

REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E BIG DATA NA SAÚDE 4.0: PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA O SISTEMA DE SAÚDE PÚBLICA BRASILEIRO

TECHNOLOGICAL REVOLUTION AND BIG DATA IN HEALTH 4.0: PERSPECTIVES AND CHALLENGES FOR THE BRAZILIAN PUBLIC HEALTH SYSTEM

 <https://doi.org/10.63330/armv1n6-011>

Submetido em: 21/08/2025 e Publicado em: 25/08/2025

Matheus Oliveira Quaresma

Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Bacharel em Fisioterapia, com especialização em Saúde Pública e em Transplante e Captação de Órgãos.

E-mail: m.quaresma@unifesp.br

ORCID: orcid.org/0009-0004-0108-440X

RESUMO

A ascensão das tecnologias digitais tem gerado transformações nos sistemas de saúde, impulsionando o conceito de Saúde 4.0 — um novo modelo assistencial que integra Big Data, inteligência artificial, Internet das Coisas Médicas (IoMT) e outras ferramentas digitais. No Brasil, a implementação dessas tecnologias no Sistema Único de Saúde (SUS) representa tanto uma oportunidade quanto um desafio, devido às desigualdades estruturais, limitações de infraestrutura e à falta de capacitação técnica.

Este artigo tem como objetivo revisar a literatura recente sobre os impactos e desafios da integração da Saúde 4.0 no sistema público de saúde brasileiro. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura, com pesquisa nas bases PubMed e IEEE Xplore, utilizando critérios de inclusão e exclusão rigorosos e análise qualitativa.

Os resultados foram organizados em cinco eixos: fundamentos da Saúde 4.0; aplicações do Big Data na saúde pública; tecnologias emergentes; desafios no SUS; e perspectivas futuras. Constatou-se que, embora o avanço tecnológico tenha potencial transformador, sua eficácia depende de governança ética, políticas públicas integradas e fortalecimento da equidade.

Palavras-chave Big Data; Saúde 4.0; Saúde Pública; Sistema Único de Saúde; Transformação Digital em Saúde.

ABSTRACT

The rise of digital technologies has brought about transformations in healthcare systems, driving the concept of Health 4.0—a new care model that integrates Big Data, artificial intelligence, the Internet of Medical Things (IoMT), and other digital tools. In Brazil, the implementation of these technologies in the Unified Health System (SUS) represents both an opportunity and a challenge, due to structural inequalities, infrastructure limitations, and a lack of technical training.

This article aims to review recent literature on the impacts and challenges of integrating Health 4.0 into the Brazilian public health system. A narrative review of the literature was conducted, with research in the PubMed and IEEE Xplore databases, using strict inclusion and exclusion criteria and qualitative analysis.

The results were organized into five areas: fundamentals of Health 4.0; applications of Big Data in public health; emerging technologies; challenges in the SUS; and future prospects. It was found that, although technological advances have transformative potential, their effectiveness depends on ethical governance, integrated public policies, and strengthening equity.

Keywords: Big Data; Health 4.0; Public Health; Unified Health System; Digital Transformation in Health.



1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias digitais tem promovido transformações profundas em diversas áreas da sociedade, alterando modelos produtivos, padrões de consumo e formas de interação social. No campo da saúde, esse movimento culmina no surgimento da chamada Saúde 4.0, um conceito que reflete a incorporação de ferramentas como inteligência artificial, Internet das Coisas, Big Data e computação em nuvem aos sistemas de atenção e gestão em saúde. Mais do que uma simples modernização tecnológica, a Saúde 4.0 representa uma reconfiguração paradigmática da forma como os serviços são concebidos, organizados e prestados, especialmente no que diz respeito à personalização do cuidado, à predição de eventos clínicos e à gestão inteligente dos recursos assistenciais.

Essa transformação, entretanto, impõe uma série de desafios ao Sistema Único de Saúde (SUS), cuja estrutura é marcada por desigualdades regionais, limitações orçamentárias e heterogeneidade nos níveis de informatização. A aplicação dos princípios e ferramentas da Saúde 4.0 no contexto público brasileiro exige não apenas investimentos em infraestrutura tecnológica, mas também uma ampla mobilização institucional para garantir interoperabilidade entre sistemas, formação contínua de profissionais e construção de uma governança ética dos dados. Ao mesmo tempo, o uso intensivo de Big Data em saúde pública revela um imenso potencial para ampliar a vigilância epidemiológica, otimizar processos decisórios e desenvolver políticas públicas mais responsivas, desde que acompanhado por marcos regulatórios robustos e mecanismos de controle social. Nesse cenário, torna-se essencial refletir criticamente sobre as oportunidades e os riscos dessa revolução tecnológica, reconhecendo que a inovação só será efetiva se estiver ancorada em princípios de equidade, universalidade e respeito à autonomia dos sujeitos.

O objetivo deste artigo é revisar a literatura científica recente sobre a aplicação das tecnologias digitais no âmbito da Saúde 4.0, com ênfase nas possibilidades e limitações de sua incorporação ao sistema público brasileiro. Para tanto, serão discutidos os fundamentos conceituais do tema, os impactos do Big Data na saúde coletiva, as principais tecnologias emergentes, os desafios da implementação em contextos desiguais e as perspectivas futuras para o fortalecimento do SUS diante dessa nova era digital.

