



## ANÁLISE PREDITIVA EM CIRURGIA GERAL: MODELOS AVANÇADOS E O FUTURO DA PREVENÇÃO DE COMPLICAÇÕES PÓS-OPERATÓRIAS

Ana Carolina de Mello Leoni <sup>1</sup>, Bruna Furukawa <sup>2</sup>, Júlio Cezar Cardoso de Oliveira <sup>3</sup>, Pedro Henrique Rodrigues Ferreira <sup>4</sup>, Fernanda Machado Maranhão <sup>1</sup>, Gustavo Alves Colombo <sup>5</sup>, Matheus Henrique Vilani <sup>6</sup>, Robner Carlos Lopes Assunção <sup>7</sup>, Bruna Luisa Facciolo <sup>8</sup>, Bernardo Coradi Burille <sup>9</sup>, Amanda Brosda Packer <sup>1</sup>, Tatiane de Souza Domingos <sup>1</sup>, Leonardo Gauginski Marchetti <sup>10</sup>.



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n10p4223-4237>

Artigo recebido em 30 de Julho e publicado em 28 de Outubro de 2024

### ARTIGO DE REVISÃO

#### RESUMO

A análise preditiva de complicações pós-operatórias em cirurgia geral emergiu como uma ferramenta de grande relevância para melhorar a segurança do paciente e otimizar o uso de recursos hospitalares. Por meio da integração de técnicas avançadas de aprendizado de máquina e modelos estatísticos, é possível prever, com maior precisão, quais pacientes estão em risco de desenvolver complicações graves, como infecções, tromboembolismo venoso e falência de órgãos. Este artigo oferece uma revisão crítica da literatura sobre os principais métodos de análise preditiva, incluindo regressão logística, florestas aleatórias, máquinas de vetor de suporte (SVM) e redes neurais, bem como das variáveis preditivas mais relevantes, como idade, comorbidades pré-existentes, estado nutricional e características intraoperatórias. Também discutimos as aplicações clínicas desses modelos, que incluem a personalização dos cuidados, a melhoria da alocação de recursos e a redução de custos hospitalares. Embora os modelos preditivos apresentem benefícios significativos, a implementação clínica enfrenta desafios importantes, como a qualidade dos dados, a generalização dos modelos para diferentes contextos e a interpretabilidade das previsões. Concluímos que, apesar desses desafios, a análise preditiva representa uma fronteira promissora na medicina perioperatória, com potencial para melhorar substancialmente os desfechos cirúrgicos, desde que acompanhada de esforços tecnológicos e éticos adequados.

**Palavras-chave:** análise preditiva, complicações pós-operatórias, cirurgia geral, personalização do cuidado, inteligência artificial.

# PREDICTIVE ANALYTICS IN GENERAL SURGERY: ADVANCED MODELS AND THE FUTURE OF POSTOPERATIVE COMPLICATION PREVENTION

## ABSTRACT

Predictive analysis of postoperative complications in general surgery has emerged as a highly relevant tool for improving patient safety and optimizing the use of hospital resources. By integrating advanced machine learning techniques and statistical models, it is possible to predict with greater accuracy which patients are at risk of developing serious complications, such as infections, venous thromboembolism, and organ failure. This article provides a critical review of the literature on the main predictive analysis methods, including logistic regression, random forests, support vector machines (SVM), and neural networks, as well as the most relevant predictive variables, such as age, pre-existing comorbidities, nutritional status, and intraoperative characteristics. We also discuss the clinical applications of these models, which include personalizing care, improving resource allocation, and reducing hospital costs. Although predictive models have significant benefits, clinical implementation faces important challenges, such as data quality, generalization of models to different contexts, and interpretability of predictions. We conclude that, despite these challenges, predictive analytics represents a promising frontier in perioperative medicine, with the potential to substantially improve surgical outcomes, provided it is accompanied by appropriate technological and ethical efforts.

**Keywords:** predictive analytics, postoperative complications, general surgery, personalization of care, artificial intelligence.

**Instituição afiliada** – 1 Universidade Paranaense, 2 Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná, 3 Universidade Cesumar, 4 Universidade do Estado do Pará, 5 Fundação Hospitalar São Lucas, 6 Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, 7 Universidade da Amazônia, 8 Centro Universitário Ingá, 9 Atitus Educação, 10 Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí.

