

IMPACTO DA AUTOMAÇÃO POR INTELIGÊNCIA (IA) NA ACURÁCIA DO DIAGNÓSTICO COM FITAS URINÁRIAS: UMA AVALIAÇÃO DOS LIMITES E VIESES

Gabriel Luiz de Sousa Santos¹;

Centro Universitário Maurício de Nassau de Petrolina (Uninassau Petrolina), Petrolina, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/8327007114594418>

Brenda Rafaela Almeida Vieira²;

Centro Universitário Maurício de Nassau de Petrolina (Uninassau Petrolina), Petrolina, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/6965300369398962>

Rebeca Linhares dos Santos³;

Centro Universitário Maurício de Nassau de Petrolina (Uninassau Petrolina), Petrolina, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/9170724888005124>

Ellen Mariany Alencar Silva⁴;

Centro Universitário Maurício de Nassau de Petrolina (Uninassau Petrolina), Petrolina, Pernambuco.

<https://lattes.cnpq.br/0477071337299595>

Gleiciere Maia Silva⁵.

Faculdade de Ciências Aplicadas e Sociais de Petrolina (FACAPE), Petrolina, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/9649450889199726>

RESUMO: A fita urinária é uma ferramenta fundamental na triagem laboratorial, contudo, seu uso vem sendo transformado pela incorporação de leitores digitais e, mais recentemente, por algoritmos de inteligência artificial (IA). A presente revisão analisa três eixos centrais dessa transição: desempenho técnico, limitações pré-analíticas e riscos de vieses algorítmicos. Estudos recentes mostram que sistemas móveis, baseados em câmera de smartphone e algoritmos simples, podem atingir elevada acurácia para parâmetros como nitrito e glicose em ambientes controlados. Contudo, limites intrínsecos da fita, especialmente a variabilidade pré-analítica e a dificuldade de mensurar parâmetros físico-químicos como gravidade específica, permanecem como obstáculos importantes. Além disso, evidências de que modelos de IA são capazes de aprender padrões ocultos em imagens, inclusive

demográficos, levantam preocupações sobre possíveis vieses e erros sistemáticos em populações distintas. A generalização desses sistemas para cenários clínicos reais também se mostra limitada, especialmente quando variam dispositivos, iluminação, fluxos de trabalho e características das amostras. Conclui-se que a automação oferece oportunidades concretas para ampliar acesso e padronização da urinálise, mas sua aplicação segura exige validação multicêntrica, supervisão humana e monitoramento contínuo.

PALAVRAS-CHAVE: Urinálise Automatizada. Inteligência Artificial. Viés Diagnóstico.

IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-DRIVEN AUTOMATION ON THE DIAGNOSTIC ACCURACY OF URINE DIPSTICKS: AN ASSESSMENT OF LIMITATIONS AND BIASES

ABSTRACT: Urine dipsticks have long been a practical and accessible tool in laboratory screening, but their use has begun to change with the arrival of digital readers and, more recently, artificial intelligence (AI). In this review, we explore how this shift is unfolding by focusing on three main aspects: technical performance, pre-analytical challenges, and the possibility of algorithm-driven bias. Recent investigations indicate that mobile systems—especially those that rely on smartphone cameras and basic computational methods—can reach impressive accuracy for markers such as nitrite and glucose when conditions are tightly controlled. Even so, the dipstick itself carries intrinsic limitations: pre-analytical variability and the difficulty in reliably assessing parameters like specific gravity remain significant hurdles. Another growing concern is the ability of AI models to detect subtle patterns within images, sometimes even demographic traits, which may introduce unwanted biases or systematic errors in certain groups of patients. The transfer of these technologies to everyday clinical practice is also far from straightforward, as performance can shift when devices, lighting, workflows, or sample characteristics differ from those in validation studies. Despite these challenges, automation has real potential to widen access to urinalysis and improve standardization across services. However, safe implementation depends on multicenter validation, ongoing human oversight, and continuous performance monitoring.

KEY-WORDS: Automated urinalysis. Artificial intelligence. Diagnostic bias.

INTRODUÇÃO

A urinálise é um dos exames laboratoriais mais antigos e, ainda hoje, permanece como uma das principais ferramentas de triagem na prática clínica devido à sua simplicidade, baixo custo e aplicabilidade em diversos cenários assistenciais. Apesar disso, seu desempenho continua vulnerável a erros analíticos e interferências pré-analíticas importantes, incluindo instabilidade da amostra, contaminação, diferenças entre fabricantes e significativa variabilidade dependente do analisador. A microscopia manual e a leitura visual das tiras

reagentes, dependem de experiência técnica do examinador nem sempre disponível, o que motivou o desenvolvimento de sistemas automatizados nas últimas décadas com a finalidade de reduzir erros analíticos (ZOU et al., 2022).

