

Pesquisa Multidisciplinar EM SAÚDE

EDIÇÃO XXII

Capítulo 56

VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA PREDITIVA NA SAÚDE COLETIVA: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ANTECIPAÇÃO DE EPIDEMIAS

GERSON PEDROSO DE OLIVEIRA¹
ALEXANDRE MASLINKIEWICZ²
ALISSONMEDES FERNANDES FELISMINO³
IVAN ALCÂNTARA BRITO⁴
FERNANDO DA SILVA OLIVEIRA⁵
JAIRLA SOUSA MARCELINO⁶
TÂNIA GONÇALVES VITAL⁷
TAMIRES RAFAELA DE LIMA XAVIER⁸

GLEYDSON FABRICIO DE FREITAS MENEZES⁹
WAGNER CHARLES SOARES DE BARROS¹⁰
ANTONIO HENRIQUE OLIVEIRA DA SILVA¹¹
GABRIEL DA SILVA¹²
LIVIA DONATO DE MOURA¹³
FRANCISCO ANTONIO BEZERRA NOBRE¹⁴
JOSÉ GARCIA DE SOUSA¹⁵
INGRIDY TAYANE GONÇALVES PIRES FERNANDES¹⁶

¹Mestrando em Saúde Coletiva pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

²Especialista em Epidemiologia e Vigilância em Saúde pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

³Médico, graduado em Medicina pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em 2018. Especialista em Medicina do Trabalho, Atenção Primária à Saúde e Cuidados Paliativos em Saúde.

⁴Enfermeiro, Especialista em Epidemiologia pelo Centro Universitário INTA.

⁵Mestrando em Saúde e Tecnologia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

⁶Mestranda em Enfermagem pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

⁷Enfermeira, Especialista em Saúde Estética Avançada pelo Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFIP).

⁸Especialista em Farmacologia Clínica pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER).

⁹Enfermeiro, Especialista em Urgência e Emergência pela Universidade Estadual do Ceará (UECE).

¹⁰Psicólogo, Mestre em Filosofia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT).

¹¹Especialista em Enfermagem em Infectologia pelo Centro Universitário Estácio de Sá (ESTÁCIO).

¹²Graduando em Psicologia pela Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar).

¹³Biomédica Especialista pelo Centro Universitário Católica de Quixadá (UNICATÓLICA).

¹⁴Enfermeiro, Especialista em Saúde Pública e Saúde da Família pelo Centro Universitário INTA (UNINTA) e Especialista em Vigilância em Saúde pela Faculdade Holística (FAHOL).

¹⁵Especialista em Farmácia Clínica e Cuidados Farmacêuticos pela Escola Superior da Amazônia (ESAMAZ).

¹⁶Mestre em Políticas Públicas pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC).

Palavras-chave: *Inteligência Artificial; Vigilância Epidemiológica; Saúde Pública.*

DOI

10.59290/5069620140

EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

A vigilância epidemiológica constitui um dos principais instrumentos da Saúde Coletiva para identificação, monitoramento e resposta aos eventos capazes de produzir impactos sobre a saúde das populações. Tradicionalmente, suas ações estão associadas à coleta, análise, interpretação e disseminação sistemática de informações relacionadas à ocorrência de doenças e agravos. Entretanto, a crescente velocidade de disseminação de agentes infecciosos, a mobilidade populacional, as mudanças ambientais e climáticas e a disponibilidade de grandes volumes de dados têm produzido novos desafios para os sistemas convencionais de vigilância. Nesse cenário, a incorporação de técnicas de inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (*machine learning*) e análise preditiva apresenta-se como possibilidade de ampliar a capacidade dos sistemas de saúde para reconhecer padrões epidemiológicos e antecipar situações de risco (CHEAH *et al.*, 2025; VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

A inteligência artificial pode contribuir para a vigilância epidemiológica ao processar simultaneamente diferentes tipos de informações, incluindo registros de casos, dados meteorológicos, características socioeconômicas, informações geográficas, mobilidade populacional, dados de águas residuais e conteúdos provenientes de fontes digitais. Essa capacidade é particularmente relevante porque a ocorrência de epidemias resulta da interação entre múltiplos determinantes, tornando complexa a identificação de padrões por métodos tradicionais isolados. Liu *et al.* (2025), em revisão dedicada à previsão de risco de doenças infecciosas, destacam que modelos de aprendizado de máquina podem ser empregados para caracterizar padrões de transmissão e estimar riscos em diferentes fases da propagação de doenças. De

forma complementar, Villanueva-Miranda *et al.* (2025) evidenciam que sistemas de alerta precoce podem integrar diferentes técnicas de IA e múltiplas fontes de dados para ampliar a capacidade de detecção e previsão de eventos epidemiológicos.

A utilização de modelos preditivos representa, portanto, uma mudança de perspectiva na vigilância epidemiológica: em vez de concentrar-se exclusivamente na identificação de eventos já ocorridos, os sistemas passam a incorporar mecanismos capazes de estimar cenários futuros. Essa abordagem pode auxiliar gestores e profissionais de saúde na preparação de recursos, organização dos serviços, definição de estratégias de prevenção e priorização territorial das ações. Zhang *et al.* (2024), por exemplo, desenvolveram uma ferramenta de previsão de risco de surtos utilizando dados de 43 doenças em 206 países e diferentes modelos de aprendizado de máquina, demonstrando a possibilidade de construção de sistemas com aplicação em diferentes doenças e contextos geográficos. De modo semelhante, Abdallah *et al.* (2024) demonstraram a aplicação da combinação entre o método de processo hierárquico analítico (AHP) e técnicas de *transfer learning* para aprimorar modelos de aprendizado de máquina voltados à previsão de surtos de doenças infecciosas.

No contexto brasileiro, essa perspectiva apresenta especial relevância devido à ocorrência de doenças infecciosas e arboviroses influenciadas por fatores climáticos, ambientais, territoriais e socioeconômicos. Roster *et al.* (2022) utilizaram variáveis epidemiológicas e meteorológicas para desenvolver modelos capazes de prever casos mensais de dengue em cidades brasileiras com antecedência de um mês. Os resultados demonstraram a utilidade de modelos de aprendizado de máquina, particularmente modelos baseados em conjuntos de árvores de

decisão, para apoiar a previsão de casos de dengue em diferentes cidades brasileiras (ROSTER *et al.*, 2022).