2 METODOLOGIA

Este estudo adota o delineamento de uma revisão narrativa da literatura, cujo a busca bibliográfica foi conduzida nas bases de dados PubMed e IEEE Xplore, escolhidas por sua relevância e especialização nas áreas da saúde e da tecnologia, respectivamente.

As palavras-chave utilizadas foram selecionadas a partir de termos indexados e descritores amplamente adotados nas referidas áreas, incluindo as versões em português e inglês, bem como suas combinações booleanas: “Saúde 4.0”, “Big Data em Saúde”, “Sistema de Saúde Pública”, “Tecnologias Digitais em Saúde” e “Transformação Digital na Saúde”.



Como critérios de inclusão, foram considerados artigos publicados entre os anos de 2015 e 2025, nos idiomas português e inglês, que abordassem diretamente a aplicação de tecnologias digitais no setor público de saúde, com foco prioritário no contexto brasileiro e em ferramentas como Big Data, Internet das Coisas Médicas (IoMT), inteligência artificial, prontuários eletrônicos e sistemas de suporte à decisão clínica. Também foram valorizadas publicações que discutissem aspectos éticos, operacionais e de implementação da Saúde 4.0 no setor público.

Os critérios de exclusão incluíram estudos cujo foco estivesse restrito à saúde suplementar ou à medicina privada, publicações sem acesso ao texto completo.

O processo de seleção dos estudos envolveu a leitura dos títulos, resumos e, quando necessário, dos textos completos, priorizando-se aqueles com maior aderência ao objetivo do trabalho. A triagem foi realizada manualmente, de forma independente, para garantir o alinhamento temático e a qualidade das informações extraídas.

A análise dos dados coletados seguiu uma abordagem qualitativa e interpretativa, voltada para a identificação de padrões, desafios, inovações e perspectivas no campo da Saúde 4.0 aplicada ao setor público. Os conteúdos foram organizados de forma temática, resultando em cinco grandes eixos analíticos, que correspondem às subseções da fase de desenvolvimento: (i) fundamentos e conceitos da Saúde 4.0; (ii) aplicação do Big Data na saúde pública; (iii) tecnologias emergentes aplicadas ao sistema público; (iv) desafios para a implementação no contexto brasileiro; e (v) oportunidades e perspectivas futuras. Este método permitiu uma visão crítica e integradora, respeitando a complexidade multidisciplinar do tema abordado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 SAÚDE 4.0: CONCEITO E FUNDAMENTOS

Saúde 4.0 é uma expressão que deriva do conceito de "Indústria 4.0", termo que foi cunhado na Alemanha, por volta de 2011, que representa a quarta revolução industrial e se caracteriza pela integração de tecnologias digitais, automação, inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT) e análise massiva de dados em tempo real nos processos produtivos. A partir dessa base conceitual, Saúde 4.0 emerge como um paradigma voltado à transformação digital dos sistemas de saúde, promovendo maior integração entre tecnologias, pessoas e processos, com o objetivo de proporcionar um cuidado mais personalizado, eficiente e acessível.

Segundo Osama et al. (2023), Saúde 4.0 representa a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 ao ambiente da saúde, viabilizando uma medicina mais preditiva, preventiva, personalizada e participativa, com base em dados provenientes de sensores inteligentes, dispositivos vestíveis (também chamados pelo termo em inglês "wearable"), prontuários eletrônicos e sistemas integrados de informação. Esses recursos



são conectados por meio da chamada Internet das Coisas Médicas (IoMT), que permite monitoramento contínuo e remoto de pacientes, suporte a decisões clínicas e intervenções em tempo real.

Mwanza, Telukdarie e Igusa (2023) destacam que, enquanto a Indústria 4.0 visa otimizar processos industriais, a Saúde 4.0 busca melhorar os desfechos clínicos por meio da integração entre sistemas de informação em saúde, tecnologias emergentes e análise de Big Data. Essa abordagem é especialmente promissora em países de baixa e média renda, onde pode ajudar a superar limitações estruturais do sistema de saúde, melhorar a alocação de recursos e ampliar o acesso a serviços essenciais por meio de soluções digitais escaláveis.

No contexto brasileiro, os princípios da Saúde 4.0 dialogam com os valores fundamentais do Sistema Único de Saúde (SUS), como universalidade, equidade e integralidade. O SUS, ao longo de seus mais de 30 anos, já incorporou tecnologias importantes em sua estrutura, como o Programa Nacional de Imunizações e o uso de registros eletrônicos. No entanto, a incorporação efetiva da lógica 4.0 ainda é um desafio, especialmente diante das desigualdades regionais e das barreiras de infraestrutura e conectividade.

O desenvolvimento da Saúde 4.0 também está fortemente vinculado à capacidade de lidar com grandes volumes de dados (Big Data), uma vez que os dados clínicos, epidemiológicos e comportamentais coletados por dispositivos conectados formam a base para sistemas de apoio à decisão clínica, vigilância epidemiológica automatizada e personalização de tratamentos. Como enfatizado por Osama et al. (2023), a combinação entre Big Data, inteligência artificial e computação em nuvem é o alicerce técnico dessa revolução, permitindo que sistemas aprendam com os próprios dados, adaptem-se a novas realidades e antecipem problemas antes que se manifestem clinicamente.