Com o avanço tecnológico, a uronálise automatizada evoluiu consideravelmente. Leitores ópticos baseados em refletometria, sensores CMOS e algoritmos de reconhecimento de padrões aumentaram a precisão das tiras reagentes, permitindo inclusive estimativas quantitativas para proteína, albumina, glicose e outros analitos. Tais sistemas otimizam o fluxo de trabalho laboratorial ao reduzir a intensidade de trabalho manual, padronizar procedimentos e facilitar a integração com plataformas digitais (ZOU et al., 2022).

Paralelamente, soluções móveis baseadas em câmeras de smartphones passaram a ganhar espaço. A combinação de câmeras de alta resolução com algoritmos capazes de corrigir iluminação, padronizar cores e interpretar reações químicas tornou possível obter medidas consistentes mesmo fora do ambiente laboratorial (KIM, Hyung-Doo et al, 2019).

Estudos mostram que sistemas apoiados por inteligência artificial podem atingir níveis elevados de acurácia para parâmetros como glicose e nitrito, representando alternativas promissoras para telemedicina e regiões com recursos limitados (CHOI, Jong-Han; JUNG, Young-Hoon, 2025). Entretanto, persistem limitações inerentes à própria química seca. Parâmetros como gravidade específica continuam apresentando desempenho irregular mesmo após a aplicação de algoritmos avançados, o que reforça a necessidade de validação multicêntrica e monitoramento contínuo para prevenir erros diagnósticos em larga escala. A incorporação da IA, embora potencialize a análise da fita urinária, não elimina desafios fundamentais da etapa pré-analítica nem substitui a necessidade de supervisão humana. (CHOI, Jong-Han; JUNG, Young-Hoon, 2025)

Diante desse cenário, torna-se indispensável uma avaliação crítica do uso da inteligência artificial na leitura da fita urinária, considerando desempenho técnico, segurança, robustez, riscos de viés, implicações éticas e impacto sobre desigualdades diagnósticas. Compreender esses aspectos é essencial para orientar uma adoção responsável e cientificamente sólida das novas tecnologias aplicadas à urinálise.

OBJETIVO

O artigo busca avaliar o impacto da digitalização e da inteligência artificial na análise por fita urinária, considerando o desempenho técnico, limitações pré-analíticas e possíveis distorções provenientes dos sistemas automatizados, a fim de definir condições para seu uso seguro e confiável na prática clínica.

METODOLOGIA

Esta revisão narrativa foi estruturada a partir de três eixos centrais que orientaram a seleção, análise e síntese da literatura. O primeiro eixo concentrou-se no desempenho técnico da fita urinária automatizada, abrangendo estudos que investigaram a acurácia de leitores digitais, sistemas ópticos, câmeras de smartphone e algoritmos de inteligência artificial aplicados à interpretação das tiras reagentes. Foram incluídos artigos que abordaram técnicas de refletometria, métodos de reconhecimento de padrões, análise colorimétrica e estratégias computacionais destinadas a corrigir variáveis ambientais, como luminosidade e distorções de captura.

O segundo eixo envolveu a avaliação das limitações pré-analíticas e físico-químicas associadas ao exame. Nesse contexto, foram consideradas evidências relacionadas à conservação e estabilidade da amostra, influência das condições de iluminação, variabilidade entre lotes e fabricantes, além do impacto do tempo pós-imersão da tira na precisão dos resultados. Também foram analisadas as restrições inerentes ao próprio método, em especial a imprecisão na mensuração da gravidade específica e de outros parâmetros sensíveis às condições físico-químicas da urina.

Por fim, o terceiro eixo contemplou os riscos e mecanismos de viés algorítmico presentes em sistemas baseados em IA.

A revisão incluiu artigos publicados nos últimos 10 anos nas bases PubMed, SciELO, e Web of Science. A seleção priorizou estudos originais, ensaios clínicos, validações técnicas e artigos de revisão sobre automação e IA aplicada à urinálise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos estudos de Kim et al., Oyaert et al. (2019) e Gichoya et al. (2022) permite observar como a fita urinária, apesar de ser um método tradicional e consolidado, está no centro de uma transição tecnológica marcada pela digitalização e pela incorporação de inteligência artificial (IA). Cada um desses trabalhos toca em pontos complementares: desempenho técnico, limitações pré-analíticas, riscos de viés algorítmico e implicações para a prática clínica. Assim, discutir os resultados exige olhar tanto para aquilo que os números mostram quanto para o que eles silenciam.