Outra experiência brasileira foi apresentada por Silva *et al.* (2024), que utilizaram dados de notificações de hospitalizações por síndrome respiratória aguda grave no Brasil para desenvolver modelos preditivos baseados em redes neurais. O estudo evidencia que informações provenientes dos próprios sistemas de vigilância podem ser utilizadas para gerar modelos capazes de antecipar períodos de maior ocorrência e auxiliar no planejamento da rede assistencial (SILVA *et al.*, 2024). Esses achados reforçam o potencial da inteligência artificial para transformar dados produzidos rotineiramente pelos sistemas de saúde em informações preditivas úteis à tomada de decisão.

A capacidade preditiva também pode ser ampliada pela integração de informações provenientes de diferentes localidades. Lober *et al.* (2024) investigaram a utilização de dados socioeconômicos e geográficos de cidades relacionadas para prever a ocorrência de doenças infecciosas em municípios brasileiros. O modelo foi empregado para realizar previsões com uma semana de antecedência e demonstrou que a incorporação de informações de cidades geograficamente próximas poderia melhorar as previsões para determinadas doenças, incluindo COVID-19 e Zika. Essa abordagem evidencia a importância da dimensão territorial e das relações entre diferentes municípios na construção de modelos de vigilância epidemiológica preditiva.

Além dos registros epidemiológicos tradicionais, novas fontes de informação podem contribuir para sistemas de alerta precoce. Fu *et al.* (2024) combinaram vigilância de águas residuais e aprendizado de máquina para estimar trajetórias epidêmicas de SARS-CoV-2 e influ-

enza A. Os autores identificaram que a vigilância de águas residuais apresentou antecedência em relação aos dados clínicos, indicando o potencial dessa estratégia como componente complementar dos sistemas de vigilância respiratória (FU *et al.*, 2024). A integração entre dados ambientais e modelos de aprendizado de máquina amplia, assim, as possibilidades de monitoramento epidemiológico e de identificação antecipada de alterações na circulação de agentes infecciosos.

De maneira semelhante, sistemas baseados em inteligência artificial podem utilizar dados de fontes abertas para identificar sinais epidemiológicos antes de sua confirmação pelos sistemas oficiais. Quigley *et al.* (2025), ao analisarem o EPIWATCH, destacaram a utilização de IA para identificar sinais precoces de possíveis surtos a partir de informações disponíveis publicamente. Essa abordagem amplia o conceito de inteligência epidemiológica ao incorporar fontes complementares aos sistemas tradicionais de notificação e demonstra como ferramentas automatizadas podem contribuir para o reconhecimento precoce de eventos potencialmente relevantes para a saúde pública.

A literatura recente também demonstra que a aplicação da IA na vigilância epidemiológica não deve ser compreendida apenas como uma questão tecnológica. Villanueva-Miranda *et al.* (2025), em revisão sistemática sobre sistemas de alerta precoce para doenças infecciosas, identificaram a utilização de aprendizado de máquina, aprendizado profundo e processamento de linguagem natural, frequentemente combinados com dados epidemiológicos, climáticos, provenientes da internet e de águas residuais. Entretanto, os autores também apontam desafios relacionados à qualidade dos dados, vieses, transparência dos modelos, integração aos sistemas existentes, privacidade e equidade (VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025). Tais

aspectos são fundamentais para que a adoção dessas tecnologias ocorra de maneira segura, ética e alinhada aos princípios da Saúde Coletiva.

Nesse sentido, a utilização de IA na vigilância epidemiológica deve ser acompanhada por mecanismos de validação, supervisão humana, governança de dados e avaliação contínua do desempenho dos modelos. Cheah *et al.* (2025) destacam que a expansão da IA e do aprendizado de máquina na vigilância de doenças infecciosas está relacionada à crescente disponibilidade de grandes conjuntos de dados e ao desenvolvimento de métodos capazes de analisar informações clínicas, epidemiológicas e moleculares complexas. Os autores ressaltam, ainda, que essas tecnologias possuem aplicações que abrangem não apenas a vigilância, mas também o diagnóstico e o prognóstico das doenças infecciosas (CHEAH *et al.*, 2025). Liu *et al.* (2025) também destacam a expansão dos modelos de aprendizado de máquina para previsão de risco, reforçando a necessidade de avaliação criteriosa de sua capacidade preditiva em diferentes cenários epidemiológicos.

Além disso, a construção de modelos preditivos robustos depende da seleção adequada de variáveis, da qualidade das bases de dados e da capacidade de adaptação dos algoritmos a diferentes contextos epidemiológicos. Abdallah *et al.* (2024) demonstraram que estratégias como AHP e *transfer learning* podem contribuir para o aprimoramento dos modelos de previsão de surtos, enquanto Zhang *et al.* (2024) evidenciaram a possibilidade de desenvolver ferramentas de previsão de risco aplicáveis a múltiplas doenças e países. Essas experiências reforçam a perspectiva de que a inteligência artificial pode atuar como instrumento complementar aos sistemas tradicionais de vigilância, desde que seus resultados sejam submetidos à interpretação e validação por profissionais e gestores de saúde.

Diante desse cenário, este capítulo tem como objetivo analisar as contribuições da inteligência artificial para a vigilância epidemiológica preditiva na Saúde Coletiva, enfatizando sua aplicação na antecipação de epidemias, na previsão de riscos e no fortalecimento dos sistemas de alerta precoce, bem como discutindo os desafios metodológicos, tecnológicos, éticos e profissionais associados à sua implementação.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, desenvolvida com o objetivo de reunir, analisar e sintetizar evidências científicas acerca da utilização da inteligência artificial (IA) na vigilância epidemiológica preditiva, especialmente no que se refere à antecipação de surtos e epidemias e ao fortalecimento da capacidade de resposta em Saúde Coletiva. A escolha desse método justifica-se por possibilitar a integração de diferentes abordagens metodológicas e a sistematização dos conhecimentos disponíveis sobre determinado fenômeno, contribuindo para a identificação de avanços, aplicações, limitações e lacunas existentes na produção científica.