A literatura também destaca a importância de considerar os dilemas éticos emergentes na implementação de tecnologias digitais em saúde. À medida que agentes baseados em inteligência artificial são incorporados ao cuidado clínico, novos desafios éticos surgem, especialmente no que se refere à autonomia dos pacientes, à beneficência e à não maleficência — princípios clássicos da bioética sistematizados por Beauchamp e Childress (1979). Soares et al. (2023) analisam como essas tensões se manifestam em decisões clínicas mediadas por robôs sociais, a exemplo da recusa de um paciente em tomar medicação prescrita. Diante desse tipo de situação, o agente de saúde — humano ou robótico — precisa decidir entre respeitar a escolha do paciente ou agir em nome de seu bem-estar físico, mesmo contra sua vontade. O estudo demonstra que os indivíduos tendem a julgar mais positivamente os agentes que respeitam a autonomia do paciente, atribuindo-lhes maior aceitação moral e calor humano, ainda que percebam como mais competentes e confiáveis os que optam por ações baseadas na beneficência. Esses achados reforçam que, na era da Saúde 4.0, a adoção de tecnologias não pode prescindir de uma sólida reflexão bioética, que considere as complexidades do cuidado, a subjetividade dos pacientes e os limites da atuação automatizada. Portanto, a construção de um ecossistema ético e regulatório torna-se indispensável



para assegurar que o avanço tecnológico na saúde respeite os direitos dos indivíduos e promova um cuidado verdadeiramente centrado na pessoa.

3.2 BIG DATA NA SAÚDE PÚBLICA

O conceito de Big Data tem desempenhado um papel central na transformação digital da saúde pública, ao revolucionar a forma como grandes volumes de dados são coletados, processados e utilizados para apoiar a vigilância epidemiológica, a gestão de recursos e a tomada de decisões clínicas. Esse paradigma é caracterizado pelos chamados 5Vs — volume, velocidade, variedade, veracidade e valor — que expressam os principais atributos dos dados massivos e sua complexidade analítica. O volume refere-se à imensidão de dados gerados diariamente por sistemas de saúde, dispositivos móveis, sensores e redes sociais. A velocidade diz respeito à rapidez com que esses dados são produzidos e precisam ser processados para que mantenham relevância, sobretudo em contextos de resposta rápida a surtos e emergências. A variedade aborda a diversidade de formatos, que inclui dados estruturados (como prontuários eletrônicos), semiestruturados (como formulários online) e não estruturados (como textos livres, imagens médicas e publicações em mídias sociais). Já a veracidade remete à qualidade e confiabilidade das informações, fator crucial na saúde pública, onde decisões imprecisas podem ter consequências graves. Por fim, o valor representa a capacidade desses dados de gerar conhecimento útil, orientar políticas públicas e melhorar os desfechos em saúde. Segundo Andreu-Perez et al. (2015), o Big Data em saúde permite a identificação de padrões e tendências em tempo quase real, superando as limitações das abordagens clínicas tradicionais e possibilitando intervenções mais ágeis, personalizadas e baseadas em evidências.

A diversidade dos dados presentes na saúde pública reflete a complexidade do cenário populacional e a amplitude dos fatores que influenciam a saúde coletiva. Esses dados abrangem, por exemplo, registros clínicos extraídos de prontuários eletrônicos, exames laboratoriais e de exames de imagens, fundamentais para o monitoramento, tanto de um indivíduo, quanto da coletividade de condições de saúde. Associam-se a eles os dados epidemiológicos, provenientes de sistemas de notificação compulsória, que permitem a vigilância de surtos, doenças transmissíveis e tendências populacionais. Também são integrados dados ambientais — como qualidade do ar, temperatura e poluição — que influenciam diretamente a incidência de doenças respiratórias e cardiovasculares. Nos últimos anos, tem ganhado destaque o uso de dados oriundos das chamadas ciências ômicas, um conjunto de disciplinas biomoleculares como genômica, proteômica e metabolômica, que oferecem subsídios à medicina de precisão ao identificar predisposições genéticas e respostas individuais a tratamentos. Além disso, o avanço de dispositivos móveis, sensores vestíveis e o uso massivo das redes sociais introduziram grandes volumes de dados comportamentais e sociais, úteis para compreender hábitos de vida e condições sociais determinantes da saúde. Lin et al. (2018) enfatizam que essas tecnologias — particularmente os sensores e dispositivos móveis — têm se tornado



essenciais para a coleta contínua de dados em tempo real, favorecendo o monitoramento de doenças crônicas e a adoção de estratégias de intervenção precoce no âmbito da saúde pública. Harerimana et al. (2018) ainda alertam que essa multiplicidade de fontes — estruturadas e não estruturadas — impõe desafios significativos à interoperabilidade dos sistemas e à padronização de metadados, exigindo arquiteturas robustas de integração e governança. Ademais, a confiabilidade de dados obtidos por fontes não tradicionais, como mídias sociais, deve ser rigorosamente avaliada, sob risco de comprometer a acurácia das análises e decisões baseadas nessas informações.

