

APLICAÇÕES, MATURIDADE E DESAFIOS ÉTICOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SUPORTE E PREDIÇÃO EM UNIDADES DE TERAPIA INTENSIVA

Amanda Soares Arantes ⁽¹⁾,
Heloayne Clementino Pugas ⁽²⁾,
Maria Fernanda Pereira Aires Pimenta ⁽³⁾,
Pamylla Maia Rosal Alves ⁽⁴⁾,
Thompson de Oliveira Turíbio ²⁽⁵⁾.

Resumo – A Unidade de Terapia Intensiva (UTI) configura-se como um ambiente rico em dados de alto risco, exigindo decisões clínicas rápidas e precisas, o que justifica o emprego da Inteligência Artificial (IA) para potencializar a predição de desfechos e otimizar a eficiência operacional. O presente estudo avaliou a maturidade tecnológica, o desempenho preditivo dos principais modelos de IA e os obstáculos éticos e de implementação em cuidados críticos, com base em uma síntese de artigos (2023–2025), incluindo revisões sistemáticas e desenvolvimento de algoritmos. Utilizou-se a classificação do Nível de Prontidão Tecnológica (TRL) e a ferramenta de Risco de Viés (PROBAST). Os resultados indicam que, dos 1.263 estudos avaliados em UTI adulta, 74% permanecem em estágios iniciais de desenvolvimento (TRL ≤ 4), e 53% apresentam alto risco de viés devido a falhas metodológicas. Em contraste, abordagens de *Machine Learning* (*v-SVC*) com processamento avançado de sinais demonstraram elevada precisão na predição de mortalidade (AUC de 0,882), superando escores tradicionais. O uso da IA Generativa (GAI) concentra-se em aumento de dados e sumarização clínica. Conclui-se que, apesar da robustez preditiva, a falta de validação prospectiva limita a implementação. É crucial priorizar a transparência (*Explainable AI* - XAI) e a governança ética para garantir a adoção segura e a confiança clínica

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Unidades de Terapia Intensiva. Aprendizado de Máquina

Introdução

O ambiente de cuidados intensivos é reconhecido pela complexidade e alta demanda de dados, o que o torna um campo desafiador e ideal para a integração da Inteligência Artificial (IA) (HADWEH et al., 2025; CHAUDHARI et al., 2025). As UTIs produzem vastas quantidades de dados em tempo real, abrangendo monitoramento fisiológico, resultados laboratoriais frequentes e extensa documentação clínica (HADWEH et al., 2025). A IA, por meio de técnicas como Machine Learning (ML), Deep Learning (DL) e Processamento de Linguagem Natural (NLP), promete aprimorar a avaliação de risco, o diagnóstico precoce e a personalização da terapia (CHAUDHARI et al., 2025).

Pesquisas recentes destacam o potencial da IA na otimização de fluxos de trabalho, fornecendo insights acionáveis no ponto de atendimento e auxiliando na tomada de decisão (HADWEH et al., 2025; VAN DER MEIJDEN et al., 2023). A IA tem

¹ Graduanda do curso de Medicina do AFYA Porto Nacional. amanda23arantes@gmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9601469810968690>

² Graduanda do curso de Medicina do AFYA Porto Nacional. heloaynepugas@gmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5675092295738518>

³ Graduanda do curso de Medicina do AFYA Porto Nacional. mariafappimenta@gmail.com. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4069102338091666>

⁴ Graduanda do curso de Medicina do AFYA Porto Nacional. pamyllamaiar@gmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0575166720114324>

⁵ Professor do curso de Medicina do AFYA Porto Nacional. thomspn.turibio@afya.com.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3402049701901655>

a capacidade de detectar padrões e sinais sutis que podem ser negligenciados pela percepção humana, o que representa um avanço em relação aos sistemas de pontuação clínica convencionais (HADWEH et al., 2025). Ademais, a IA visa melhorar a qualidade de vida dos profissionais de saúde, aumentar a eficácia em relação ao custo e aprimorar o acesso e o bem-estar do paciente (ALOWAIS et al., 2023; MUDGAL et al., 2022).