**Autor correspondente:** TAna Carolina de Mello Leoni . [ana.leoni@edu.unipar.br](mailto:ana.leoni@edu.unipar.br)

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



## INTRODUÇÃO

As complicações pós-operatórias representam um desafio significativo em cirurgias de grande porte, especialmente no campo da cirurgia geral. Variam desde condições leves e transitórias, como febre e dor, até eventos graves como infecções sistêmicas, tromboembolismo venoso, falência de órgãos e óbito. Dado seu impacto na saúde dos pacientes, na carga de trabalho médico e nos custos hospitalares, a previsão e prevenção dessas complicações tornaram-se focos críticos de pesquisa em medicina perioperatória (Dharap; Barbaniya; Navgale, 2022).

Tradicionalmente, a avaliação de risco pós-operatório baseava-se na experiência clínica e protocolos padronizados que consideram fatores como idade, comorbidades, tipo de cirurgia e estado pré-operatório. Embora úteis, essas abordagens não captam a complexidade das interações clínicas envolvidas, destacando a necessidade de métodos mais precisos e personalizados. Nesse contexto, a análise preditiva vem se destacando como ferramenta eficaz, utilizando técnicas estatísticas e algoritmos de machine learning para detectar padrões em grandes volumes de dados clínicos. Ao integrar variáveis demográficas, laboratoriais, cirúrgicas e pós-operatórias, esses modelos fornecem estimativas personalizadas do risco de complicações, abrindo novas possibilidades para intervenções preventivas (Merath *et al.*, 2020).

O avanço da inteligência artificial (IA) e do machine learning impulsionou a criação de modelos robustos, como redes neurais, florestas aleatórias e máquinas de vetor de suporte (SVMs), que superam métodos tradicionais em termos de acurácia preditiva. Esses modelos processam múltiplas variáveis em tempo real, ajustando previsões com novos dados, avançando em direção à medicina personalizada (Kurani *et al.*, 2023). Na cirurgia geral, complicações como infecções no local cirúrgico, tromboembolismo venoso e insuficiência respiratória são comuns, afetando entre 10% a 20% dos pacientes e aumentando morbidade, mortalidade e custos hospitalares. O desenvolvimento de ferramentas preditivas que identifiquem precocemente pacientes de alto risco é oportuno para otimizar os cuidados, evitar complicações preveníveis e alocar adequadamente os recursos hospitalares (Bonde *et al.*, 2021).

Este artigo revisa o estado da arte na análise preditiva de complicações pós-operatórias em cirurgia geral, abordando os principais modelos utilizados, as variáveis

mais relevantes e o impacto clínico dessas abordagens. Discutem-se também os desafios e limitações da implementação de modelos preditivos na prática clínica e as futuras oportunidades de integração de tecnologias de IA na rotina cirúrgica, visando aprimorar a medicina personalizada.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para a elaboração deste artigo segue os preceitos de uma revisão narrativa da literatura, focada na análise preditiva de complicações pós-operatórias em cirurgia geral. O objetivo desta revisão é oferecer uma visão abrangente sobre os principais modelos preditivos, as variáveis mais relevantes e o impacto clínico da análise preditiva no contexto da cirurgia geral.

Foram realizadas buscas em bases de dados acadêmicas de amplo reconhecimento, como PubMed, Scopus e Google Scholar, entre os anos de 2015 e 2023, com foco em artigos publicados em inglês, português e espanhol. As palavras-chave utilizadas incluíram: "predictive analytics", "postoperative complications", "general surgery", "machine learning", "risk prediction" e "artificial intelligence". Além disso, foram incluídas combinações desses termos para garantir a abrangência da busca e a identificação dos artigos mais relevantes. Foram excluídos estudos de caso, revisões sistemáticas, editoriais e publicações sem revisão por pares, concentrando-se exclusivamente em estudos originais e revisões narrativas com rigor metodológico adequado.