O estudo de Kim *et al.* (2025) demonstra que, quando a coleta, o tempo de leitura e o ambiente de captura são rigidamente controlados, uma simples câmera de smartphone, associada a um algoritmo relativamente básico como o k-NN, é capaz de produzir leituras altamente consistentes para parâmetros como nitrito (98,7% de acurácia) e glicose (97,3%). Esse achado é significativo porque quebra o imaginário de que apenas algoritmos complexos ou hardware especializado podem oferecer precisão aceitável.

Porém, ao mesmo tempo em que valida o potencial da IA, o estudo também deixa claro seus limites: parâmetros mais dependentes de princípios físico-químicos, como a

gravidade específica, mostraram desempenho inferior, reforçando que a imagem digital não resolve tudo. Isso não é surpresa, Oyaert *et al.* (2019) já haviam destacado que a maior parte das inconsistências da urinálise vem da própria natureza das reações químicas da fita e dos fatores pré-analíticos, como tempo até a leitura, condições de conservação e coleta inadequada.

Assim, ainda que a automação diminua a variabilidade entre operadores, ela não elimina o problema na base. O leitor eletrônico não consegue compensar uma amostra contaminada, um frasco mal conservado ou um erro de coleta. E, quando transportamos esse cenário para versões móveis, baseadas em câmeras de telefones celulares, a necessidade de padronização se amplia: condições de iluminação, tipo de lente, resolução da câmera e até reflexos do ambiente passam a influenciar a cor percebida. Essa é, precisamente, a principal fragilidade apontada pelos próprios autores do estudo de Kim: toda a validação foi feita com um único modelo de smartphone, o que limita a generalização.

Além dos trabalhos já discutidos, outras pesquisas recentes reforçam esse conjunto de limitações, especialmente no que diz respeito à pré-analítica, à confiabilidade clínica da fita em diferentes cenários e à dependência contínua da supervisão humana. A seguir, uma síntese de estudos externos que ampliam essa discussão e oferecem uma visão complementar sobre a automação e o uso clínico da fita urinária:

Tabela 1: Evidências Recentes Sobre a Confiabilidade e os Limites da Fita Urinária Automatizada.

Autor / Ano	Objetivo	Achados principais	Limitações	Contribuição para o artigo
Terracina et al., 2023	Avaliar dipstick automatizado para proteinúria	Boa correlação, mas superestimação da ACR e falsos positivos	Não substitui métodos quantitativos	Mostra que automação química ainda gera erros clínicos
BMC Nephrology, 2024	Avaliar mudanças da urina após 6h	Degradação celular e alterações químicas mesmo com automação	Estudo experimental	Reforça vulnerabilidade pré-analítica
Nakasato et al., 2019	Revisar sistemas automatizados	Maior reprodutibilidade, microscopia digital mais estável	Falta de padronização; revisão humana necessária	Apoia necessidade de pipelines híbridos
Nielsen et al., 2022	Testar dipstick para albuminúria	Não confiável para triagem; falsos negativos	Amostra específica (pronto-socorro)	Mostra limites da fita para detecção precoce

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Terracina et al. (2023); BMC Nephrology (2024); Nakasato et al. (2019); Nielsen et al. (2022).

É justamente nesse ponto que as conclusões do estudo de Gichoya et al. (2022) se tornam cruciais. Embora não tenham investigado a urinálise, os autores demonstraram que modelos de visão computacional conseguem aprender sinais escondidos nas imagens, incluindo informações sensíveis como raça, mesmo quando esses sinais não são visíveis ao olho humano.

Isso significa que algoritmos aplicados à leitura de fitas podem, potencialmente, aprender padrões que não dizem respeito às reações químicas da fita química, mas sim a características indiretas, como tonalidades influenciadas por iluminação artificial, tipo de câmera, textura da superfície utilizada como fundo ou características associadas a determinadas populações. Se um modelo aprende esses “atalhos”, ele pode produzir resultados sistematicamente melhores ou piores para grupos específicos, sem que isso seja evidente nos relatórios de desempenho (Gichoya et al., 2022).

Essa possibilidade torna ainda mais problemática a ausência de dados demográficos no estudo de Kim *et al.* (2025). Sem essa estratificação, não é possível avaliar se o desempenho observado se mantém em diferentes faixas etárias, condições clínicas, tonalidades de urina, hábitos alimentares ou populações diversas. É um vazio crítico, especialmente porque a IA aplicada à saúde já demonstrou repetidamente a capacidade de reproduzir e amplificar desigualdades ocultas.

Quando reunimos esses resultados, fica evidente, como sugerem Kim *et al.* (2025) e Oyaert *et al.* (2019), que o sucesso técnico não garante validade clínica ampla. A leitura por smartphone funciona muito bem quando tudo está controlado, mas o mundo real é regido pela variabilidade. A fita é usada em unidades básicas, ambulatórios movimentados, laboratórios com fluxos distintos, turnos diferentes, iluminação diversa. E modelos treinados em ambientes homogêneos tendem a falhar quando expostos a essa diversidade, o que coloca a generalização como o verdadeiro desafio da automação.