A operacionalização do Big Data na saúde pública depende de um ecossistema tecnológico robusto, capaz de lidar com os desafios impostos pelo volume e pela complexidade dos dados (Figura 1). Entre as soluções de infraestrutura, são destacados os sistemas de processamento distribuído, como Hadoop e Apache Spark, que permitem a análise em tempo quase real de grandes conjuntos de dados provenientes de múltiplas fontes. Esses sistemas são frequentemente integrados a ambientes de computação em nuvem, os quais oferecem escalabilidade, flexibilidade e acessibilidade a instituições públicas, muitas vezes limitadas por recursos locais. Bancos de dados NoSQL, por sua vez, são utilizados para armazenar dados não estruturados, como textos livres e imagens médicas, que não se adaptam aos modelos relacionais tradicionais. Para além da infraestrutura, ferramentas analíticas baseadas em machine learning e deep learning têm ganhado espaço na detecção de padrões epidemiológicos, previsão de surtos, identificação de fatores de risco e otimização de recursos. De acordo com Lin et al. (2018), essas abordagens tornam-se ainda mais potentes quando integradas a plataformas de apoio à decisão clínica e vigilância automatizada, contribuindo para estratégias de saúde pública mais responsivas. Complementarmente, sistemas de business intelligence (BI) têm sido utilizados para transformar dados agregados em informações estratégicas, apoiando a formulação de políticas públicas, a identificação de áreas vulneráveis e a avaliação do desempenho de programas e serviços de saúde. Essas tecnologias, no entanto, exigem não apenas conhecimento técnico para sua aplicação, mas também estruturas sólidas de governança e princípios éticos bem definidos para garantir seu uso responsável e seguro. Além das tecnologias, a aplicabilidade do Big Data na saúde pública está intrinsecamente associada à governança de dados, à proteção da privacidade e ao desenvolvimento de infraestrutura adequada. Osama et al. (2023) defendem que é imprescindível estabelecer estruturas regulatórias claras e modelos éticos que assegurem o uso responsável das informações, especialmente em contextos populacionais vulneráveis. A transparência nos processos de coleta e análise dos dados é essencial para promover a confiança da população e garantir que os benefícios do Big Data sejam distribuídos de forma equitativa.



Tabela 1 – Tecnologias aplicadas ao Big Data na Saúde Pública

Tecnologia	Função Principal	Exemplos de uso na Saúde Pública
Hadoop	Processamento paralelo de grandes volumes de dados	Análise de bases de dados epidemiológicos de grande escala
Apache Spark	Análise distribuída em tempo quase real	Detecção rápida de surtos e eventos adversos
NoSQL	Armazenamento de dados não estruturados	Armazenamento de prontuários e imagens médicas
Cloud Computing	Infraestrutura escalável e acessível	Acesso remoto a sistemas de saúde em regiões carentes
Machine Learning	Identificação de padrões e previsão de eventos	Predição de internações hospitalares
Deep Learning	Análise avançada de dados complexos	Detecção de fatores de risco em populações específicas
Business Intelligence (BI)	Transformação de dados em informação estratégica	Avaliação de políticas públicas e mapeamento de áreas críticas

Fonte: Elaboração própria, com base em Andreu-Perez et al. (2015), Harerimana et al. (2018) e Lin et al. (2018).

Portanto, Big Data representa um componente essencial para a evolução da saúde pública rumo a um modelo mais proativo, preditivo e centrado no cidadão. Seu potencial para transformar a vigilância epidemiológica, aprimorar a alocação de recursos e personalizar intervenções em larga escala depende, no entanto, da superação dos desafios relacionados à padronização, interoperabilidade, capacitação técnica e segurança da informação. A consolidação dessa abordagem requer investimentos estruturais e políticas públicas integradas que articulem tecnologia, ética e equidade no uso dos dados em saúde.

3.3 TECNOLOGIAS EMERGENTES APLICADAS À SAÚDE 4.0

A ascensão da Saúde 4.0 se alicerça fortemente em um ecossistema de tecnologias emergentes que, ao serem integradas aos sistemas de saúde pública, oferecem oportunidades significativas para ampliar a eficiência, proporcionar personalização e o alcance dos cuidados em saúde. Dentre tais tecnologias, destacam-se a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT), os Prontuários Eletrônicos com interoperabilidade e a Telemedicina, que são os pilares estruturantes de um novo paradigma assistencial.

A Inteligência Artificial vem sendo utilizada de forma crescente em tarefas como triagem clínica automatizada, diagnóstico auxiliado por algoritmos e suporte à decisão médica. Kishor e Chakraborty (2022) descrevem um modelo de monitoramento baseado em IA e IoT que permite acompanhar condições crônicas e responder em tempo real a mudanças no estado de saúde dos pacientes, aumentando significativamente a efetividade das intervenções, ou seja, sendo mais específico, este modelo propõe a integração de sensores vestíveis e dispositivos biométricos a uma plataforma de análise baseada em aprendizado de máquina, capaz de identificar padrões sutis de deterioração clínica antes mesmo do surgimento de sintomas evidentes. Tais sistemas funcionam como uma espécie de “rede de vigilância digital” da saúde individual, fornecendo alertas automatizados para equipes de saúde em tempo real. O artigo ainda ressalta que, ao associar IA com cloud computing e interfaces móveis, o sistema se torna



escalável para uso em comunidades remotas, possibilitando acompanhamento domiciliar de pacientes com doenças como diabetes, hipertensão e insuficiência cardíaca. Assim, a IA transcende o papel de ferramenta diagnóstica para se consolidar como peça central em modelos de cuidado preventivo e personalizado (Figura 2).