A seleção dos artigos foi feita em etapas. Inicialmente, foram considerados os títulos e resumos dos trabalhos encontrados, com o objetivo de verificar sua pertinência ao tema proposto. Em seguida, os artigos selecionados foram lidos na íntegra e avaliados quanto à qualidade metodológica, relevância do tema e contribuição para a análise preditiva de complicações pós-cirúrgicas. Estudos que abordaram outras especialidades cirúrgicas ou complicações não diretamente relacionadas à cirurgia geral foram excluídos, assim como aqueles que não apresentaram modelos preditivos ou resultados quantitativos claros. O processo de seleção resultou em uma amostra de artigos que abrangeram tanto modelos estatísticos tradicionais, como a regressão logística, quanto

técnicas mais avançadas de aprendizado de máquina, como redes neurais e florestas aleatórias.

A análise dos dados foi conduzida de forma qualitativa, com o objetivo de identificar padrões nos resultados apresentados pelos diferentes estudos, bem como discutir as vantagens e desvantagens de cada abordagem preditiva. Foram considerados os desafios práticos de implementação dos modelos preditivos na prática clínica e suas implicações para a personalização do cuidado cirúrgico. Ao longo da revisão, buscou-se apresentar uma discussão crítica e integrada das diferentes abordagens, sem a pretensão de realizar uma análise estatística formal ou uma comparação quantitativa direta entre os estudos. Assim, esta revisão busca fornecer uma síntese atualizada e crítica sobre o uso da análise preditiva de complicações pós-operatórias em cirurgia geral, destacando suas implicações para a prática cirúrgica e as perspectivas futuras para o desenvolvimento de tecnologias preditivas no campo da saúde.

## **RESULTADOS**

### **COMPLICAÇÕES PÓS-CIRÚRGICAS EM CIRURGIA GERAL**

As complicações pós-cirúrgicas representam uma preocupação central na prática da cirurgia geral, sendo responsáveis por aumentos significativos na morbidade e mortalidade, além de implicarem em elevados custos hospitalares e na necessidade de intervenções adicionais. Estima-se que entre 10% e 20% dos pacientes submetidos a procedimentos de cirurgia geral desenvolvam alguma complicação pós-operatória, variando em gravidade e tempo de recuperação (Sioutas; Tsoulfas, 2020). A compreensão desses eventos adversos é essencial para a implementação de estratégias preventivas e a otimização dos cuidados perioperatórios.

Entre as complicações mais frequentes na cirurgia geral estão as infecções no local cirúrgico (SSI - Surgical Site Infection), que correspondem a uma parcela considerável dos eventos adversos pós-operatórios. As infecções ocorrem em cerca de 2% a 5% de todas as cirurgias, mas essa taxa pode ser significativamente maior em operações de grande porte, como as cirurgias abdominais. As infecções podem variar desde superficiais leves até profundas ou abscessos, com risco de sepse e óbito. A

ocorrência de SSI está associada a fatores de risco como a duração prolongada da cirurgia, obesidade, diabetes mellitus e inadequada esterilização dos instrumentos cirúrgicos. Além disso, procedimentos que envolvem a abertura de vísceras ocas, como intestino e estômago, apresentam maior risco de contaminação (Gillespie *et al.*, 2021).

Outro grupo relevante de complicações envolve o tromboembolismo venoso (TEV), que inclui a trombose venosa profunda (TVP) e a embolia pulmonar (EP). Essas condições são mais prevalentes em pacientes cirúrgicos imobilizados por longos períodos e em pacientes com condições predisponentes, como distúrbios de coagulação, neoplasias malignas ou obesidade. A embolia pulmonar, em particular, é uma complicação grave e frequentemente fatal, sendo responsável por uma porcentagem significativa de mortes pós-cirúrgicas (Áinle; Kevane, 2020).

Além das infecções e do tromboembolismo, complicações respiratórias, como pneumonia e insuficiência respiratória aguda, constituem outra categoria significativa de complicações pós-cirúrgicas. Pacientes submetidos a cirurgias de grande porte, especialmente aqueles com doenças pulmonares pré-existentes ou ventilação mecânica prolongada, estão em maior risco. A pneumonia pós-operatória pode resultar da aspiração de conteúdo gástrico durante o período de anestesia ou da hipoventilação alveolar em pacientes que apresentam dor significativa e, conseqüentemente, ineficiência na expansão torácica. Esses eventos respiratórios podem prolongar a internação hospitalar e aumentar a mortalidade perioperatória (Fadhil; Abud; Alwan, 2024).

