

## Algoritmo de Inteligência Artificial para Detecção Precoce de Patógenos Em Amostras Clínicas

Artificial Intelligence Algorithm for Early Detection of Pathogens in Clinical Samples

Algoritmo de Inteligencia Artificial para la Detección Temprana de Patógenos en Muestras Clínicas

### RESUMO

A inteligência artificial (IA) para detecção precoce de patógenos representa um avanço significativo em diagnósticos de saúde. Técnicas tradicionais, como microscopia de esfregaço e ensaios bioquímicos, frequentemente sofrem com tempos de processamento prolongados e sensibilidade limitada, necessitando de soluções de detecção mais rápidas e precisas<sup>[1]</sup>. Além de aprimorar as capacidades de diagnóstico, dá suporte a decisões de tratamento oportunas, num cenário cada vez mais desafiado por doenças infecciosas emergentes. Seu papel transformador, particularmente destacado durante a pandemia da COVID-19, facilitou processos de diagnóstico rápido e melhorou a tomada de decisão clínica por meio da análise de dados<sup>[2]</sup><sup>[3]</sup>. Permitiram o desenvolvimento de algoritmos sofisticados capazes de identificar patógenos com precisão notável, conforme demonstrado por estudos que mostram a eficácia de modelos como Gradient Boosting Machines (GBM) e K-Nearest Neighbors (KNN) em ambientes clínicos<sup>[4]</sup>. Auxiliam nos testes de suscetibilidade a antibióticos, otimizando as estratégias de tratamento. Apesar do potencial promissor, vários desafios e controvérsias notáveis persistem. A pesquisa envolveu revisão sistemática descritiva exploratória, feita de 2020 a 2024 na base de dados PubMed, mostrando problemas relacionados à qualidade e representatividade dos dados, que podem levar a vieses algorítmicos, o que pode prejudicar a eficácia das aplicações de IA em diversos grupos demográficos de pacientes<sup>[5]</sup><sup>[6]</sup>. As estruturas regulatórias também estão evoluindo para abordar as complexidades da IA na área da saúde, com foco na segurança, eficácia e considerações éticas em torno da privacidade dos dados do paciente e da transparência do algoritmo<sup>[7]</sup><sup>[8]</sup>.

**PALAVRAS CHAVE:** Inteligência Artificial; Epidemiologia com IA; Análises Clínicas com IA; Diagnóstico com IA.

### ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) for the early detection of pathogens represents a significant advance in health diagnostics. Traditional techniques, such as smear microscopy and biochemical assays, often suffer from long processing times and limited sensitivity, requiring faster and more accurate detection solutions<sup>[1]</sup>. In addition to improving diagnostic capabilities, it supports timely treatment decisions in a scenario increasingly challenged by emerging infectious diseases. Its transformative role, particularly highlighted during the COVID-19 pandemic, has facilitated rapid diagnostic processes and improved clinical decision-making through data analysis<sup>[2]</sup><sup>[3]</sup>. They have enabled the development of sophisticated algorithms capable of identifying pathogens with remarkable accuracy, as demonstrated by studies showing the effectiveness of models such as Gradient Boosting Machines (GBM) and K-Nearest Neighbors (KNN) in clinical settings<sup>[4]</sup>. They help in antibiotic susceptibility testing, optimizing treatment strategies. Despite the promising potential, several notable challenges and controversies remain. Problems related to data quality and representativeness can lead to algorithmic biases, which can hinder the effectiveness of AI applications in various patient demographic groups<sup>[5]</sup><sup>[6]</sup>. Regulatory frameworks are also evolving to address the complexities of AI in healthcare, with a focus on safety, efficacy and ethical considerations around patient data privacy and algorithm transparency.