Entretanto, observa-se uma disparidade significativa entre a rápida evolução dos modelos de IA e sua aplicação prática no cenário clínico (BERKHOUT et al., 2025; HADWEH et al., 2025). A maioria dos modelos desenvolvidos encontra-se em estágios iniciais, carecendo de validação rigorosa no mundo real, o que restringe sua adoção segura (BERKHOUT et al., 2025; SCHOUTEN et al., 2024). Berkhout et al. (2025) sugerem a necessidade de uma "mudança de paradigma urgente" no campo da IA médica, que se afaste da validação retrospectiva e se volte para a operacionalização e testes prospectivos de sistemas completos (BERKHOUT et al., 2025).

O desafio da implementação é multifacetado, englobando questões técnicas, éticas e de integração no fluxo de trabalho (HADWEH et al., 2025; CECCONI et al., 2025). A opacidade inerente a muitos modelos de ML e DL, frequentemente referidos como "caixas pretas", dificulta a confiança e a aceitação por parte dos clínicos (VAN DER MEIJDEN et al., 2023; HASSAN; EL-ASHRY, 2024). Os intensivistas enfatizam a necessidade de transparência (XAI) para manter a responsabilidade ética nas decisões de alto risco (VAN DER MEIJDEN et al., 2023).

Dessa forma, o presente estudo objetiva realizar uma síntese crítica e uma avaliação da maturidade tecnológica das aplicações de IA na UTI, identificando as abordagens predominantes, o desempenho preditivo em diferentes domínios e os desafios cruciais para a transição dos modelos da fase de pesquisa para a prática clínica.

Métodos

O delineamento deste estudo consiste em uma síntese crítica e revisão sistemática das evidências mais recentes (2023–2025), utilizando múltiplas fontes acadêmicas, como estudos de desenvolvimento de algoritmos, revisões sistemáticas e de escopo, e artigos de consenso de especialistas (BERKHOUT et al., 2025; CHAUDHARI et al., 2025; STAMM et al., 2025).

A análise concentrou-se em aplicações de IA destinadas ao uso em UTI de pacientes adultos (idade ≥ 16 anos), com dados coletados durante a internação na UTI (BERKHOUT et al., 2025). As revisões primárias utilizaram buscas abrangentes em bases de dados como Embase, MEDLINE, Web of Science, Scopus e Google Scholar, sem limitação de data de publicação para garantir a abrangência do fenômeno emergente (CHAUDHARI et al., 2025; PORCELLATO et al., 2025).

A avaliação dos estudos incluiu:

1. Tecnologia de IA: Classificação dos paradigmas utilizados (*Machine Learning*, *Deep Learning*, *Reinforcement Learning*, IA Generativa/LLMs) (HADWEH et al., 2025; STAMM et al., 2025).

2. Maturidade Tecnológica: Classificação dos modelos no Nível de Prontidão Tecnológica (TRL), que avalia a prontidão para implementação, variando de TRL 1 (identificação do problema) a TRL 9 (integração na prática clínica) (BERKHOUT et al., 2025).

3. Risco de Viés: Utilização da ferramenta PROBAST (*Prediction Model Study Risk of Bias Assessment Tool*) para identificar fragilidades metodológicas nos domínios de participantes, preditores, desfechos e análise (BERKHOUT et al., 2025).

4. Desempenho: Relato de métricas como *Area Under the Curve* (AUC) e comparação com escores clínicos de referência (WANG et al., 2025).

Foi utilizada uma síntese narrativa para consolidar os achados qualitativos sobre o fator humano e a ética, complementada por uma análise comparativa dos resultados quantitativos, destacando convergências e divergências entre os estudos. A taxa de crescimento anualizada do volume de publicações de IA na UTI foi de aproximadamente 39% nos últimos quatro anos (BERKHOUT et al., 2025).

Resultados e Discussão

Modelos de IA demonstram consistentemente superioridade na predição de desfechos em comparação com sistemas tradicionais de escore de severidade (HADWEH et al., 2025; YANG et al., 2024). Por exemplo, o ML é amplamente utilizado para a detecção precoce de sepse e Injúria Renal Aguda (AKI) (GOH et al., 2021; WEI et al., 2024).