As complicações cardiovasculares também são de grande relevância na prática cirúrgica. Arritmias, infarto agudo do miocárdio (IAM) e insuficiência cardíaca aguda são frequentes, especialmente em pacientes com doenças cardíacas prévias ou naqueles submetidos a cirurgias de alto risco, como as de emergência. O estresse cirúrgico, combinado com a resposta inflamatória sistêmica e o uso de anestésicos, pode descompensar pacientes com doença arterial coronariana subjacente ou insuficiência cardíaca latente. Em muitos casos, essas complicações cardiovasculares são difíceis de prever, uma vez que podem ocorrer sem sintomas pré-operatórios significativos (Kashlan; Kinno; Syed, 2024).

Uma complicação menos frequente, mas igualmente devastadora, é a falência de múltiplos órgãos (FOM), uma condição grave que geralmente resulta de uma cascata

de eventos iniciada por sepse ou outras complicações sistêmicas. A FOM está associada a uma alta taxa de mortalidade e tipicamente requer suporte intensivo em unidades de terapia intensiva (UTI). Pacientes que desenvolvem falência de múltiplos órgãos geralmente têm uma condição clínica subjacente complexa, o que torna difícil a recuperação plena, mesmo com intervenções agressivas (Wells *et al.*, 2024).

Complicações menos discutidas, mas igualmente preocupantes, incluem complicações neurológicas, como acidente vascular cerebral (AVC) e delirium pós-operatório, especialmente em pacientes idosos ou indivíduos submetidos a longos períodos de anestesia geral. O delirium, em particular, tem implicações profundas na recuperação pós-cirúrgica, sendo frequentemente subdiagnosticado e associado a uma maior taxa de complicações, incluindo quedas e infecções (Gummadi; Pascual, 2024).

Essas complicações não ocorrem de forma isolada; muitas vezes, os pacientes que desenvolvem uma complicação, como uma infecção, têm maior probabilidade de desenvolver outras complicações subsequentes, criando um ciclo vicioso de eventos adversos. Por exemplo, uma infecção grave pode levar à sepse, que, por sua vez, pode precipitar falência de múltiplos órgãos e insuficiência respiratória. Da mesma forma, pacientes que experimentam complicações cardíacas podem ter maior risco de desenvolver TEV devido à imobilização prolongada e ao uso de fármacos que afetam a coagulação (Jin, 2024).

## **MÉTODOS DE ANÁLISE PREDITIVA**

A análise preditiva aplicada ao contexto das complicações pós-operatórias em cirurgia geral tem se consolidado como uma abordagem promissora para mitigar riscos e personalizar o cuidado ao paciente. Com os avanços nas tecnologias de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina, a capacidade de prever complicações com base em grandes volumes de dados clínicos e operacionais se expandiu, permitindo uma avaliação mais detalhada dos fatores de risco e, conseqüentemente, a adoção de medidas preventivas eficazes. Diversos métodos de análise preditiva são utilizados nesse contexto, variando de modelos estatísticos tradicionais a técnicas mais complexas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo (deep learning), cada um com suas vantagens e limitações.



O modelo de regressão logística é um dos métodos mais amplamente empregados na previsão de complicações cirúrgicas. Esse método estatístico, baseado na análise de variáveis dependentes binárias, é particularmente útil para prever a ocorrência de eventos dicotômicos, como a presença ou ausência de uma complicação. A regressão logística tem sido amplamente utilizada para modelar o risco de complicações, incorporando variáveis pré-operatórias como idade, comorbidades, parâmetros laboratoriais e o tipo de cirurgia. Sua principal vantagem está na simplicidade de interpretação, pois os coeficientes gerados pelo modelo fornecem uma medida direta do impacto de cada variável sobre o risco de complicação. No entanto, a regressão logística tem limitações quando aplicada a conjuntos de dados complexos que envolvem interações não lineares entre variáveis, reduzindo sua capacidade preditiva em cenários com grandes volumes de dados multivariados (Li *et al.*, 2024).