**KEYWORDS:** Artificial Intelligence; AI Epidemiology; AI Clinical Analysis; AI Diagnostics.

### RESUMEN

La inteligencia artificial (IA) para la detección temprana de patógenos representa un avance significativo en los diagnósticos de salud. Las técnicas tradicionales, como la microscopía de extendido y los ensayos bioquímicos, a menudo enfrentan tiempos de procesamiento prolongados y una sensibilidad limitada,

lo que requiere soluciones de detección más rápidas y precisas<sup>[1]</sup>. Además de mejorar las capacidades diagnósticas, respalda decisiones de tratamiento oportunas, en un escenario cada vez más desafiado por enfermedades infecciosas emergentes. Su papel transformador, particularmente destacado durante la pandemia de COVID-19, facilitó los procesos de diagnóstico rápido y mejoró la toma de decisiones clínicas a través del análisis de datos<sup>[2][3]</sup>. Permitieron el desarrollo de algoritmos sofisticados capaces de identificar patógenos con una precisión notable, como lo demuestran estudios que muestran la eficacia de modelos como Gradient Boosting Machines (GBM) y K-Nearest Neighbors (KNN) en entornos clínicos<sup>[4]</sup>. Ayudan en las pruebas de susceptibilidad a antibióticos, optimizando las estrategias de tratamiento. A pesar del potencial prometedor, persisten varios desafíos y controversias notables. La investigación implicó una revisión sistemática descriptiva exploratoria, realizada entre 2020 y 2024 en la base de datos PubMed, que muestra problemas relacionados con la calidad y representatividad de los datos, lo que puede conducir a sesgos algorítmicos y perjudicar la eficacia de las aplicaciones de IA en diversos grupos demográficos de pacientes<sup>[5][6]</sup>. Las estructuras regulatorias también están evolucionando para abordar las complejidades de la IA en el área de la salud, con enfoque en la seguridad, eficacia y consideraciones éticas en torno a la privacidad de los datos del paciente y la transparencia del algoritmo<sup>[7][8]</sup>.

**PALABRAS CLAVE:** Inteligencia Artificial; Epidemiología con IA; Análisis Clínicos con IA; Diagnóstico con IA.

RECEBIDO EM: 26/02/2025 APROVADO EM: 12/03/2025

**Como citar este artigo:** Chaves ANS. Algoritmo de Inteligência Artificial para Detecção Precoce de Patógenos Em Amostras Clínicas. Saúde Coletiva (Edição Brasileira) [Internet]. 2025 [acesso ano mês dia];15(94):15283-15294 Disponível em: DOI: 10.36489/saudecoletiva.2025v15i94p15283-15294



**Me. Alexandre Nascimento da Silva Chaves**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1286-0389>

## INTRODUÇÃO

A detecção de patógenos é crítica para o diagnóstico e tratamento oportunos em ambientes de assistência médica. Métodos tradicionais para identificar microrganismos patogênicos, como microscopia de esfregaço, isolamento e cultivo, e ensaios bioquímicos, frequentemente enfrentam limitações significativas, incluindo tempos de processamento prolongados e sensibilidade abaixo do ideal<sup>[1]</sup>.

Como resultado, há uma demanda crescente por técnicas de detecção rápidas e precisas que possam abordar essas deficiências. Avanços recentes na tecnologia levaram ao desenvolvimento de métodos inovadores de detecção de patógenos, incluindo abordagens de ácido nucleico e imunológicas, que aumentam a capacidade de identificar bactérias patogênicas e avaliar riscos potenciais à saúde em vários contextos, incluindo

saúde pública e monitoramento ambiental<sup>[1][9]</sup>.

Entretanto, as tecnologias existentes ainda enfrentam dificuldades com as demandas clínicas devido aos procedimentos complicados e à necessidade de instrumentos grandes, o que pode dificultar a identificação eficiente<sup>[1]</sup>.

A Inteligência Artificial (IA) surgiu como uma ferramenta transformadora em imagens médicas, melhorando significativamente a velocidade e a precisão dos processos de diagnóstico. Durante a pandemia da COVID-19, a IA foi fundamental para melhorar as capacidades de diagnóstico de tomografias computadorizadas de tórax e raios X, facilitando a triagem e identificação rápidas da doença<sup>[2][3]</sup>.

O papel da IA vai além da geração de imagens; ela também auxilia na análise de dados relacionados a infecções secundárias em pacientes com COVID-19, fornecendo

insights cruciais sobre a gravidade da doença e os resultados clínicos<sup>[2]</sup>.