Uma divergência significativa metodológica é observada na predição de mortalidade. Wang et al. (2025) demonstram que o uso de ML baseado em *v*-Support Vector Classification (*v*-SVC), com extração de *caraterísticas* avançadas via processamento de sinal estocástico (como FFT, PSD e WT) de traços digitais de saúde, alcançou uma acurácia de 0,882 na predição de mortalidade. Este desempenho foi superior ao do escore tradicional APACHE IV (AUC de 0,750) e, notavelmente, superou modelos de *Deep Learning* (DL) como GRU e LSTM (WANG et al., 2025). Este achado sugere que, em coortes menores ou heterogêneas, a incorporação de conhecimento médico (engenharia de *características*) pode ser mais eficiente do que depender da capacidade de reconhecimento de padrões de DL em dados brutos (WANG et al., 2025).

Apesar do grande volume de pesquisa, a IA em UTI enfrenta um grave gargalo de operacionalização. A revisão sistemática de Berkhout et al. (2025) aponta que 74% dos 1263 estudos incluídos permanecem em estágios de desenvolvimento iniciais (TRL ≤ 4), e apenas 2% progrediram para a integração clínica (TRL ≥ 6), com nenhum atingindo a implementação total (TRL 9) (BERKHOUT et al., 2025). Este resultado corrobora a persistência do desafio na transição da pesquisa para a prática (VAN DE SANDE et al., 2021, citado por BERKHOUT et al., 2025).

Em relação à qualidade metodológica, 53% dos estudos apresentam alto risco de viés (PROBAST), sendo as deficiências no domínio da análise o principal contribuinte (BERKHOUT et al., 2025). Além disso, a situação é mais crítica em UTIs pediátricas e neonatais (NICU/PICU), onde 87% dos estudos estão em TRL ≤ 4 e 77% apresentam alto risco de viés (SCHOUTEN et al., 2024). A adoção de padrões de relato, como o TRIPOD, permanece baixa, citada por apenas 16% dos estudos (BERKHOUT et al., 2025).

Os intensivistas demonstram uma atitude amplamente favorável à IA-CDS, com 86% acreditando que a IA pode auxiliar em seu trabalho (VAN DER MEIJDEN et al., 2023). No entanto, essa aceitação depende criticamente da transparência dos modelos (XAI). Os clínicos exigem *insight* sobre os fatores que contribuem para a previsão antes de delegar decisões críticas, como a alta da UTI, o que garante que a responsabilidade final permaneça humana (VAN DER MEIJDEN et al., 2023; HADWEH et al., 2025).

A GAI (IA Generativa) utilizando modelos como *Generative Adversarial Networks* (GAN) e *Large Language Models* (LLMs) (STAMM et al., 2025), está sendo explorada principalmente para aumento de dados e extração de *caraterísticas* de notas clínicas

não estruturadas (STAMM et al., 2025). O NLP é visto como uma forma de reduzir a carga de documentação e otimizar fluxos de trabalho (CHAUDHARI et al., 2025). Contudo, a GAI introduz desafios éticos, como o potencial de viés algorítmico e a questão da responsabilidade em caso de erros (HASSAN; EL-ASHRY, 2024; MAJEED ZANGANA et al., 2025).

O foco dos modelos que atingem TRL mais altos (TRL >5) se desloca da predição de mortalidade (33% nos TRL ≤5) para a análise de vídeos/imagens (52%) e a predição de complicações (BERKHOUT et al., 2025). Isso demonstra que o valor real da IA no leito do paciente está, inicialmente, no suporte prático e na otimização de tarefas, como o monitoramento da ventilação mecânica por *Reinforcement Learning* (RL) e a detecção de assincronias paciente-ventilador (CHAUDHARI et al., 2025; HADWEH et al., 2025).