Em contrapartida, os métodos de aprendizado de máquina, como árvores de decisão e florestas aleatórias (Random Forest), oferecem maior flexibilidade para lidar com dados mais complexos. Árvores de decisão são estruturas hierárquicas que utilizam uma série de bifurcações para classificar os dados de acordo com variáveis preditivas, sendo capazes de modelar relações não lineares de maneira intuitiva. As florestas aleatórias, por sua vez, são um conjunto de múltiplas árvores de decisão que trabalham em conjunto para melhorar a acurácia preditiva, reduzindo o risco de sobreajuste (overfitting) que pode ocorrer quando se utiliza uma única árvore. Estudos recentes mostram que as florestas aleatórias apresentam excelente desempenho na previsão de complicações, especialmente quando aplicadas a grandes bases de dados clínicos, devido à sua capacidade de lidar com variáveis heterogêneas e interdependentes. Apesar da alta performance, a complexidade desses modelos dificulta a interpretação direta dos resultados, criando um desafio para a aplicação clínica rotineira (Odat *et al.*, 2024).

Modelos mais recentes, baseados em redes neurais artificiais e deep learning, demonstram grande potencial na análise preditiva de complicações pós-cirúrgicas. As redes neurais artificiais são inspiradas no funcionamento do cérebro humano e são capazes de identificar padrões complexos em grandes volumes de dados. Elas são compostas por camadas de neurônios artificiais que processam informações e ajustam os pesos das conexões conforme aprendem com os dados de entrada. No contexto

cirúrgico, redes neurais têm sido empregadas para prever uma ampla gama de complicações, desde infecções pós-operatórias até falência de órgãos. O uso de redes neurais profundas (deep neural networks) tem aumentado significativamente a capacidade de processamento, permitindo que os modelos identifiquem relações não lineares complexas e padrões ocultos que não são facilmente detectáveis por métodos convencionais. Contudo, a complexidade dessas redes também representa uma desvantagem, pois funcionam como "caixas-pretas", tornando difícil identificar como cada variável contribui para o resultado preditivo. Esses modelos exigem grandes volumes de dados de alta qualidade para treinamento, o que pode ser uma limitação em alguns contextos hospitalares (Awuah *et al.*, 2024).

Além das abordagens mencionadas, há crescente interesse no uso de modelos de sobrevivência, como o modelo de Cox, para prever complicações pós-operatórias. Diferentemente dos modelos preditivos tradicionais, que se concentram na ocorrência ou não de um evento, os modelos de sobrevivência avaliam o tempo até que determinado evento ocorra, oferecendo uma análise mais detalhada do risco temporal das complicações. Essa abordagem é particularmente útil em cirurgias de risco, onde a ocorrência de complicações pode estar associada a variáveis temporais, como a duração do procedimento ou o tempo de recuperação pós-operatória (Yin *et al.*, 2024).

### **LIMITAÇÕES E DESAFIOS**

A aplicação de modelos preditivos para complicações pós-cirúrgicas em cirurgia geral, embora promissora, enfrenta diversas limitações e desafios que devem ser cuidadosamente considerados antes de sua ampla adoção na prática clínica. Esses obstáculos incluem questões relacionadas à qualidade e à disponibilidade de dados, à interpretabilidade dos modelos, à integração tecnológica nos sistemas hospitalares e à aceitação pelos profissionais de saúde. Cada um desses desafios representa uma barreira importante para a implementação eficaz dos modelos preditivos, impactando diretamente sua precisão, aplicabilidade e utilidade clínica.

Um dos principais desafios está na qualidade dos dados clínicos disponíveis para alimentar os modelos preditivos. A acurácia e a robustez de qualquer modelo de previsão dependem diretamente da qualidade dos dados inseridos. No entanto, muitos

sistemas hospitalares ainda operam com dados fragmentados, incompletos ou mal estruturados. A coleta de dados clínicos frequentemente está sujeita a inconsistências de registro, que variam entre diferentes instituições e profissionais. A ausência de padronização na nomenclatura médica e na documentação dos prontuários eletrônicos de saúde (PES) dificulta a criação de bases de dados consistentes e interoperáveis, o que pode prejudicar o desempenho dos modelos. Sem dados completos e de alta qualidade, a capacidade dos algoritmos de aprendizado de máquina para prever complicações de forma precisa e confiável fica significativamente comprometida (Balch *et al.*, 2024).