À medida que as tecnologias de IA evoluem, elas são cada vez mais aplicadas na vigilância da saúde pública e na modelagem de epidemias, permitindo a análise preditiva de surtos de doenças e outros riscos à saúde.<sup>[3][5]</sup>

Técnicas de aprendizado de máquina também foram incorporadas a métodos de imagens microscópicas para identificação de patógenos, oferecendo resultados rápidos para detecção de patógenos e testes de susceptibilidade a antibióticos (AST)<sup>[1][10]</sup>.

Essa integração de IA na detecção de patógenos é muito promissora para melhorar a precisão do diagnóstico, adaptar estratégias de tratamento e, finalmente, melhorar os resultados dos pacientes.

## DESENVOLVIMENTO



## DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS

### Visão geral da IA na área da saúde

A Inteligência Artificial (IA) tem se tornado cada vez mais essencial na área da saúde, particularmente por sua capacidade de executar tarefas que imitam a cognição humana, como resolução de problemas e aprendizado. Essa capacidade permite que a IA automatize tarefas, identifique padrões de dados e sintetize diversas fontes de informação. As tecnologias de IA já são utilizadas em várias aplicações de saúde, incluindo radiologia e análise de dados de sensores vestíveis, permitindo a detecção precoce de doenças e o monitoramento de condições de saúde<sup>[6][2]</sup>.

### Tipos de Algoritmos

Os algoritmos de IA variam significativamente, principalmente se enquadrando em duas categorias: algoritmos bloqueados e algoritmos adaptativos. Algoritmos bloqueados produzem resultados consistentes para entradas idênticas, enquanto algoritmos adaptativos podem modificar suas respostas com base em novos dados, gerando potencialmente resultados diferentes ao longo do tempo<sup>[6]</sup>.

O FDA aprovou até agora dispositivos de IA que utilizam algoritmos bloqueados, mas propôs uma estrutura regulatória para aqueles que usam técnicas de aprendizagem adaptativa. Isso apresenta oportunidades e desafios, pois algoritmos adaptativos podem evoluir com dados recebidos, mas também podem introduzir riscos associados à aprendizagem em tempo real e potenciais vieses na tomada de decisões<sup>[6]</sup>.

### Abordagens de Aprendizado de Máquina

A maioria das aplicações de aprendizagem de máquina (ML) na área da saúde depende de aprendizagem supervisionada, onde dados rotulados treinam o algoritmo para reconhecer padrões e fazer previsões<sup>[6]</sup>.

Por exemplo, um algoritmo pode ser treinado em conjuntos de dados rotulados de imagens médicas para diferenciar entre estados saudáveis e doentes. A precisão des-

ses modelos geralmente depende de conjuntos de dados de treinamento robustos e validação abrangente, o que garante que eles tenham um bom desempenho em dados novos e nunca vistos<sup>[6]</sup>.

### Coleta e Validação de Dados

A eficácia dos algoritmos de IA para detectar patógenos depende muito dos métodos de coleta de dados. Os dados podem ser obtidos de grandes sistemas de saúde, colaborações entre vários detentores de dados ou até mesmo de corretores de dados. Cada método apresenta desafios únicos, particularmente em relação à representatividade dos dados e potenciais vieses, que podem distorcer o desempenho do algoritmo<sup>[7]</sup>. A pesquisa envolveu revisão sistemática descritiva exploratória, feita entre 2020 a 2024 na base de dados PubMed, mostrando problemas relacionados à qualidade e representatividade dos dados, que podem levar a vieses algorítmicos, o que pode prejudicar a eficácia das aplicações de IA em diversos grupos demográficos de pacientes<sup>[5][6]</sup>.

A validação analítica é crucial neste contexto, pois estabelece que as características de desempenho de um algoritmo atendem a padrões aceitáveis, garantindo segurança e eficácia em aplicações do mundo real<sup>[7]</sup>.

### Avanços em técnicas de IA

Avanços recentes em poder de computação escalável promoveram o desenvolvimento de novas técnicas de IA, particularmente na área da saúde. Algoritmos de IA se destacam no processamento de grandes conjuntos de dados de alta dimensão, tornando-os adequados para otimizar caminhos de cuidados, padronizar diagnósticos e criar modelos preditivos<sup>[2]</sup>.