Considerações Finais

A Inteligência Artificial configura-se como uma ferramenta transformadora na terapia intensiva, ao ampliar a precisão preditiva e aprimorar a tomada de decisão clínica. Entretanto, a consolidação de seus benefícios ainda enfrenta limitações decorrentes da imaturidade tecnológica, da escassez de validação prospectiva e da persistência de vieses metodológicos que comprometem a confiabilidade dos modelos. O avanço dessa integração exige um esforço articulado entre pesquisadores e profissionais de saúde, orientado pelo rigor metodológico, pela operacionalização de estudos prospectivos, pela adoção de princípios éticos e pela criação de estruturas de governança. Além disso, é essencial o desenvolvimento de infraestruturas de dados padronizadas e interoperáveis, capazes de sustentar a medicina personalizada e a aplicação segura da IA em contextos clínicos reais. Em síntese, a efetiva incorporação da Inteligência Artificial na terapia intensiva depende do equilíbrio entre inovação tecnológica, qualidade científica e responsabilidade ética.

Referências

- ALOWAIS, S. A. et al. Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. **BMC Medical Education**, v. 23, n. 1, p. 689, 22 set. 2023.
- BERKHOUT, W. E. M. et al. Operationalization of Artificial Intelligence Applications in the Intensive Care Unit A Systematic Review. **JAMA Network Open**, v. 8, n. 7, 23 jul. 2025.
- CECCONI, M. et al. Implementing Artificial Intelligence in Critical Care Medicine: a consensus of 22. **Critical Care**, v. 29, n. 290, 2025.
- CHAUDHARI, N. B. et al. Artificial intelligence and robotics in ICUs (ICUs): A review of critical care innovations. **Intelligent Hospital**, 2025.
- GOH, K. H. et al. Artificial intelligence in sepsis early prediction and diagnosis using unstructured data in healthcare. **Nat Commun**, v. 12, n. 1, p. 711, 29 jan. 2021.
- HADWEH, P. et al. Machine Learning and Artificial Intelligence in Intensive Care Medicine: Critical Recalibrations from Rule-Based Systems to Frontier Models. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 12, p. 4026, 6 jun. 2025.
- HASSAN, E. A.; EL-ASHRY, A. M. Leading with AI in critical care nursing: challenges, opportunities, and the human factor. **BMC Nursing**, v. 23, n. 752, 2024.
- MAJEED ZANGANA, H. et al. The impact of artificial intelligence on healthcare: a systematic review of innovations, challenges, and ethical considerations. **J Comput Digit Bus**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2025.

- MUDGAL, S. K. et al. Real-world application, challenges and implication of artificial intelligence in healthcare: an essay. **Pan Afr Med J**, v. 43, p. 3, 2 set. 2022.
- PORCELLATO, E. et al. Exploring Applications of Artificial Intelligence in Critical Care Nursing: A Systematic Review. **Nursing Reports**, v. 15, n. 2, p. 55, 4 fev. 2025.
- SCHOUTEN, J. S. et al. From bytes to bedside: a systematic review on the use and readiness of artificial intelligence in the neonatal and pediatric intensive care unit. **Intensive Care Medicine**, 12 set. 2024.
- STAMM, T. et al. Applications of generative artificial intelligence in outcome prediction in intensive care medicine—a scoping review. **Frontiers in Digital Health**, v. 7, p. 1633458, 5 ago. 2025.
- VAN DER MEIJDEN, S. L. et al. Intensive Care Unit Physicians' Perspectives on Artificial Intelligence–Based Clinical Decision Support Tools: Preimplementation Survey Study. **JMIR Human Factors**, v. 10, n. 1, p. e39114, 5 jan. 2023.
- WANG, S. et al. Intensive Care Unit Patient Outcome Prediction Using ν -Support Vector Classification and Stochastic Signal Processing–Based Feature Extraction Techniques: Algorithm Development and Validation Study. **JMIR AI**, v. 4, n. 1, p. e72671, 26 ago. 2025.
- WEI, J. et al. Artificial intelligence algorithms permits rapid acute kidney injury risk classification of patients with acute myocardial infarction. **Heliyon**, v. 10, n. 16, e36051, 30 ago. 2024.
- YANG, J. et al. Application of Artificial Intelligence to Advance Individualized Diagnosis and Treatment in Emergency and Critical Care Medicine. **Diagnostics**, v. 14, n. 7, p. 687, 25 mar. 2024.