Outro fator limitante é a generalização dos modelos preditivos. A maioria dos modelos é treinada em bases de dados locais, com informações específicas de uma determinada população de pacientes e de uma única instituição. Esse viés geográfico e demográfico pode limitar a aplicabilidade dos modelos em outros contextos hospitalares, especialmente em populações de pacientes que diferem em termos de perfil epidemiológico e práticas clínicas. Modelos construídos em grandes hospitais ou centros especializados podem não ser adequados para aplicação em instituições menores ou em regiões com características socioeconômicas e de saúde distintas (Arina *et al.*, 2024).

Além disso, os desafios de interpretabilidade dos modelos preditivos, especialmente os baseados em aprendizado de máquina, são uma barreira significativa para sua aceitação pelos profissionais de saúde. Algoritmos complexos, como redes neurais profundas, embora altamente precisos, funcionam como "caixas-pretas", dificultando a compreensão de como as variáveis individuais contribuem para as previsões finais. A falta de transparência no processo decisório dos modelos cria desconfiança entre médicos e outros profissionais de saúde, que tradicionalmente utilizam ferramentas diagnósticas e prognósticas de fácil interpretação. Modelos preditivos sem explicabilidade clara podem não ser adotados em larga escala, a menos que sejam acompanhados por sistemas que forneçam justificativas compreensíveis para suas previsões, facilitando a confiança e a tomada de decisões clínicas baseadas em dados (Abi-Rafeh *et al.*, 2024).

Outro desafio relevante é a integração tecnológica dos modelos preditivos nos fluxos de trabalho hospitalares. Para que os modelos de previsão sejam eficazes, eles precisam ser integrados de forma harmoniosa aos sistemas de prontuários eletrônicos

e às plataformas de suporte à decisão clínica em tempo real. No entanto, muitos hospitais ainda utilizam infraestruturas tecnológicas desatualizadas, que podem não ser compatíveis com os requisitos computacionais dos algoritmos avançados de aprendizado de máquina. Além disso, a implementação de sistemas preditivos requer uma infraestrutura robusta de armazenamento e processamento de dados, bem como investimentos contínuos em tecnologia e treinamento. As barreiras logísticas e financeiras podem inibir a adoção generalizada de modelos preditivos, especialmente em instituições de menor porte ou em regiões com recursos limitados (Nwaimo; Adegbola; Adegbola, 2024).

Outro ponto crítico que deve ser considerado é o viés nos modelos preditivos. Modelos treinados em dados históricos podem refletir vieses inerentes às práticas clínicas passadas, perpetuando disparidades no cuidado de saúde. Por exemplo, se os dados históricos utilizados para treinar os modelos refletem padrões de subtratamento de determinados grupos raciais ou socioeconômicos, o modelo pode, inadvertidamente, replicar esses vieses em suas previsões, resultando em previsões menos precisas ou até injustas para esses pacientes. A correção desse viés exige uma abordagem cuidadosa no processo de seleção de variáveis e no treinamento dos modelos, além de esforços para garantir que as previsões não agravem as desigualdades existentes no cuidado cirúrgico (Yang *et al.*, 2024).

Uma limitação inerente ao próprio conceito de predição deve ser mencionada. Apesar de sua crescente acurácia, os modelos preditivos não conseguem prever com total certeza todos os desfechos pós-operatórios. Mesmo com previsões precisas, há sempre uma margem de erro e incerteza associada a fatores imprevisíveis, como eventos fisiológicos inesperados, variações interindividuais nas respostas ao tratamento ou complicações raras que não foram capturadas nas bases de dados de treinamento. Portanto, a análise preditiva deve ser vista como uma ferramenta auxiliar, e não como uma substituição à experiência clínica e ao julgamento médico (Younis *et al.*, 2024).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise preditiva de complicações pós-operatórias em cirurgia geral constitui um avanço promissor e significativo na personalização e aprimoramento do cuidado



cirúrgico. O uso de modelos preditivos, baseados em algoritmos de aprendizado de máquina e técnicas estatísticas, oferece uma oportunidade única de identificar pacientes com maior risco de desenvolver complicações, permitindo intervenções preventivas mais precisas e oportunas. A partir da combinação de variáveis demográficas, clínicas, laboratoriais e intraoperatórias, essas ferramentas têm o potencial de transformar a medicina perioperatória, promovendo uma abordagem mais proativa, com impacto positivo tanto nos desfechos clínicos quanto na eficiência operacional dos sistemas de saúde.