Por exemplo, um modelo de ML desenvolvido para distinguir pacientes com COVID-19 com base em índices sanguíneos demonstrou uma precisão impressionante de quase 97% em testes de validação, mostrando o potencial da IA em diagnósticos clínicos<sup>[2]</sup>.

### Desafios e Direções Futuras

Apesar das vantagens oferecidas pelos algoritmos adaptativos, eles vêm com riscos

como o potencial de aprendizado tendencioso a partir de dados falhos. Além disso, a natureza dinâmica dos dados de saúde — caracterizada por protocolos de tratamento em evolução e populações de pacientes — necessita de validação contínua de algoritmos de IA para manter sua precisão ao longo do tempo<sup>[6]</sup>.

O caminho a seguir envolve o refinamento de estruturas regulatórias e processos de validação, garantindo que os sistemas de IA possam se adaptar, permanecendo confiáveis e éticos em suas aplicações em ambientes de saúde<sup>[6][7]</sup>.

## RESULTADOS

O estudo sobre o desenvolvimento de um algoritmo de inteligência artificial para detecção precoce de patógenos em amostras clínicas produziu descobertas significativas em vários modelos de aprendizado de máquina empregados. O modelo Gradient Boosting Machine (GBM) demonstrou desempenho exemplar, alcançando uma precisão de 91,01% para o gênero *Enterobacteriaceae*, com um F1 Score correspondente de 0,944 e um Brier Score de 0,214, indicando alta precisão em previsões probabilísticas<sup>[4]</sup>.

A capacidade deste modelo de equilibrar precisão e recall foi evidente, particularmente para outros gêneros como *Streptococcus*, *Enterococcus* e fungos, para os quais obteve pontuações F1 perfeitas de 1,0000<sup>[4]</sup>.

O modelo K-Nearest Neighbors (KNN) apresentou desempenho consistente, notadamente com o gênero *Enterobacteriaceae*, atingindo uma precisão de 77,53% e um F1 Score de 0,779<sup>[4]</sup>.

Sua confiabilidade foi ainda mais destacada por um Brier Score moderado de 0,449, indicando previsões probabilísticas confiáveis. Além disso, o modelo Boosted Logistic Regression produziu resultados fortes, especialmente com o gênero *Streptococcus*, onde alcançou pontuações perfeitas em todas as métricas de avaliação e manteve alta precisão preditiva para *Enterobacteriaceae* e fungos, com taxas de precisão excedendo 83%<sup>[4]</sup>.

Métricas de avaliação incluindo precisão, exatidão, recall e pontuação F1 foram utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos. As descobertas consistentes em todas essas métricas ressaltaram a superioridade do modelo GBM, que superou outros por margens de 13,48%, 7,14% e 4,49% em termos de precisão<sup>[4]</sup>.

O estudo também empregou validação cruzada de 5 vezes para garantir a confiabilidade das taxas de precisão, mitigando o impacto de distribuições de dados desbalanceadas<sup>[11]</sup>.

Além disso, o uso de uma matriz de confusão para o modelo CNN forneceu uma representação visual rápida de gêneros classificados incorretamente, adicionando profundidade à avaliação do desempenho do modelo<sup>[11]</sup>.

## APLICAÇÕES

### Melhorando a tomada de decisões clínicas

Algoritmos de inteligência artificial (IA) desempenham um papel significativo na melhoria da eficácia e precisão da saúde pública e da tomada de decisões clínicas. Essas aplicações não apenas otimizam os resultados de assistência médica, mas também destacam a necessidade de uma estrutura robusta para gerenciar essas tecnologias de forma responsável<sup>[3]</sup>.

### Integração com sistemas de saúde

A integração de algoritmos de IA em sistemas de saúde existentes pode ser alcançada por meio de várias abordagens técnicas. Por exemplo, a criação de Interfaces de Programação de Aplicativos (APIs) padronizadas facilita a troca de dados e o acesso à funcionalidade entre sistemas Edge AI e infraestruturas de saúde<sup>[12]</sup>.