O desenvolvimento metodológico foi fundamentado nas etapas propostas por Mendes *et al.* (2008), compreendendo a identificação do tema, a elaboração da questão norteadora, o estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão, a definição das fontes de informação, a realização da busca bibliográfica, a seleção dos estudos, a extração e organização dos dados, a avaliação das evidências, a interpretação dos resultados e a síntese do conhecimento produzido. Para conferir maior transparência e organização à descrição do processo de identificação e seleção dos estudos, também foram con-

sideradas as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. A formulação da questão norteadora foi realizada mediante a utilização da estratégia PICO, composta pelos ele-

mentos P (*Population*), I (*Interest*) e Co (*Context*). Essa estratégia possibilitou delimitar o foco da revisão e orientar a seleção dos descritores e termos utilizados na busca bibliográfica (**Quadro 56.1**).

Quadro 56.1 Estratégia PICO utilizada para elaboração da questão norteadora

Elemento	Descrição
P– <i>Population</i>	Populações e sistemas de saúde submetidos à vigilância epidemiológica de doenças infecciosas e eventos epidêmicos.
I – <i>Interest</i>	Utilização de inteligência artificial, aprendizado de máquina, aprendizado profundo, análise preditiva e sistemas de alerta precoce.
Co - <i>Context</i>	Vigilância epidemiológica e Saúde Coletiva, com ênfase na previsão e antecipação de epidemias e surtos.

A partir da estratégia PICO, foi estabelecida como questão norteadora da revisão: Quais são as evidências científicas acerca da utilização da inteligência artificial na vigilância epidemiológica e de que forma as tecnologias preditivas contribuem para a antecipação de epidemias e o fortalecimento da resposta em Saúde Coletiva?

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scopus, *Web of Science*, Embase, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). A seleção dessas fontes considerou sua relevância para a área da saúde, epidemiologia, Saúde Coletiva, ciência de dados e inteligência artificial, buscando ampliar a abrangência da literatura identificada. Adicionalmente, foram consultadas as listas de referências dos estudos selecionados, com o propósito de identificar publicações potencialmente relevantes que não fossem recuperadas diretamente pelas estratégias de busca utilizadas nas bases de dados.

A estratégia de busca foi estruturada a partir de descritores e palavras-chave relacionados aos conceitos de inteligência artificial, aprendizado de máquina, vigilância epidemiológica, previsão de doenças, surtos, epidemias e sistemas de alerta precoce. Foram utilizados termos

controlados provenientes dos vocabulários *Medical Subject Headings* (MeSH) e Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), complementados, quando necessário, por termos livres relacionados à temática.

Entre os principais termos empregados na estratégia de busca, destacaram-se: “*Artificial Intelligence*”; “*Machine Learning*”; “*Deep Learning*”; “*Epidemiological Surveillance*”; “*Public Health Surveillance*”; “*Disease Outbreaks*”; “*Early Warning Systems*”; “*Disease Prediction*” e “*Infectious Diseases*”. Esses termos foram combinados por meio dos operadores booleanos *AND* e *OR*, considerando as particularidades e os mecanismos de indexação de cada base de dados. A combinação dos descritores teve como finalidade ampliar a sensibilidade da busca sem comprometer sua especificidade, permitindo a recuperação de estudos relacionados à aplicação de métodos computacionais e preditivos na vigilância epidemiológica.

Foram priorizadas publicações científicas produzidas no período de 2022 a 2026, considerando a rápida evolução das ferramentas de inteligência artificial, dos métodos de aprendizado de máquina e das estratégias de vigilância epidemiológica digital. Foram incluídas artigos científicos, estudos observacionais, estudos metodológicos, revisões sistemáticas, revisões

de escopo, estudos de modelagem preditiva e pesquisas que apresentassem aplicações de inteligência artificial relacionadas à vigilância, previsão ou antecipação de doenças, surtos e epidemias.

Também foram consideradas publicações disponíveis nos idiomas português, inglês ou espanhol, desde que apresentassem relação direta com a questão norteadora e contribuíssem para a compreensão da aplicação da inteligência artificial na vigilância epidemiológica preditiva ou na antecipação de eventos de interesse para a Saúde Coletiva.

Foram excluídos estudos duplicados entre as bases de dados, editoriais, cartas ao editor, comentários, resumos sem acesso ao texto completo e publicações que não apresentassem relação direta com a temática investigada. Também foram excluídos trabalhos cuja abordagem estivesse restrita ao desenvolvimento de ferramentas de inteligência artificial sem aplicação ou relação clara com a vigilância epidemiológica, previsão de doenças, identificação de surtos ou antecipação de epidemias. Publicações que não apresentassem informações suficientes para responder à questão norteadora também foram desconsideradas.

O processo de seleção dos estudos foi organizado em quatro etapas: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, em consonância com a organização recomendada pelo PRISMA 2020. Inicialmente, foram identificadas as publicações recuperadas nas bases de dados selecionadas. Em seguida, foram removidos os registros duplicados e realizada a triagem dos títulos e resumos. Na etapa de elegibilidade, os estudos potencialmente relevantes foram analisados na íntegra, verificando-se sua adequação aos critérios previamente estabelecidos. Por fim, foram incluídos na revisão aqueles que apresentaram pertinência temática e metodológica com a questão norteadora.

Para a sistematização das informações, foram consideradas as seguintes variáveis: autores, ano de publicação, país de realização do estudo, objetivo, delineamento metodológico, tecnologia ou técnica de inteligência artificial empregada, doença ou evento epidemiológico analisado, fontes de dados utilizadas, principais resultados e contribuições para a vigilância epidemiológica preditiva. A organização dessas informações possibilitou a comparação entre os estudos e a identificação de padrões relacionados às aplicações da IA na previsão de eventos epidemiológicos.