Os benefícios clínicos da análise preditiva são evidentes na melhoria dos desfechos pós-operatórios, especialmente no que tange à redução de complicações graves, como infecções, falência de órgãos e eventos tromboembólicos. Além disso, a capacidade de personalizar o cuidado de acordo com o perfil de risco de cada paciente contribui para a otimização dos recursos hospitalares, garantindo uma alocação mais eficiente de leitos de terapia intensiva, equipes médicas e insumos terapêuticos. A implementação desses modelos pode resultar não apenas na diminuição da morbidade e mortalidade associadas aos procedimentos cirúrgicos, mas também em uma redução significativa dos custos hospitalares, contribuindo para a sustentabilidade do sistema de saúde.

No entanto, apesar das promessas e dos avanços técnicos, a aplicação clínica de modelos preditivos enfrenta desafios substanciais. A qualidade e a disponibilidade dos dados clínicos são determinantes para a acurácia desses modelos, mas as inconsistências e a falta de padronização nos sistemas de prontuários eletrônicos representam uma barreira crítica. Além disso, a generalização dos modelos para diferentes populações de pacientes e contextos hospitalares permanece limitada, exigindo calibração contínua e adaptação local. A complexidade e a opacidade dos modelos baseados em aprendizado de máquina também levantam questões sobre sua interpretabilidade, criando um desafio para a aceitação e a integração dessas tecnologias pelos profissionais de saúde. A superação desses obstáculos depende de uma combinação de melhorias tecnológicas, treinamento dos profissionais e esforços para garantir a transparência e a explicabilidade dos modelos.

Em última análise, a análise preditiva deve ser considerada como uma ferramenta complementar ao julgamento clínico, auxiliando os médicos na tomada de



decisões baseadas em dados robustos e precisos. À medida que os modelos preditivos evoluem e se tornam mais sofisticados, sua integração na prática clínica poderá resultar em uma medicina cada vez mais baseada em evidências e voltada para a prevenção de complicações, reforçando a segurança do paciente e promovendo melhores desfechos. Contudo, é fundamental que o desenvolvimento dessas tecnologias seja acompanhado de uma reflexão ética sobre o uso de dados, a correção de vieses e a equidade no acesso ao cuidado de saúde, para que os benefícios da análise preditiva sejam compartilhados de forma justa e ampla por toda a população.

Dessa forma, conclui-se que a análise preditiva de complicações pós-operatórias em cirurgia geral representa uma fronteira importante na medicina contemporânea, com o potencial de remodelar a forma como os cuidados cirúrgicos são planejados e executados. No entanto, o sucesso de sua implementação dependerá não apenas de inovações tecnológicas, mas também de uma abordagem colaborativa e ética que envolva todos os atores do sistema de saúde.

## REFERÊNCIAS

ABI-RAFEH, Jad *et al.* Large language models and artificial intelligence: a primer for plastic surgeons on the demonstrated and potential applications, promises, and limitations of ChatGPT. **Aesthetic Surgery Journal**, v. 44, n. 3, p. 329-343, 2024.

ÁINLE, Fionnuala Ní; KEVANE, Barry. Which patients are at high risk of recurrent venous thromboembolism (deep vein thrombosis and pulmonary embolism)?. **Blood advances**, v. 4, n. 21, p. 5595-5606, 2020.

ARINA, Pietro *et al.* Prediction of complications and prognostication in perioperative medicine: a systematic review and PROBAST assessment of machine learning tools. **Anesthesiology**, v. 140, n. 1, p. 85-101, 2024.

AWUAH, Wireko Andrew *et al.* Recent outcomes and challenges of artificial intelligence, machine learning and deep learning applications in neurosurgery—Review applications of artificial intelligence in neurosurgery. **World Neurosurgery: X**, p. 100301, 2024.