Plataformas de middleware e integração projetadas especificamente para assistência médica podem otimizar a integração de dados e o alinhamento do fluxo de trabalho, aumentando assim a eficiência operacional<sup>[12]</sup>.

Os projetos piloto servem como estudos de prova de conceito, demonstrando a viabilidade da integração de tecnologias Edge

AI para previsão precoce da saúde em estruturas de saúde estabelecidas<sup>[12]</sup>.

### Considerações regulatórias

A Food and Drug Administration (FDA) desempenha um papel crucial na regulamentação de produtos médicos baseados em IA. Muitas soluções baseadas em IA são classificadas como Software como Dispositivo Médico (SaMD), especialmente aquelas destinadas a propósitos de diagnóstico, como software que analisa imagens de ressonância magnética para detectar derrames ou câncer de mama<sup>[6]</sup>.

A regulamentação destes sistemas é baseada na sua utilização pretendida e nos níveis de risco associados, necessitando de uma avaliação cuidadosa para garantir a segurança e a eficácia<sup>[6]</sup>.

### IA e abordagens centradas no paciente

As aplicações de IA também fortalecem o envolvimento do paciente ao utilizar diversos conjuntos de dados para criar soluções personalizadas de assistência médica. Por exemplo, a incorporação de AIoT (Inteligência Artificial da Internet das Coisas) melhora a qualidade do atendimento para condições crônicas e pacientes idosos por meio de monitoramento contínuo e captura de dados<sup>[5]</sup>.

Tecnologias como blockchain e Federated Learning garantem que os dados do paciente permaneçam seguros e privados, ao mesmo tempo em que permitem planos de tratamento mais personalizados<sup>[5]</sup>.

Além disso, métodos como Criptografia Homomórfica e Privacidade Diferencial contribuem para proteger as identidades dos pacientes durante a análise de dados, promovendo assim uma abordagem centrada no paciente na assistência à saúde<sup>[5]</sup>.

### Informando a Gestão Clínica

Muitos sistemas clínicos de IA são projetados para "informar" em vez de "conduzir" a gestão clínica, permitindo que clínicos experientes corroborem e revisem as recomendações geradas pela IA<sup>[7]</sup>.

Esses sistemas podem melhorar a qualidade e a consistência dos exames diagnósti-

cos, melhorando, em última análise, os resultados clínicos<sup>[7]</sup>. Os órgãos reguladores esperam que esses sistemas de IA ofereçam suporte a práticas clínicas mais seguras e eficazes, alinhando-se com os objetivos da medicina personalizada<sup>[7]</sup>.

## DESAFIOS E LIMITAÇÕES

### Qualidade e disponibilidade de dados

No desenvolvimento de algoritmos de IA para detecção de patógenos, a qualidade e a disponibilidade de dados representam desafios significativos. Países de baixa e média renda (LMICs) frequentemente lutam para sustentar a transmissão diária de dados devido a restrições de recursos, dificultando a coleta de conjuntos de dados abrangentes necessários para treinamento e aplicação eficazes de IA<sup>[9]</sup>.

Por exemplo, os Estados Federados da Micronésia e Samoa enfrentaram problemas de conectividade e acesso limitado a pessoal treinado ao tentar utilizar uma ferramenta de vigilância baseada na web durante eventos significativos, destacando as dificuldades na coleta e gerenciamento de dados em cenários de poucos recursos<sup>[9]</sup>.

### Preocupações éticas e de privacidade

A integração de tecnologias de IA na assistência médica levanta questões éticas substanciais, particularmente no que diz respeito à privacidade do paciente e à segurança de dados. O uso de grandes quantidades de dados pessoais de saúde exige salvaguardas robustas contra acesso não autorizado e violações<sup>[3]</sup>.

A anonimização dos dados dos pacientes, embora essencial para a privacidade, pode levar a complicações na garantia da representatividade dos conjuntos de dados, o que é crucial para mitigar o viés nos modelos de IA<sup>[6]</sup>.

Além disso, o debate em torno do consentimento do paciente para o compartilhamento de dados complica o cenário ético, pois os indivíduos podem não entender completamente como seus dados serão usados<sup>[6]</sup>.