A análise dos estudos selecionados foi realizada de forma descritiva, comparativa e interpretativa, buscando sintetizar as principais evidências encontradas na literatura. Os resultados foram posteriormente agrupados em três categorias temáticas: 1) inteligência artificial e fortalecimento da vigilância epidemiológica preditiva; 2) modelagem preditiva, integração de dados e antecipação de surtos; e 3) desafios éticos, tecnológicos e operacionais para implementação da inteligência artificial na Saúde Coletiva.

A categorização permitiu organizar os achados de acordo com os principais eixos identificados na literatura, possibilitando uma compreensão integrada das potencialidades da inteligência artificial para o monitoramento epidemiológico, a identificação antecipada de padrões de transmissão e o apoio à tomada de decisão em saúde, bem como dos desafios relacionados à qualidade e integração dos dados, transparência dos modelos, proteção de informações, infraestrutura tecnológica, capacitação profissional e utilização ética dessas ferramentas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inteligência artificial e fortalecimento da vigilância epidemiológica preditiva

A incorporação da inteligência artificial aos sistemas de vigilância epidemiológica repre-

senta uma transformação na maneira como dados de saúde pública podem ser analisados. Enquanto modelos convencionais frequentemente dependem da análise de séries históricas e indicadores previamente definidos, os algoritmos de aprendizado de máquina apresentam capacidade de identificar relações não lineares e padrões complexos em grandes conjuntos de dados. Essa característica amplia as possibilidades de análise de informações epidemiológicas e favorece o desenvolvimento de modelos destinados à previsão de riscos e à identificação antecipada de possíveis surtos (CHEAH *et al.*, 2025; LIU *et al.*, 2025).

Liu *et al.* (2025) demonstram que o aprendizado de máquina vem sendo utilizado para diferentes problemas relacionados à previsão do risco de doenças infecciosas, incluindo a caracterização de padrões de transmissão e a identificação de fatores associados à propagação de doenças. Os autores ressaltam, entretanto, que diferentes fases da dinâmica epidemiológica exigem diferentes estratégias de modelagem, o que demonstra que a escolha do algoritmo deve estar relacionada ao problema de saúde pública que se pretende solucionar (LIU *et al.*, 2025). Essa constatação evidencia que a utilização da IA não deve ocorrer de maneira indiscriminada, sendo necessário considerar as características do agente infeccioso, a disponibilidade e a qualidade dos dados e a finalidade específica da previsão.

Essa perspectiva é relevante para a Saúde Coletiva porque a finalidade da previsão epidemiológica não deve ser reduzida à produção de uma estimativa numérica. O resultado do modelo precisa produzir informação útil para a tomada de decisão. Assim, uma previsão de aumento de casos somente adquire valor sanitário quando pode orientar ações como intensificação da vigilância, reorganização dos serviços, planejamento de insumos, comunicação de

risco e implementação de medidas preventivas. Nesse sentido, ferramentas de previsão de risco podem contribuir para transformar grandes volumes de dados em informações estratégicas para gestores e profissionais envolvidos na resposta aos eventos de saúde pública (ZHANG *et al.*, 2024).

A revisão sistemática de Villanueva-Miranda *et al.* (2025) reforça essa perspectiva ao demonstrar que sistemas de alerta precoce baseados em IA podem utilizar diferentes técnicas, incluindo aprendizado de máquina, aprendizado profundo e processamento de linguagem natural. Os sistemas analisados utilizaram fontes variadas, como dados epidemiológicos, informações provenientes da internet, dados climáticos e vigilância de águas residuais. A integração dessas tecnologias e fontes de informação demonstra que os sistemas de alerta precoce podem assumir uma abordagem multidimensional, ampliando a capacidade de identificação de sinais epidemiológicos relevantes (VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

A integração de múltiplas fontes constitui uma das principais vantagens da vigilância preditiva. Determinados eventos epidemiológicos são influenciados simultaneamente por temperatura, precipitação, densidade populacional, mobilidade, condições socioeconômicas e circulação prévia do agente infeccioso. Dessa maneira, modelos capazes de combinar diferentes dimensões podem produzir informações potencialmente mais abrangentes e adequadas à complexidade dos fenômenos epidemiológicos. No Brasil, essa abordagem foi evidenciada por Roster *et al.* (2022), que utilizaram variáveis epidemiológicas e meteorológicas para prever casos de dengue em cidades brasileiras, demonstrando a aplicabilidade do aprendizado de máquina na previsão de doenças relacionadas a fatores ambientais e climáticos.

A dimensão territorial também pode ser incorporada aos modelos preditivos. Lober *et al.* (2024) demonstraram que informações socioeconômicas e geográficas provenientes de cidades relacionadas podem contribuir para a previsão da ocorrência de doenças infecciosas em municípios brasileiros. Os resultados indicam que a utilização de informações de localidades geograficamente próximas pode aprimorar determinadas previsões, evidenciando a importância da interação espacial na compreensão da dinâmica de transmissão de doenças (LOBER *et al.*, 2024).

Outra possibilidade de fortalecimento da vigilância epidemiológica está relacionada à utilização de fontes ambientais. Fu *et al.* (2024) combinaram dados de monitoramento de águas residuais com um algoritmo de aprendizado de máquina para estimar trajetórias epidêmicas de SARS-CoV-2 e influenza A. A utilização dessas informações demonstra que indicadores ambientais podem funcionar como fontes complementares aos registros clínicos tradicionais, contribuindo para a identificação antecipada de alterações na circulação de agentes infecciosos (FU *et al.*, 2024).

Cheah *et al.* (2025) destacam justamente a expansão do uso de grandes bases de dados e de métodos de IA e aprendizado de máquina na vigilância de doenças infecciosas. A disponibilidade crescente de informações epidemiológicas, clínicas e moleculares cria oportunidades para o desenvolvimento de sistemas capazes de apoiar a identificação, previsão e caracterização de eventos de interesse para a saúde pública. Dessa forma, a IA pode atuar em diferentes etapas da vigilância, desde a análise de dados até o reconhecimento de padrões e a estimativa de prognósticos epidemiológicos (CHEAH *et al.*, 2025).