Além disso, segundo Vasquez et al. (2023), a IA tem potencial para atenuar a sobrecarga dos profissionais ao assumir tarefas repetitivas e técnicas, como a análise de exames por imagem. Em tempos de escassez de recursos humanos na saúde pública, essa automação representa um ganho não apenas em eficiência, mas também em segurança clínica e padronização de condutas.

A Internet das Coisas Médicas (IoMT) é outro componente essencial da Saúde 4.0. Por meio da conectividade entre sensores, dispositivos vestíveis e plataformas analíticas, a IoMT permite o monitoramento contínuo de parâmetros fisiológicos e comportamentais dos pacientes. Osama et al. (2023) ressaltam que, ao integrar tecnologias como computação em nuvem, edge computing e redes 5G, a IoMT viabiliza desde a coleta de sinais vitais até a realização de cirurgias remotas e acompanhamento em regiões remotas, promovendo um modelo de cuidado proativo e personalizado.

No tocante ao Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP), destaca-se seu papel central na organização, padronização e compartilhamento seguro das informações clínicas. Conforme apontado por Vassolo et al. (2021), a interoperabilidade entre plataformas de PEP ainda representa um desafio crítico, especialmente em países em desenvolvimento, onde coexistem sistemas heterogêneos e pouco integrados. A adoção de padrões técnicos comuns e o incentivo a investimentos públicos em tecnologias abertas podem contribuir para superar essas barreiras. Além disso, os PEPs possuem um potencial ainda pouco explorado como fontes de dados clínicos em larga escala, os quais, quando anonimizados e integrados a sistemas analíticos avançados, podem fornecer insumos valiosos para políticas públicas baseadas em evidências, vigilância epidemiológica e modelagem preditiva em saúde populacional.

Por fim, a Telemedicina e a Saúde Digital consolidaram-se como vertentes indispensáveis durante e após a pandemia de COVID-19. Além de viabilizarem atendimentos à distância, essas ferramentas ampliam o acesso a especialistas, reduzem barreiras geográficas e otimizam recursos hospitalares. Segundo Osama et al. (2023), a consolidação da saúde digital exige, além de infraestrutura tecnológica, capacitação dos profissionais, revisão de marcos regulatórios e mecanismos de proteção da privacidade dos dados dos pacientes.

Portanto, as tecnologias emergentes aplicadas à Saúde 4.0 apontam para um modelo de cuidado mais integrado, preditivo e centrado no cidadão. A efetiva incorporação dessas inovações no setor público, no entanto, exige esforços coordenados entre gestores, desenvolvedores, profissionais da saúde e sociedade civil, assegurando que os benefícios da transformação digital sejam distribuídos de maneira justa e sustentável. Ainda assim, a concretização desse potencial enfrenta obstáculos relevantes, relacionados não



apenas à infraestrutura tecnológica e à qualificação dos profissionais, mas também à equidade no acesso, à segurança dos dados e à formulação de políticas públicas que sustentem essa transformação. Tais questões serão discutidas na seção seguinte, à luz dos principais desafios da implementação da Saúde 4.0 no contexto do sistema público brasileiro.

3.4 DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO NO SISTEMA PÚBLICO BRASILEIRO

Para além da injeção de mais investimentos em infraestrutura e políticas públicas, a implementação da Saúde 4.0 no sistema público brasileiro exige um profundo processo de transformação cultural, profissional e ética dentro das instituições de saúde. À medida que tecnologias avançadas se tornam componentes centrais da prestação de cuidados, a necessidade de capacitação técnica dos profissionais emerge como um dos pilares fundamentais para o sucesso da adoção, implantação e uso desses sistemas. Entretanto, apesar do reconhecimento generalizado sobre importância destas qualificações, diversos estudos apontam lacunas significativas nas competências profissionais atualmente disponíveis, especialmente no que diz respeito ao domínio de ferramentas digitais, metodologias de análise de dados e sistemas interconectados de informação em saúde (JOSE et al., 2023).

A escassez de habilidades técnicas e metodológicas, particularmente para lidar com dispositivos inteligentes, plataformas de Internet das Coisas médicas (IoMT) e sistemas de apoio à decisão clínica baseados em inteligência artificial, compromete diretamente a eficiência e a segurança dos processos assistenciais. Ademais, observa-se que tais deficiências não se restringem ao nível operacional, mas também afetam a capacidade de lideranças institucionais em promover a transformação digital com uma visão estratégica integrada (SONY et al., 2023). Soma-se a isso a resistência à mudança por parte dos profissionais da saúde, especialmente médicos e enfermeiros com larga experiência clínica, que frequentemente expressam receios sobre a perda de autonomia ou sobre a complexidade das novas tecnologias. Essa resistência, muitas vezes, é acentuada pela ausência de um ambiente organizacional propício à inovação e pela falta de incentivos estruturados para a adoção de novas práticas.

