, validação laboratorial e farmacovigilância. Esse cenário evidencia a necessidade de formação profissional cada vez mais interdisciplinar, integrando conhecimentos científicos e tecnológicos capazes de acompanhar a rápida evolução das plataformas vacinais.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a predominância de pesquisas internacionais relacionadas às plataformas vacinais mais recentes, especialmente aquelas baseadas em RNA mensageiro e vacinas terapêuticas. Embora a produção científica brasileira tenha apresentado crescimento expressivo nos últimos anos, sobretudo por meio de instituições como a Fundação Oswaldo Cruz e o Instituto Butantan, ainda se observa necessidade de ampliação das pesquisas nacionais voltadas ao desenvolvimento de plataformas vacinais inovadoras e de estudos clínicos de longo prazo.

Conclui-se, portanto, que as vacinas de nova geração representam uma das principais fronteiras da imunologia aplicada e da inovação biomédica, contribuindo para o fortalecimento da medicina de precisão e para a ampliação das estratégias de prevenção e tratamento de diversas enfermidades. A continuidade dos investimentos em pesquisa científica, inovação tecnológica, produção nacional de imunobiológicos e formação de profissionais qualificados será fundamental para consolidar essas plataformas como instrumentos capazes de promover benefícios duradouros à saúde pública e ao desenvolvimento científico.

REFERÊNCIAS

BADEN, Lindsey R. et al. Efficacy and safety of the mRNA-1273 SARS-CoV-2 vaccine. **The New England Journal of Medicine**, Boston, v. 384, n. 5, p. 403-416, 2021.

BONORINO, Cristina. **Imunologia**. Porto Alegre: UFCSPA, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a COVID-19**. Brasília: Ministério da Saúde, 2023.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). **Vacinas de nova geração e plataformas tecnológicas para imunobiológicos**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2023.

GAZZINELLI, Ricardo T. et al. Innate immunity and vaccine development: new perspectives for infectious diseases. **Frontiers in Immunology**, Lausanne, v. 12, 2021.

KALLÁS, Esper Georges et al. Advances in vaccine platforms and future perspectives for infectious diseases. **The Lancet Infectious Diseases**, London, v. 23, n. 9, p. e348-e360, 2023.

KALIL, Jorge. **Imunologia aplicada ao desenvolvimento de vacinas**. São Paulo: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2021.

KARIKÓ, Katalin; WEISSMAN, Drew. Nobel Prize lectures on nucleoside-modified mRNA technology. **Nobel Foundation Publications**, 2023.

PARDI, Norbert et al. mRNA vaccines — a new era in vaccinology. **Nature Reviews Drug Discovery**, London, v. 17, n. 4, p. 261-279, 2018.

POLACK, Fernando P. et al. Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine. **The New England Journal of Medicine**, Boston, v. 383, n. 27, p. 2603-2615, 2020.

SAHIN, Ugur; TÜRECI, Özlem. Personalized vaccines for cancer immunotherapy. **Science**, Washington, DC, v. 379, n. 6634, p. 135-141, 2023.

VOYSEY, Merryn et al. Safety and efficacy of the ChAdOx1 nCoV-19 vaccine against SARS-CoV-2: an interim analysis of four randomized controlled trials. **The Lancet**, London, v. 397, n. 10269, p. 99-111, 2021.