A utilização de estratégias mais sofisticadas de modelagem também pode contribuir para aumentar a capacidade de adaptação dos sistemas preditivos. Abdallah *et al.* (2024) demonstraram a aplicação combinada do processo hierárquico analítico (AHP) e de técnicas de *transfer learning* em modelos de aprendizado de máquina voltados à previsão de surtos de doenças infecciosas. Essa abordagem evidencia que diferentes estratégias computacionais podem ser combinadas para aprimorar o desempenho dos modelos e ampliar sua aplicabilidade em diferentes situações epidemiológicas (ABDALLAH *et al.*, 2024).

Além disso, a vigilância preditiva pode ser fortalecida pela incorporação de informações provenientes de fontes abertas. Quigley *et al.* (2025), ao analisarem o sistema EPIWATCH, evidenciaram o potencial da inteligência artificial para identificar sinais precoces de possíveis surtos a partir de informações publicamente disponíveis. A utilização automatizada dessas fontes amplia o campo de observação da vigilância epidemiológica e pode contribuir para a identificação de eventos que ainda não foram plenamente capturados pelos sistemas formais de notificação (QUIGLEY *et al.*, 2025).

No entanto, a adoção dessas ferramentas não elimina a necessidade da vigilância epidemiológica tradicional. A IA deve ser compreendida como recurso complementar aos profissionais e às instituições responsáveis pela produção, análise e interpretação das informações sanitárias. A decisão final deve considerar o contexto epidemiológico, a qualidade dos dados, as limitações dos modelos e a avaliação dos profissionais responsáveis pela vigilância. Nesse sentido, Villanueva-Miranda *et al.* (2025) destacam desafios relacionados à qualidade dos dados, aos vieses, à transparência dos modelos, à integração com sistemas existentes, à privacidade e à equidade.

Portanto, o fortalecimento da vigilância epidemiológica por meio da inteligência artificial depende não apenas da capacidade computacional dos algoritmos, mas também da existência de bases de dados confiáveis, infraestrutura tecnológica, profissionais capacitados, mecanismos de validação e governança adequada das informações. A combinação entre conhecimento epidemiológico e ferramentas de IA pode favorecer uma vigilância mais ágil, integrada e orientada à antecipação de riscos, desde que os resultados produzidos pelos modelos sejam interpretados criticamente e utilizados em conjunto com os conhecimentos dos profissionais e com as evidências disponíveis (CHEAH *et al.*, 2025; LIU *et al.*, 2025; VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

Aplicações da inteligência artificial na previsão e antecipação de epidemias

Entre as aplicações mais concretas da inteligência artificial na vigilância epidemiológica está a previsão de ocorrência ou intensificação de doenças infecciosas. A utilização de algoritmos de aprendizado de máquina permite integrar variáveis epidemiológicas, ambientais, meteorológicas, socioeconômicas e territoriais, possibilitando a identificação de padrões associados à ocorrência e à disseminação de determinados agravos (LIU *et al.*, 2025; CHEAH *et al.*, 2025).

Um exemplo relevante é o estudo desenvolvido por Roster *et al.* (2022), que utilizou variáveis epidemiológicas e meteorológicas para prever casos mensais de dengue em cidades brasileiras com antecedência de um mês. A pesquisa demonstrou que modelos de aprendizado de máquina podem contribuir para a previsão da ocorrência da doença e apoiar estratégias de vigilância da dengue, evidenciando a importância da incorporação de fatores climáticos aos modelos epidemiológicos (ROSTER *et al.*, 2022).

A importância desse resultado para a Saúde Coletiva está relacionada à possibilidade de antecipação das ações. A previsão de aumento da ocorrência de uma doença pode auxiliar as autoridades sanitárias a intensificar ações de controle vetorial, vigilância de casos, comunicação de risco e preparação dos serviços de saúde antes que a pressão assistencial atinja níveis mais elevados. Dessa forma, modelos preditivos podem contribuir para uma transição de uma vigilância predominantemente reativa para uma abordagem mais antecipatória e orientada à prevenção (ZHANG *et al.*, 2024).

Abdallah *et al.* (2024) também demonstraram a aplicabilidade de técnicas de aprendizado de máquina para a previsão de surtos de doenças infecciosas, incluindo dengue, chikungunya e Zika, a partir da combinação de variáveis climáticas e socioeconômicas. O estudo empregou seleção de características por meio do processo hierárquico analítico (AHP), *transfer learning* e diferentes algoritmos de aprendizado de máquina, incluindo Random Forest, XGBoost e Gradient Boosting, evidenciando como estratégias computacionais distintas podem ser integradas para aprimorar a previsão de surtos (ABDALLAH *et al.*, 2024).

Os resultados desse estudo reforçam a importância de considerar os determinantes ambientais e sociais na construção de modelos preditivos. A ocorrência de doenças transmitidas por vetores não depende exclusivamente do número de casos anteriores, mas também de condições que favorecem a manutenção, reprodução e dispersão dos vetores e dos agentes infecciosos. Nesse contexto, a integração de diferentes variáveis pode contribuir para uma compreensão mais abrangente da dinâmica epidemiológica (ABDALLAH *et al.*, 2024; ROSTER *et al.*, 2022).

Outro aspecto relevante é a possibilidade de utilização de modelos que considerem relações

entre diferentes territórios. Lober *et al.* (2024) demonstraram que a incorporação de informações provenientes de cidades geograficamente próximas pode melhorar previsões para determinadas doenças infecciosas. Essa abordagem é especialmente importante em epidemias nas quais a transmissão apresenta dinâmica espacial e os eventos registrados em uma localidade podem antecipar alterações em localidades próximas (LOBER *et al.*, 2024).

A dimensão territorial da previsão epidemiológica também está relacionada à necessidade de considerar as características socioeconômicas e geográficas dos municípios. A integração dessas informações pode permitir que os modelos identifiquem relações entre localidades e contribuam para a definição de áreas prioritárias para vigilância e intervenção. Dessa maneira, a inteligência artificial pode apoiar estratégias de vigilância territorialmente orientadas, especialmente em cenários caracterizados por heterogeneidade na distribuição dos riscos (LOBER *et al.*, 2024).