### Viés e justiça algorítmica

O viés em algoritmos de IA pode surgir de várias fontes, incluindo a qualidade dos dados de treinamento e o contexto em que um algoritmo é desenvolvido e aplicado. Rotulagem inconsistente ou experiência insuficiente durante a coleta de dados pode levar a modelos distorcidos, enquanto algoritmos projetados em ambientes com bons recursos podem não generalizar efetivamente em cenários menos equipados<sup>[6]</sup>.

Abordar a justiça algorítmica é fundamental para garantir um tratamento equitativo entre diversos grupos demográficos de pacientes, exigindo a inclusão de conjuntos de dados variados em processos de treinamento de IA<sup>[5]</sup>.

## Limitações técnicas

Apesar dos avanços nas tecnologias de detecção de patógenos, muitos métodos tradicionais permanecem limitados por longos tempos de processamento e procedimentos complexos. Essas limitações dificultam a rápida identificação de patógenos, um fator crítico para o diagnóstico clínico eficaz e respostas de saúde pública<sup>[1]</sup>.

Além disso, as técnicas de detecção atuais podem não atender adequadamente às necessidades clínicas devido à dependência de grandes instrumentos, retardando assim o processo de diagnóstico e limitando as intervenções oportunas<sup>[1]</sup>.

## Desafios de implementação

A implantação bem-sucedida de ferramentas habilitadas por IA em ambientes clínicos requer não apenas integração técnica com sistemas de saúde existentes, mas também treinamento abrangente do usuário e conscientização sobre riscos potenciais. Há uma necessidade urgente de transparência e confiança do usuário em soluções de saúde orientadas por IA para mitigar medos em torno da tomada de decisão algorítmica e vieses<sup>[6]</sup>.

A implementação da IA sem uma validação completa no contexto local pode levar a recomendações inadequadas para instalações com menos recursos, complicando ainda mais a prestação de cuidados de saúde<sup>[6]</sup>.

## Quadros Regulatórios

O cenário regulatório para inteligência artificial (IA) na área da saúde está evoluindo rapidamente, necessitando de estruturas que abordem os desafios únicos impostos pelas tecnologias de IA, particularmente no contexto de gerenciamento de dados de saúde e privacidade do paciente. Dados de saúde, frequentemente categorizados como sensíveis, estão sujeitos a regulamentações rigorosas sob leis como o Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR) na União Europeia e várias leis de proteção ao consumidor nos Estados Unidos, como o California Consumer Protection Act<sup>[7][8]</sup>.

O RGPD determina que os dados pessoais sejam coletados e processados apenas para fins legítimos com o consentimento explícito dos indivíduos, influenciando assim as práticas de privacidade de entidades envolvidas no desenvolvimento de IA médica, mesmo fora da UE<sup>[7]</sup>.

## Explicabilidade e Transparência

Os órgãos reguladores estão cada vez mais reconhecendo a importância da explicabilidade e da transparência em sistemas de IA. A explicabilidade pode ser necessária não apenas para supervisão de segurança e eficácia, mas também para garantir que clínicos, agentes de garantia de qualidade e desenvolvedores possam entender os processos de tomada de decisão de ferramentas de IA<sup>[7]</sup>.

Isso é particularmente relevante à luz do 21st Century Cures Act, que deixa certas ambiguidades em relação ao software de IA usado para recomendações clínicas e exige que os profissionais de saúde avaliem essas ferramentas de forma independente<sup>[7]</sup>.

A discricção de execução da FDA complica ainda mais o cenário regulatório ao permitir que algumas aplicações de IA contornem regulamentações rigorosas sobre dispositivos médicos<sup>[7]</sup>.

## CONCLUSÃO

### Privacidade e Proteção de Dados

As preocupações com a privacidade são primordiais no desenvolvimento de sistemas de IA, especialmente considerando

que o treinamento de IA normalmente envolve grandes conjuntos de dados contendo informações de saúde confidenciais<sup>[7][8]</sup>.