Os estudos também convergem em outra direção: nenhuma solução totalmente automatizada parece segura sem supervisão humana. Oyaert lembra que sistemas automáticos são valiosos para triagem, mas que casos limítrofes ou inconsistentes exigem revisão manual. Essa lógica é reforçada pelos riscos apontados por Gichoya: se modelos aprendem sinais que não compreendemos, não podemos confiar neles como decisores finais. Assim, a estratégia mais prudente é a construção de pipelines híbridos, IA como aceleradora e triadora, e não como substituta.

Por outro lado, os resultados apresentados trazem um horizonte otimista: a IA aplicada à urinálise pode ampliar o acesso ao diagnóstico, especialmente em contextos de telemedicina e locais com recursos limitados. Leitores móveis podem reduzir custos, desafogar laboratórios e permitir o acompanhamento remoto de condições como diabetes e doenças renais. Mas esse potencial só se concretiza quando acompanhado de padronização pré-analítica rigorosa, validação multicêntrica, análises estratificadas e monitoramento contínuo.

Os estudos, juntos, deixam ainda lacunas importantes. Falta investigação de impacto clínico real, quantos diagnósticos seriam melhorados ou perdidos? Falta avaliação em dispositivos diferentes. Falta transparência sobre subgrupos. E falta integração entre parâmetros físico-químicos da tira e sensores complementares que superem limitações históricas (como gravidade específica). São caminhos promissores para pesquisas futuras.

Portanto, os resultados mostram que a fita urinária digitalizada por IA é uma promessa concreta, mas que sua implementação clínica segura depende de reconhecer que tecnologia e contexto caminham juntos. A IA pode ampliar capacidade, acelerar procedimentos e facilitar o acesso, mas somente quando integrada a práticas cuidadosas, éticas e cientificamente robustas. A fita continua simples, mas sua interpretação na era digital exige uma complexidade maior e uma atenção ainda mais cuidadosa aos detalhes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A uroanálise mantém seu papel central na triagem laboratorial devido à simplicidade, baixo custo e ampla utilização. A implementação de leitores automatizados, câmeras de smartphones e inteligência artificial trouxe avanços importantes, aumentando a precisão de parâmetros como glicose e nitrito, reduzindo a viabilidade entre avaliadores e otimizando o fluxo do trabalho. Soluções móveis ampliam o alcance da urinálise, favorecendo o atendimento remoto e a disponibilização do exame em áreas de uso laboratoriais restritos.

Apesar desses avanços, limitações inerentes à química da fita a fatores pré-analíticos, como a coleta inadequada, instabilidade da amostra e variações na iluminação continuam a gerar impacto na acurácia dos resultados. Além disso, modelos de IA podem gerar distorções em populações diversas, reforçando a necessidade da supervisão humana, validação multicêntrica, padronização rigorosa e monitoramento contínuo.

A integração cuidadosa de tecnologia e contexto clínico é fundamental, pois a IA deve ser vista como uma ferramenta de apoio e não como decisão final.

REFERÊNCIAS

CHOI, Jong-Han; JUNG, Young-Hoon. **Advances in point-of-care urine analysis using modern technology**. Annals of Laboratory Medicine, 2025.

GICHOYA, Judy Wawira. **AI Recognition of Patient Race in Medical Imaging: A Modelling Study**. Londres: The Lancet Digital Health, 2022.

KIM, Hyun Jin. **Artificial Intelligence in Diagnostics: Enhancing Urine Test Accuracy Using a Mobile Phone–Based Reading System**. Seul: Annals of Laboratory Medicine, 2025.

NAKASATO, J. M. **Sistemas Automatizados em Urinálise: Aplicação na Rotina Laboratorial das Novas Tecnologias**. Curitiba: Revista Acadêmica, 2019.

NIELSEN, C. B. **Urinary Dipstick Is Not Reliable as a Screening Tool for Albuminuria in the Emergency Department.** Basel: Diagnostics, 2022.

OYAERT, Matthijs. **Progress in Automated Urinalysis.** Seul: Annals of Laboratory Medicine, 2019.

TERRACINA, Stefano. **Urine Dipstick Analysis on Automated Platforms: Is a Reliable Screening Tool for Proteinuria?** Basel: Biomedicines, 2023.

URINE Dipstick Analysis on Automated Microscopy: Changes in Urine Composition Over Six Hours. Londres: BMC Nephrology, 2024.

ZOU, James et al. Artificial Intelligence Recognition of Patient Race in Medical Imaging: A Systematic Review. Annals of Laboratory Medicine, 2022.