No campo das doenças respiratórias, Silva *et al.* (2024) utilizaram notificações de hospitalizações por síndrome respiratória aguda grave no Brasil para alimentar uma rede neural destinada à previsão de surtos. O trabalho demonstra a possibilidade de utilizar informações provenientes dos próprios sistemas de vigilância para gerar modelos de previsão e apoiar o planejamento da rede de atenção. A experiência evidencia, portanto, que bases de dados epidemiológicas já existentes podem constituir importantes fontes para o desenvolvimento de ferramentas preditivas (SILVA *et al.*, 2024).

Outra estratégia inovadora envolve a utilização de águas residuais como fonte complementar de vigilância. Fu *et al.* (2024) combinaram o monitoramento de SARS-CoV-2 e influenza A em águas residuais com algoritmo de aprendizado de máquina para estimar trajetórias

epidêmicas. O estudo demonstrou o potencial da integração entre vigilância ambiental e técnicas computacionais para acompanhar a evolução de doenças respiratórias, indicando que informações provenientes de águas residuais podem complementar os dados clínicos e epidemiológicos convencionais (FU *et al.*, 2024).

A utilização de fontes abertas constitui outra possibilidade de fortalecimento dos sistemas de alerta precoce. O EPIWATCH, analisado por Quigley *et al.* (2025), emprega inteligência artificial para identificar sinais relacionados a potenciais eventos epidêmicos em dados de acesso público. Essa abordagem é particularmente relevante porque permite ampliar as fontes utilizadas pela vigilância e identificar sinais que podem surgir antes de sua confirmação pelos sistemas formais de notificação (QUIGLEY *et al.*, 2025).

A utilização de dados provenientes da internet e de outras fontes abertas também está presente em sistemas contemporâneos de alerta precoce. Villanueva-Miranda *et al.* (2025), em revisão sistemática, identificaram a utilização de aprendizado de máquina, aprendizado profundo e processamento de linguagem natural em sistemas destinados à vigilância de doenças infecciosas. Esses sistemas podem integrar dados epidemiológicos, climáticos, ambientais e informações disponíveis na internet, ampliando o espectro de sinais que podem ser considerados na identificação de riscos emergentes (VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

Zhang *et al.* (2024) ampliam essa perspectiva ao propor uma ferramenta universal de previsão do risco de surtos, desenvolvida a partir de informações referentes a 43 doenças em 206 países. O modelo utilizou diferentes algoritmos de aprendizado de máquina e buscou desenvolver uma abordagem aplicável a diferentes doenças e territórios, demonstrando o potencial de ferramentas preditivas de maior abrangência

para apoiar a vigilância epidemiológica global (ZHANG *et al.*, 2024).

A integração dessas estratégias indica que a vigilância epidemiológica contemporânea tende a ser cada vez mais orientada pela combinação de múltiplas fontes de dados. Registros clínicos e laboratoriais podem ser associados a informações meteorológicas, ambientais, territoriais, socioeconômicas, digitais e provenientes de águas residuais, permitindo uma análise mais ampla dos fatores relacionados à emergência e disseminação das doenças (FU *et al.*, 2024; VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

Entretanto, a qualidade da previsão permanece dependente da qualidade, completude, representatividade e atualização dos dados utilizados. Além disso, diferentes doenças, territórios e fases da dinâmica epidemiológica podem exigir diferentes estratégias de modelagem. Por essa razão, o desempenho de uma ferramenta de inteligência artificial deve ser avaliado considerando não apenas sua capacidade estatística de previsão, mas também sua aplicabilidade ao contexto de saúde pública no qual será utilizada (LIU *et al.*, 2025; CHEAH *et al.*, 2025).

Desafios éticos, tecnológicos e operacionais para implementação da IA

Embora a inteligência artificial apresente potencial para ampliar a capacidade preditiva da vigilância epidemiológica, sua implementação envolve limitações que precisam ser consideradas. A utilização dessas tecnologias exige não apenas modelos computacionais adequados, mas também infraestrutura, dados confiáveis, profissionais capacitados, mecanismos de governança e integração com os sistemas de saúde existentes (CHEAH *et al.*, 2025; VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

Um dos principais desafios está relacionado à qualidade dos dados. Modelos de aprendizado

de máquina aprendem a partir dos dados disponibilizados e, consequentemente, informações incompletas, inconsistentes ou enviesadas podem produzir previsões inadequadas. Villanueva-Miranda *et al.* (2025) identificaram a qualidade dos dados e os vieses entre os principais desafios relacionados aos sistemas de alerta precoce baseados em IA. Dessa maneira, a confiabilidade dos resultados está diretamente relacionada à qualidade das bases utilizadas para treinamento e validação dos modelos (VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

A questão da transparência também merece atenção. Muitos modelos complexos apresentam funcionamento de difícil interpretação, sendo frequentemente classificados como modelos de “caixa-preta”. Em saúde pública, essa característica pode dificultar a compreensão dos fatores que levaram o sistema a indicar determinado risco. A explicabilidade dos modelos é, portanto, fundamental para que gestores e profissionais possam avaliar criticamente as previsões antes de utilizá-las na tomada de decisão. Nesse contexto, a utilização responsável da IA requer equilíbrio entre desempenho preditivo, interpretabilidade e aplicabilidade prática (CHEAH *et al.*, 2025).

Liu *et al.* (2025) destacam desafios relacionados aos dados de entrada, à definição dos objetivos de previsão e à avaliação do desempenho dos modelos. Essa discussão demonstra que o desenvolvimento de um modelo preditivo não deve ser avaliado exclusivamente pela sua acurácia, sendo necessário verificar se ele é adequado ao problema epidemiológico e se apresenta desempenho consistente em diferentes contextos. A escolha do algoritmo, das variáveis e das métricas de avaliação deve, portanto, estar alinhada à finalidade da vigilância e às características da doença (LIU *et al.*, 2025).