BALCH, Jeremy A. *et al.* Risk-specific training cohorts to address class imbalance in surgical risk prediction. **JAMA surgery**, 2024.

BONDE, Alexander *et al.* Assessing the utility of deep neural networks in predicting postoperative surgical complications: a retrospective study. **The Lancet Digital Health**, v. 3, n. 8, p. e471-e485, 2021.

DHARAP, Satish B.; BARBANIYA, Priya; NAVGALE, Shantanu. Incidence and risk factors of postoperative complications in general surgery patients. **Cureus**, v. 14, n. 11, 2022.



FADHIL, R. H.; ABUD, H. M.; ALWAN, L. J. Post-abdominal surgery respiratory complications at surgical wards of Baghdad teaching hospital. **JMSP**, v. 10, n. 2, p. 51-65, 2024.

GILLESPIE, Brigid M. et al. Worldwide incidence of surgical site infections in general surgical patients: a systematic review and meta-analysis of 488,594 patients. **International Journal of Surgery**, v. 95, p. 106136, 2021.

GUMMADI, Sriharsha; PASCUAL L, Jose L. Postoperative Neurologic Complications in the Older Adult: Surgical Care for Current Geriatric Reports (<https://www.springer.com/journal/13670>). **Current Geriatrics Reports**, v. 13, n. 2, p. 61-69, 2024.

JIN, George JC. Postoperative Complications. In: **Cataract Surgery from Routine to Complex**. CRC Press, 2024. p. 181-205.

KASHLAN, Beshar; KINNO, Menhel; SYED, Mushabbar. Perioperative myocardial injury and infarction after noncardiac surgery: a review of pathophysiology, diagnosis, and management. **Frontiers in Cardiovascular Medicine**, v. 11, p. 1323425, 2024.

KURANI, Akshit et al. A comprehensive comparative study of artificial neural network (ANN) and support vector machines (SVM) on stock forecasting. **Annals of Data Science**, v. 10, n. 1, p. 183-208, 2023.

LI, Sabei et al. Integrating StEP-COMPAC Definition and Enhanced Recovery after Surgery Status in a Machine-learning-based Model for Postoperative Pulmonary Complications in Laparoscopic Hepatectomy. **Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine**, p. 101424, 2024.

MERATH, Katuscha et al. Use of machine learning for prediction of patient risk of postoperative complications after liver, pancreatic, and colorectal surgery. **Journal of Gastrointestinal Surgery**, v. 24, n. 8, p. 1843-1851, 2020.

NWAIMO, Chioma Susan; ADEGBOLA, Ayodeji Enoch; ADEGBOLA, Mayokun Daniel. Transforming healthcare with data analytics: Predictive models for patient outcomes. **GSC Biological and Pharmaceutical Sciences**, v. 27, n. 3, p. 025-035, 2024.

ODAT, Ramez M. et al. Pre-and post-surgery: advancements in artificial intelligence and machine learning models for enhancing patient management in infective endocarditis. **International Journal of Surgery**, p. 10.1097, 2024.

SIOUTAS, Georgios; TSOULFAS, Georgios. Frailty assessment and postoperative outcomes among patients undergoing general surgery. **The Surgeon**, v. 18, n. 6, p. e55-e66, 2020.

WELLS, Cameron I. et al. Variation in the definition of 'failure to rescue' from postoperative complications: a systematic review and recommendations for outcome reporting. **Surgery**, 2024.

YANG, Xue et al. Biomedical big data technologies, applications, and challenges for precision medicine: A review. **Global Challenges**, v. 8, n. 1, p. 2300163, 2024.



YIN, Yaolin et al. Survival analysis of laparoscopic surgery and open surgery for hilar cholangiocarcinoma: a retrospective cohort study. **World Journal of Surgical Oncology**, v. 22, n. 1, p. 58, 2024.

YOUNIS, Hussain A. et al. A systematic review and meta-analysis of artificial intelligence tools in medicine and healthcare: applications, considerations, limitations, motivation and challenges. **Diagnostics**, v. 14, n. 1, p. 109, 2024.