Além dos desafios humanos, o avanço da digitalização em saúde levanta importantes preocupações relativas à privacidade e à segurança da informação. A crescente coleta, armazenamento e compartilhamento de dados sensíveis requer uma governança robusta, pautada por princípios éticos claros e por um arcabouço normativo que assegure os direitos dos cidadãos. O uso de sistemas baseados em big data e aprendizado profundo, por exemplo, amplia as possibilidades de personalização do cuidado, mas também potencializa os riscos de violação de confidencialidade e uso indevido de dados (YANG; CHEN, 2019) e no Brasil, tal debate se insere no contexto da Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018), que estabelece diretrizes para o tratamento de informações pessoais sensíveis no setor de saúde. Neste contexto, torna-se fundamental garantir o cumprimento da lei e dos protocolos de segurança cibernética,



além de estabelecer processos transparentes e mecanismos de consentimento livre, esclarecido e sob controle dos próprios pacientes.

Essas preocupações com a proteção de dados ganham contornos ainda mais complexos quando se trata da coleta e uso de dados genômicos e materiais biológicos em larga escala. A discussão ética que circunda a implementação da Saúde 4.0 é especialmente sensível no que tange à coleta de material biológico e dados genômicos, como ocorre nos biobancos. A literatura destaca a importância de assegurar que os processos de coleta, armazenamento e uso de amostras estejam alinhados a modelos de consentimento informados, dinâmicos e respeitosos da autonomia dos participantes (COPPOLA et al., 2019). Esses mecanismos éticos devem ser acompanhados por uma supervisão institucional contínua, que assegure a equidade de acesso aos benefícios da pesquisa e evite a exploração indevida de populações vulneráveis.

Em síntese, a transformação digital na saúde pública brasileira, mais do que a superação de barreiras técnicas e estruturais, requer o enfrentamento de desafios relacionados à qualificação profissional, à gestão da mudança organizacional, à proteção de dados sensíveis e ao fortalecimento dos princípios bioéticos. A consolidação da Saúde 4.0 dependerá, em grande medida, da capacidade do sistema de saúde pública em articular a inovação tecnológica com uma cultura institucional comprometida com a equidade, a transparência e a valorização humana.

3.5 OPORTUNIDADES E PERSPECTIVAS FUTURAS

As transformações promovidas pela Saúde 4.0 apontam para um novo paradigma assistencial, baseado em dados, em interconectividade e em inteligência artificial, cujos desdobramentos podem fortalecer os princípios do Sistema Único de Saúde (SUS) tornando-o mais responsivo, equitativo e eficiente. Segundo Mwanza, Telukdarie e Igusa (2023), a aplicação da lógica 4.0 em sistemas públicos de países em desenvolvimento pode ser estratégica para ampliar o acesso aos serviços, otimizar recursos e melhorar desfechos em saúde, desde que haja planejamento adequado e políticas públicas articuladas. Entretanto, como mencionado anteriormente, essa projeção não ignora os desafios: depende da construção de políticas públicas integradas e da disposição coletiva para transformar o modo como o cuidado é concebido, implementado e sustentado.

A modernização do SUS por meio de tecnologias digitais representa uma oportunidade ímpar para superar fragilidades históricas do sistema. Incorporando soluções baseadas em big data, inteligência artificial e dispositivos conectados pode-se ampliar o acesso, qualificar o uso de recursos e apoiar decisões clínicas em tempo real, inclusive em áreas distantes dos grandes centros urbanos. Para isso, requer-se investimento contínuo em infraestrutura digital, interoperabilidade entre sistemas e reconfiguração dos modelos assistenciais com base na análise de dados.



Um ecossistema de inovação em saúde pública requer a articulação entre diferentes atores para a sua construção, tais como: governo, universidades, centros de pesquisa, startups, sociedade civil e setor privado. Essa integração pode viabilizar soluções mais contextualizadas às necessidades do SUS, por meio de parcerias público-privadas, laboratórios vivos, programas de aceleração e sandboxes regulatórios, ambientes controlados de experimentação supervisionada por órgãos reguladores. Além disso, incentivos fiscais, editais temáticos e marcos legais que estimulem a pesquisa aplicada são elementos fundamentais para fomentar a produção tecnológica voltada ao interesse público (JOHNSON et al., 2021).

Outro aspecto promissor diz respeito à formação e capacitação de profissionais da saúde e da tecnologia. A complexidade dos sistemas de saúde digitais exige um novo perfil profissional: interdisciplinar, híbrido e capacitado para lidar com tecnologias emergentes, sem perder de vista os valores humanísticos do cuidado. O investimento em currículos integrados, educação permanente e estratégias de letramento digital é fundamental para garantir a efetiva adoção das inovações e reduzir resistências institucionais (JOSE et al., 2023).