Salvaguardas efetivas são necessárias para proteger a privacidade do paciente e garantir agência sobre dados pessoais. Parcerias público-privadas recentes em IA levantaram alarmes sobre proteções de privacidade inadequadas, destacando a necessidade de mecanismos de supervisão robustos<sup>[8]</sup>.

Além disso, o risco de reidentificação de dados por meio de algoritmos avançados exige uma melhoria contínua nas técnicas de anonimização e um foco na administração de dados por custodiantes privados<sup>[8]</sup>.

## Perspectivas Internacionais

Embora a UE tenha estabelecido um quadro regulamentar forte com iniciativas como a proposta de Lei da IA, outras jurisdições, como o Canadá, ainda estão a desenvolver regulamentações personalizadas<sup>[8][13]</sup>.

O cenário regulatório atual é caracterizado por uma colcha de retalhos de leis que podem não abordar totalmente as implicações da IA na assistência médica. Portanto, há uma necessidade urgente de estruturas abrangentes que alinhem as regulamentações de IA com os padrões de saúde, segurança e direitos humanos para promover a implementação ética e eficaz em ambientes clínicos<sup>[13][14]</sup>.

## Direções Futuras

A fase inicial da regulamentação da IA indica uma necessidade urgente de avaliação e adaptação contínuas para acompanhar os avanços tecnológicos<sup>[13]</sup>.

À medida que os sistemas de saúde adotam cada vez mais tecnologias de IA, as estruturas regulatórias devem evoluir para abordar desafios específicos relacionados a dispositivos médicos de IA, proteção de dados e segurança do paciente, garantindo assim o uso responsável da IA na detecção de patógenos e outras aplicações clínicas<sup>[13][14]</sup>.

## CONCLUSÃO

Tendo em vista a crescente necessidade de estudo sobre esse tema, a busca por protocolos que otimizem descobertas e possam prever contágios em massa, auxiliar profissionais de saúde nos diagnósticos e tratamentos, e ser parte da logística de planejamento da gestão de saúde ao redor do mundo, é uma realidade. Todavia, as preocupações com a privacidade são primordiais no desenvolvimento de sistemas de IA especialmente considerando que o treinamento de IA normalmente envolve grandes conjuntos de dados contendo informações de saúde confidenciais.

Buscar a criação de bancos de dados que corroborem com as leituras e entendimen-

tos sobre contágios de ordem pandêmicos como sofremos outrora é de suma importância. Porém, as salvaguardas efetivas são necessárias para proteger a privacidade dos pacientes, garantias sobre dados pessoais e sua segurança. Parcerias público-privadas recentes em IA levantaram alarmes sobre proteções de privacidade inadequadas, destacando a necessidade de mecanismos de supervisão robustos. Além disso, o risco de reidentificação de dados por meio de algoritmos avançados exige uma melhoria contínua nas técnicas de anonimização e um foco na administração de dados por custodiantes privados.

Embora a União Europeia tenha esta-

belecido um quadro regulamentar forte com iniciativas como a proposta de Lei da IA, outras jurisdições, como o Canadá, ainda estão a desenvolver regulamentações personalizadas. Outrossim, cenário regulatório atual é caracterizado por uma colcha de retalhos de leis que podem não abordar totalmente as implicações da IA na assistência médica. Portanto, há uma necessidade urgente de estruturas abrangentes que alinhem as regulamentações de IA com os padrões de saúde, segurança e direitos humanos para promover a implementação ética e eficaz em ambientes clínicos.