Outro desafio está relacionado à integração das tecnologias aos sistemas existentes. A utilização de IA requer infraestrutura tecnológica, interoperabilidade entre bancos de dados, profissionais capacitados e mecanismos de governança. A ausência desses componentes pode limitar a utilização prática de modelos que apresentam bom desempenho em ambientes experimentais. Além disso, ferramentas desenvolvidas em determinados contextos podem apresentar desempenho diferente quando aplicadas a populações, territórios ou sistemas de saúde distintos, tornando necessária sua validação local (VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

Questões relacionadas à privacidade e à proteção das informações também são relevantes. Sistemas de vigilância podem utilizar dados individuais ou informações potencialmente identificáveis, tornando necessário estabelecer mecanismos de segurança, controle de acesso, minimização de dados e utilização responsável das informações. A expansão da capacidade de processamento proporcionada pela IA aumenta a necessidade de governança adequada, especialmente quando diferentes bases de dados são integradas para produzir previsões epidemiológicas (CHEAH *et al.*, 2025; VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

Além disso, deve-se considerar o risco de desigualdade tecnológica. Municípios e regiões com menor infraestrutura podem apresentar menor capacidade para implementar sistemas sofisticados de inteligência artificial. Assim, uma estratégia nacional de vigilância preditiva deve buscar evitar que a inovação tecnológica aprofunde desigualdades já existentes entre diferentes territórios. A disponibilidade desigual de dados, equipamentos, conectividade e profissionais especializados pode comprometer a distribuição equitativa dos benefícios associados à utilização da IA.

Outro aspecto importante diz respeito à possibilidade de transferência inadequada de modelos entre diferentes contextos. Embora ferramentas de grande abrangência possam apresentar resultados promissores, as características epidemiológicas, ambientais e sociais variam entre países, regiões e municípios. Zhang *et al.* (2024) e Abdallah *et al.* (2024) demonstram o potencial de modelos aplicáveis a diferentes cenários, mas a utilização desses recursos exige avaliação de desempenho e adequação ao contexto em que serão empregados (ZHANG *et al.*, 2024; ABDALLAH *et al.*, 2024).

Nesse sentido, a atuação multiprofissional permanece indispensável. Epidemiologistas, médicos, enfermeiros, profissionais de Saúde Coletiva, cientistas de dados, estatísticos, profissionais de tecnologia da informação e gestores precisam atuar de forma integrada. A IA deve oferecer suporte analítico, enquanto a interpretação epidemiológica e a tomada de decisão permanecem inseridas em processos institucionais e profissionais. Essa integração é fundamental para que os resultados produzidos pelos algoritmos sejam contextualizados, validados e transformados em ações de saúde pública (CHEAH *et al.*, 2025; LIU *et al.*, 2025).

Portanto, os desafios relacionados à implementação da inteligência artificial na vigilância epidemiológica ultrapassam a dimensão exclusivamente tecnológica. A consolidação de sistemas preditivos exige qualidade dos dados, transparência, validação, segurança da informação, infraestrutura, capacitação profissional, governança e equidade. A superação desses obstáculos será fundamental para que a IA seja incorporada de maneira ética, segura e efetiva às estratégias de vigilância epidemiológica e possa contribuir para a antecipação de epidemias sem substituir a análise crítica e a responsabilidade dos profissionais e gestores de saúde (VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025; CHEAH *et al.*, 2025).

Quadro 56.2 Síntese dos estudos selecionados sobre inteligência artificial e vigilância epidemiológica preditiva

Autor/Ano	País	Objetivo	Método/Tecnologia	Principais achados	Contribuições
Roster <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Prever casos de dengue em cidades brasileiras	Aprendizado de máquina com variáveis epidemiológicas e meteorológicas	Modelos de ML apresentaram baixo erro de previsão para diferentes cidades	Apoio à vigilância e antecipação de casos de dengue
Zhang <i>et al.</i> (2024)	Austrália/ Internacional	Desenvolver ferramenta universal para previsão do risco de surtos	Ensemble de modelos de ML; dados de 43 doenças e 206 países	O sistema apresentou capacidade de previsão aplicável a diferentes doenças e países	Apoio à avaliação internacional de risco e resposta rápida
Silva <i>et al.</i> (2024)	Brasil	Prever surtos de síndrome respiratória aguda grave	Rede neural e dados de notificações de hospitalização	Demonstrou possibilidade de previsão de surtos utilizando dados de vigilância	Planejamento da rede assistencial e vigilância respiratória
Abdallah <i>et al.</i> (2024)	Egito	Prever surtos de dengue, chikungunya e Zika	<i>Random Forest, XGBoost, Gradient Boosting, AHP e transfer learning</i>	Modelos apresentaram desempenho relevante na previsão de surtos	Integração de fatores climáticos e socioeconômicos
Lober <i>et al.</i> (2024)	Brasil	Prever doenças Infecciosas Incorporando informações de cidades relacionadas	ML, dados epidemiológicos, geográficos e socioeconômicos	Informações de cidades geograficamente próximas melhoraram algumas previsões	Fortalecimento da previsão espaço-temporal
Fu <i>et al.</i> (2024)	China	Estimar trajetórias de SARS-CoV-2 e influenza A	Vigilância de águas residuais + ML	Dados de águas residuais apresentaram antecedência em relação a dados clínicos	Ampliação das fontes de Vigilância precoce
Villanueva-Miranda <i>et al.</i> (2025)	Estados Unidos/ Internacional	Avaliar IA em sistemas de alerta precoce	Revisão sistemática	ML, DL e NLP foram amplamente utilizados; foram identificados benefícios e desafios	Fundamentação para sistemas de alerta precoce baseados em IA
Quigley <i>et al.</i> (2025)	Austrália/ Internacional	Avaliar o EPIWATCH como ferramenta de vigilância	Sistema de IA e dados de fontes abertas	IA pode identificar sinais precoces de potenciais surtos	Complementação da vigilância epidemiológica oficial
Cheah <i>et al.</i> (2025)	Singapura/Brasil	Analisar aplicações de IA e ML em doenças infecciosas	Revisão de escopo	IA apresenta aplicações em vigilância, diagnóstico e prognóstico	Organização das possibilidades de aplicação da IA
Liu <i>et al.</i> (2025)	Hong Kong/ Internacional	Analisar ML aplicado à previsão do risco de doenças infecciosas	<i>Survey</i> /revisão da literatura	ML pode modelar transmissão e prever riscos em diferentes fases epidemiológicas	Sistematização dos modelos e desafios da previsão epidemiológica