A governança da Saúde 4.0 deve ser guiada por princípios éticos, equitativos e inclusivos. A implementação de sistemas automatizados, algoritmos de decisão clínica e coleta massiva de dados populacionais levanta questões relevantes sobre privacidade, transparência, justiça algorítmica e autonomia dos indivíduos. Para tanto, torna-se urgente a consolidação de estruturas regulatórias robustas e a participação da sociedade civil na definição das diretrizes sobre o uso das tecnologias digitais em saúde (YANG; CHEN, 2019; PASNERNAK, 2018).

Nesse horizonte de transformações contínuas, surge ainda um outro conceito, o de Saúde 5.0, que por sua vez, propõe uma integração ainda mais profunda entre as soluções digitais e os valores humanísticos, tendo por foco o cuidado centrado na pessoa, a empatia e o bem-estar coletivo. Esta abordagem, ainda em seu início de construção, irá compor a próxima fase da transformação digital da saúde, agregando intimamente elementos da medicina personalizada, da inteligência emocional artificial e da responsabilidade social na formulação de políticas públicas. Cabe ao Brasil decidir se será protagonista ou espectador desta nova era da saúde — uma escolha que exigirá visão estratégica, compromisso político e vontade de inovar com equidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Incorporar tecnologias digitais na Saúde Pública brasileira, representa o advento da Saúde 4.0, não resumido a uma modernização técnica, mas sim tratando-se de uma reestruturação profunda do modo como se concebem, organizam e entregam os cuidados em saúde. Essa transformação carrega consigo não apenas promessas de eficiência e personalização, mas também exigências éticas, políticas e sociais que precisam ser enfrentadas com coragem e responsabilidade.



Ao longo desta revisão, identificou-se que ferramentas como Big Data, inteligência artificial, Internet das Coisas Médicas e sistemas interoperáveis são fundamentais para impulsionar um cuidado mais integrado, responsivo e centrado no cidadão. No entanto, seu potencial só será plenamente alcançado se estiver atrelado a uma agenda de equidade, que reconheça e enfrente as profundas desigualdades estruturais do Brasil. O futuro da saúde pública depende da capacidade de identificar prioridades locais e aplicar soluções tecnológicas de forma situada, com atenção às realidades sociais e territoriais do país.

Nesse cenário, cabe ao Estado brasileiro o papel de protagonista nesta transformação, atuando como articulador de políticas públicas integradas, promovendo a formação profissional e garantindo justiça social. Como dito, não se trata apenas de inserir novas tecnologias nos serviços de saúde e sim de construir um ecossistema que valorize a vida humana, a transparência institucional e o respeito aos direitos individuais. A sociedade civil, por sua vez, deve ser agente ativa na formulação de diretrizes e no controle social sobre o uso dos dados, garantindo que o avanço digital se dê com base em consensos públicos e marcos regulatórios robustos. A direção a ser seguida dependerá das escolhas feitas agora, escolhas essas que exigem visão estratégica, compromisso intersetorial e a convicção de que o cuidado em saúde deve ser, antes de tudo, humano.



REFERÊNCIAS

- ANDREU-PEREZ, Javier et al. Big data for health. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 19, n. 4, p. 1193–1208, 2015.
- BEAUCHAMP, Tom L.; CHILDRESS, James F. Principles of biomedical ethics. *New York: Oxford University Press*, 1979.
- BRANDT, Allan M. Pandemics and public health history. *American Journal of Public Health*, v. 111, n. 3, p. 409–410, 2021.
- COPPOLA, L. et al. Biobanking in health care: evolution and future directions. *Journal of Translational Medicine*, v. 17, n. 1, p. 172, 2019.
- DUARTE, Elisete; EBLE, Laeticia Jensen; GARCIA, Leila Posenato. 30 anos do Sistema Único de Saúde. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 27, n. 1, 2018.
- HARERIMANA, Gaspard et al. Health big data analytics: a technology survey. *IEEE Access*, v. 6, p. 65661–65678, 2018.
- JIANG, Fei et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*, v. 2, n. 4, p. 230-243, 2017.
- JOHNSON, Kevin B. et al. Precision Medicine, AI, and the Future of Personalized Health Care. *Clinical and Translational Science*, v. 14, p. 86–93, 2021.
- JOSE, A. et al. Professional competence and its effect on the implementation of Healthcare 4.0 technologies: scoping review and future research directions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 1, p. 478, 2023.
- KISHOR, A.; CHAKRABORTY, C. Artificial Intelligence and Internet of Things Based Healthcare 4.0 Monitoring System. *Wireless Personal Communications*, v. 127(3), p.1615–1631, 2022.
- LIN, RongHeng et al. Chronic diseases and health monitoring big data: a survey. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 2018.
- MIOTTO, B. A. et al. Physician's sociodemographic profile and distribution across public and private health care: an insight into physicians' dual practice in Brazil. *BMC Health Services Research*, v. 18, n. 1, p. 299, 2018.
- MWANZA, Joseph; TELUKDARIE, Arnesh; IGUSA, Tak. Impact of Industry 4.0 on healthcare systems of low- and middle-income countries: a systematic review. *Health and Technology*, v. 13, p. 35–52, 2023.
- OSAMA, M. et al. Internet of Medical Things and Healthcare 4.0: Trends, Requirements, Challenges, and Research Directions. *Sensors*, v. 23(17), p. 7435, 2023.
- PASNERNAK, Jacyr. What is the future of the Brazilian Public Health System? *Einstein (São Paulo)*, v. 16, n. 4, 2018.