## REFERÊNCIAS

- YUNQIU, Gao; MIN, Liu. Application of machine learning based genome sequence analysis in pathogen identification. *Front. Microbiol.*, 01 October 2024, Sec. Systems Microbiology. V15 – 2024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1474078>.
- MECKAWY, R., STUCKLER, D., MEHTA, A. et al. Eficácia dos sistemas de alerta precoce na detecção de surtos de doenças infecciosas: uma revisão sistemática. *BMC Saúde Pública* 22, 2216 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14625-4>.
- ABDULKAREEM, M., AND PETERSEN, SE. (2021) The Promise of AI in Detection, Diagnosis, and Epidemiology for Combating COVID-19: Beyond the Hype. *Front. Artif. Intell.* 4:652669. doi: 10.3389/frai.2021.652669.
- DANKWA-MULLAN, I. Equidade em saúde e considerações éticas no uso da inteligência artificial em saúde pública e medicina. *Prev Chronic Dis* 2024;21:240245 (em inglês). DOI: <http://dx.doi.org/10.5888/pcd21.240245>.
- WILLIAMSON, S. M., AND PRYBUTOK, V. 2024. "Balancing Privacy and Progress: A Review of Privacy Challenges, Systemic Oversight, and Patient Perceptions in AI-Driven Healthcare" *Applied Sciences* 14, no. 2: 675. <https://doi.org/10.3390/app14020675>.
- HARRIS, MOHAMMED. 2023. "Machine Learning and Artificial Intelligence for Pathogen Identification and Antibiotic Resistance Detection: Advancing Diagnostics for Urinary Tract Infections" *BioMed* 3, no. 2: 246-255. <https://doi.org/10.3390/biomed3020022>.
- FDA. How FDA Regulates Artificial Intelligence in Medical Products. As technology evolves, oversight will need to keep pace. *Health Care Products*. August 5, 2021.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2022. *Artificial Intelligence in Health Care: The Hope, the Hype, the Promise, the Peril*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/27111>.
- LIU, Q., CHEN, Y., XIE, P. et al. Desenvolvimento de um modelo preditivo de aprendizado de máquina para perfis de patógenos em pacientes com imunodeficiência secundária. *BMC Med Inform Decis Mak* 24, 48 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12911-024-02447-w>.
- Jia-Wei, Tang; Jia-Qi Li; Jia-Qi, Li; Xiao-Cong, Yin; Xiao-Cong, Yin; Wen-Wen, Xu; Wen-Wen, Xu; Ya-Cheng, Pan; Ya-Cheng, Pan; Qing-Hua, Liu; Qing-Hua, Liu; Bing, Gu; Bing, Gu; Xiao, Zhang; Xiao, Zhang; Liang, Wang; Liang, Wang. Rapid Discrimination of Clinically Important Pathogens Through Machine Learning Analysis of Surface Enhanced Raman Spectra. *Front. Microbiol.*, 07 April 2022 Sec. Systems Microbiology. Volume 13 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.843417>.
- BADIDI, ELARBI. 2023. "Edge AI for Early Detection of Chronic Diseases and the Spread of Infectious Diseases: Opportunities, Challenges, and Future Directions" *Future Internet* 15, no. 11: 370. <https://doi.org/10.3390/fi15110370>.
- MURDOCH, EM B. Privacidade e inteligência artificial: desafios para proteger a informação de saúde em uma nova era. *BMC Med Ética* 22, 122 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12910-021-00687-3>.
- SCHMIDT J, SCHUTTE NM, BUTTIGIEG S, NOVILLO-ORTIZ D, SUTHERLAND E, ANDERSON M, DE WITTE B, PEOLSSON M, UNIM B, PAVLOVA M, STERN AD, MOSSIALOS E, VAN KESSEL R. Mapeamento do panorama regulamentar da inteligência artificial em saúde na União Europeia. *Baixar o jogo NPJ Digit Med*. 2024 Ago 27;7(1):229. doi: 10.1038/s41746-024-01221-6. PMID: 39191937; PMCID: PMC11350181.
- SARANTOPOULOS, ANDREAS, CHRISTINA MASTORI KOURMPANI, ATSHAYA LILY YOKARASA, CHIEDZA MAKAMANZI, POLYNA ANTONIOU, NIKOLAOS SPERNOVASILIS, AND CONSTANTINOS TSIOUTIS. 2024. "Artificial Intelligence in Infectious Disease Clinical Practice: An Overview of Gaps, Opportunities, and Limitations" *Tropical Medicine and Infectious Disease* 9, no. 10: 228. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed9100228>.
- Huang T, Zhang R, Li J. CRISPR-Cas-based techniques for pathogen detection: Retrospect, recent advances, and future perspectives. *J Adv Res*. 2023 Aug;50:69-82. doi: 10.1016/j.jare.2022.10.011. Epub 2022 Oct 30. PMID: 36367481; PMCID: PMC10403697.