O conjunto dos estudos sintetizados demonstra que a IA pode ser empregada em diferentes níveis da vigilância epidemiológica, desde a previsão de casos específicos, como dengue e síndrome respiratória aguda grave, até sistemas de alerta precoce capazes de combinar informações epidemiológicas, climáticas, territoriais, socioeconômicas, ambientais e provenientes de fontes abertas. Os achados também indicam que não existe um único modelo capaz de atender a todas as necessidades epidemiológicas, sendo necessário selecionar métodos conforme a doença, população, território, horizonte temporal e disponibilidade de dados (LIU *et al.*, 2025; VILLANUEVA-MIRANDA *et al.*, 2025).

ASPECTOS ÉTICOS

A presente discussão fundamenta-se em literatura científica e dados secundários disponíveis em publicações acadêmicas, não envolvendo intervenção direta ou coleta de dados individuais de seres humanos. Dessa forma, por se tratar de revisão da literatura, não houve participação direta de seres humanos.

A utilização da inteligência artificial na vigilância epidemiológica, entretanto, exige atenção permanente aos princípios de integridade científica, transparência, proteção de dados, equidade, segurança e responsabilidade. A utilização de algoritmos deve ser acompanhada por avaliação crítica dos resultados, especialmente diante da possibilidade de vieses decorrentes dos dados empregados na construção dos modelos.

Também é necessário assegurar que a implementação da IA não substitua a avaliação dos profissionais responsáveis pela vigilância. Os sistemas devem funcionar como ferramentas de apoio à decisão, submetidas à supervisão humana e à validação epidemiológica.

CONCLUSÃO

A análise da literatura demonstra que a inteligência artificial apresenta potencial relevante para fortalecer a vigilância epidemiológica preditiva na Saúde Coletiva. A utilização de aprendizado de máquina, aprendizado profundo, processamento de linguagem natural e integração de diferentes fontes de dados permite desenvolver modelos capazes de identificar padrões, estimar riscos e contribuir para a antecipação de surtos e epidemias.

Os estudos analisados evidenciam aplicações em diferentes cenários, incluindo previsão de dengue em cidades brasileiras, antecipação de surtos de doenças respiratórias, previsão de doenças infecciosas considerando relações territoriais, monitoramento de águas residuais e identificação de sinais epidemiológicos em fontes abertas. Essas experiências demonstram que a vigilância pode evoluir de uma abordagem predominantemente reativa para uma perspectiva mais prospectiva e orientada por evidências.

Entretanto, a incorporação da IA não deve ser interpretada como substituição dos sistemas tradicionais ou dos profissionais de saúde. A qualidade dos dados, a transparência dos modelos, a interoperabilidade, a infraestrutura tecnológica, a proteção da privacidade e a redução de vieses permanecem desafios fundamentais. Além disso, a capacidade preditiva de um algoritmo não garante, por si só, uma resposta sanitária adequada.

Nesse contexto, a consolidação da vigilância epidemiológica preditiva depende da integração entre tecnologia, epidemiologia e gestão em saúde. A atuação multiprofissional, associada à governança de dados e à avaliação contínua dos modelos, constitui elemento essencial

para transformar previsões computacionais em decisões de saúde pública.

Assim, a inteligência artificial pode representar importante recurso para a antecipação de epidemias, desde que sua implementação seja baseada em evidências, transparência, segu-

rança, equidade e supervisão humana. O fortalecimento dessa abordagem poderá contribuir para respostas mais oportunas, planejamento dos serviços de saúde e desenvolvimento de estratégias preventivas capazes de reduzir os impactos dos eventos epidêmicos sobre as populações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, R. *et al.* Leveraging AHP and transfer learning in machine learning for improved prediction of infectious disease outbreaks. *Scientific Reports*, v. 14, 2024. doi: 10.1038/s41598-024-81367-1.

CHEAH, B.C.J. *et al.* Machine learning and artificial intelligence for infectious disease surveillance, diagnosis, and prognosis. *Viruses*, v. 17, 2025. doi: 10.3390/v17070882.

FU, S. *et al.* Estimating epidemic trajectories of SARS-CoV-2 and influenza A virus based on wastewater monitoring and a novel machine learning algorithm. *Science of the Total Environment*, v. 951, 2024. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175830.

LIU, M. *et al.* Machine learning for infectious disease risk prediction: a survey. *ACM Computing Surveys*, v. 57, 2025. doi: 10.1145/3719663.

LOBER, L. *et al.* Forecasting infectious diseases in Brazilian cities: integrating socio-economic and geographic data from related cities through a machine learning approach. *Chaos, Solitons & Fractals*, v. 187, 2024. doi: 10.1016/j.chaos.2024.115417.

QUIGLEY, A. *et al.* EPIWATCH, an artificial intelligence early-warning system as a valuable tool in outbreak surveillance. *International Journal of Infectious Diseases*, v. 152, 2025. doi: 10.1016/j.ijid.2024.107579.

ROSTER, K. *et al.* Machine-learning-based forecasting of dengue fever in Brazilian cities using epidemiologic and meteorological variables. *American Journal of Epidemiology*, v. 191, p. 1803, 2022. doi: 10.1093/aje/kwac090.

SILVA, A.D. *et al.* Machine learning in predicting severe acute respiratory infection outbreaks. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 40, e00122823, 2024. doi: 10.1590/0102-311XEN122823.

VILLANUEVA-MIRANDA, I. *et al.* Artificial intelligence in early warning systems for infectious disease surveillance: a systematic review. *Frontiers in Public Health*, v. 13, 2025. doi: 10.3389/fpubh.2025.1609615.

ZHANG, T. *et al.* A machine learning-based universal outbreak risk prediction tool. *Computers in Biology and Medicine*, v. 169, 2024. doi: 10.1016/j.compbiomed.2023.107876.