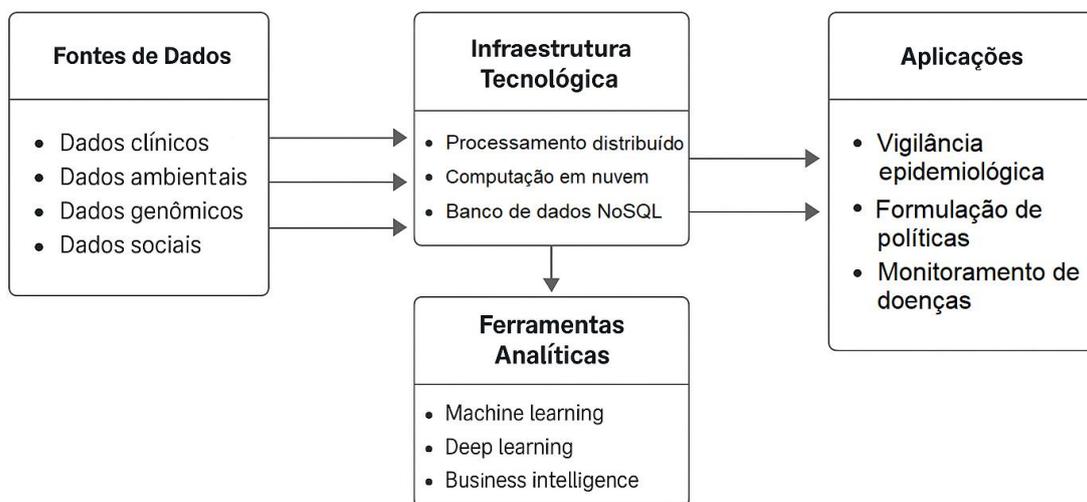


- RIBEIRO, M. M. et al. ICT usage in contexts of regional inequalities. In: Proceedings of the 13th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, ICEGOV 2020, p. 231–235, 2020.
- SILVA, B. et al. Dual use of public and private health care services in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 3, p. 1829, 2022.
- SOARES, Antonio et al. Ethics 4.0: Ethical dilemmas in healthcare mediated by social robots. *International Journal of Social Robotics*, v. 15, p. 807–823, 2023.
- SONY, M.; ANTONY, J.; TORTORELLA, G. L. Critical success factors for successful implementation of Healthcare 4.0: a literature review and future research agenda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 5, p. 4669, 2023.
- VASQUEZ, B. A. et al. Technological machines and artificial intelligence in nursing practice. *Nursing & Health Sciences*, v. 25(3), p. 474–481, 2023
- VASSOLO, R. S. et al. Hospital Investment Decisions in Healthcare 4.0 Technologies: Scoping Review and Framework for Exploring Challenges, Trends, and Research Directions. *Journal of Medical Internet Research*, v. 23(8), 2021
- YAN, W. et al. Association between inequalities in human resources for health and all-cause and cause-specific mortality in 172 countries and territories. *The Lancet*, v. 402, n. 10397, p. 1995–2006, 2023.
- YANG, H.; CHEN, Y. Analysis and visualization implementation of medical big data resource sharing mechanism based on deep learning. *Journal of Healthcare Engineering*, v.7, p. 156077-156088, 2019.



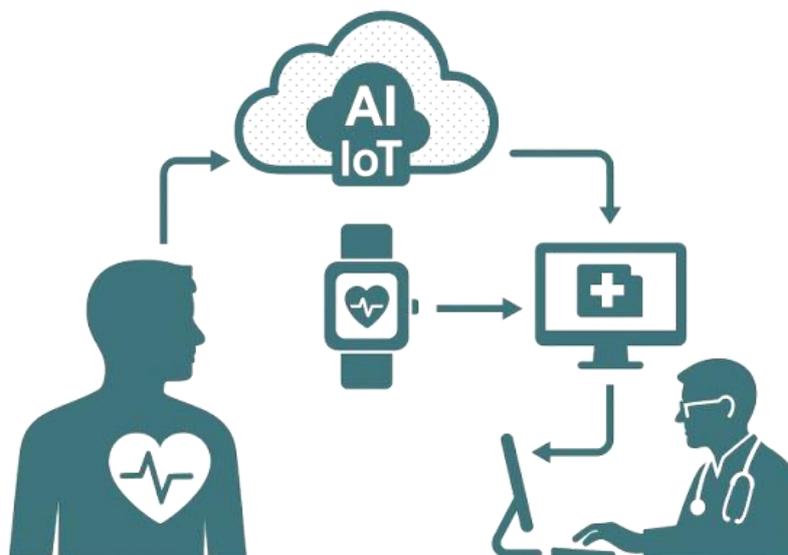
ANEXOS

Figura 1 – Ecossistema de Big Data na Saúde Pública



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 – Modelo ilustrativo de sistema de monitoramento remoto, como descrito por Kishor e Chakraborty



Fonte: Elaboração própria.