



CURSO DE BIOMEDICINA

NYCOLAS BERNARDO DE ARAUJO ROCHA

**A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO NOS LABORATÓRIOS DE
ANÁLISES CLÍNICAS**

**Cuiabá/MT
2026**

CURSO DE BIOMEDICINA

NYCOLAS BERNARDO DE ARAUJO ROCHA

**A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO NOS LABORATÓRIOS DE
ANÁLISES CLÍNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Avaliadora do Curso de
Biomedicina, do Faculdade FASIPE, como
requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Biomedicina.

Orientadora: Prof^a. Laura Marina Siqueira
Maia

Cuiabá/MT

2026

NYCOLAS BERNARDO DE ARAUJO ROCHA

**A IMPORTANCIA DA AUTOMAÇÃO NOS LABORATORIOS DE ANÁLISES
CLÍNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Avaliadora do Curso de Biomedicina da FASIPE-CPA, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em BIOMEDICINA.

Aprovado em:

Professor Orientador: Me. Laura Marina S. Maia de Athayde

Departamento de Biomedicina - FASIPE

Professor(a) Avaliador(a)

Departamento de Biomedicina – FASIPE

**Profº. Me. Michell Charlles de Souza Costa Coordenador do Curso de
Biomedicina FASIPE - Faculdade CPA**

Cuiabá-MT

2026

APÊNDICE V

PROTOCOLO DE ENTREGA DA VERSÃO FINAL

Eu _____, orientador(a), pelo presente termo declaro ter feito a devida revisão do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “ _____ ” de autoria do(a) Graduando(a), de autoria do(a) Graduando(a), _____ do(a) qual fui orientador(a) e certifiquei de que todas as orientações, sugestões e necessidades de correções feitas pela Banca Examinadora da Defesa foram acatadas e cumpridas. Sendo assim, o texto está pronto para ser entregue à Coordenação de Curso de Biomedicina conforme previsto no Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso.

Cuiabá- MT, de de 2026.

Assinatura do Orientador

DEDICO,

esse trabalho primeiramente a
Deus por me dar forças todos os dias
para continuar a minha caminhada,
sem ele nada seria possível.

Dedico esse trabalho a
minha mãe patrícia que sempre
fez tudo por mim e me ajudou a
chegar até aqui.

AGRADEÇO,

- Agradeço, em primeiro lugar, a **DEUS**, por ser a minha força, o meu guia e o alicerce em todos os momentos dessa caminhada. Sem a sua graça e a sabedoria concedida, a realização deste sonho não seria possível.
 - À minha mãe, **Patricia**, pelo amor incondicional, pelo apoio incansável e por sempre acreditar no meu potencial, mesmo nos dias mais difíceis. Seus conselhos e o seu cuidado foram o combustível que me manteve firme nesta jornada.
- À minha avó, **Maria Auxiliadora**, cujas orações, carinho e presença afetuosa sempre foram o meu porto seguro. Sua sabedoria e exemplo de vida são inspirações diárias para o meu crescimento pessoal e profissional.
- Ao meu pai, **Anderson da Rocha**, pelo incentivo constante, pela confiança depositada em mim e por estar ao meu lado, me motivando a superar cada obstáculo em busca do meu futuro.
- A todos vocês, que tornaram este momento possível e compartilharam comigo as renúncias e as vitórias desta conquista, dedico este trabalho. O meu mais profundo e eterno obrigado

EPÍGRAFE

"O verdadeiro progresso da ciência não está em substituir a mente humana, mais sim em dar a ela as ferramentas necessárias para enxergar o invisível com clareza e segurança."

Albert Einstein

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação visual dos diferentes erros e consequências de cada fase analíticas.....18

Figura 2: Comparativo entre laboratório manual x laboratório automatizado.....23

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese dos Estudos Seleccionados e suas Contribuições Operacionais	36
---	----

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	13
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.3 Objetivos Específicos.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Erros Laboratoriais nas Fases Pré-Analítica, Analítica e Pós-Analítica.....	16
2.2 Automação Laboratorial e Eficiência Operacional nos Laboratórios de Análises Clínicas.....	18
2.3 Impactos da Automação na Segurança do Paciente e nos Custos Assistenciais.....	21
2.4 Competências Biomédicas e Gestão da Qualidade em Laboratórios Automatizados.....	27
3.METODOLOGIA.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
6. REFERÊNCIAS.....	41

NYCOLAS BERNARDO DE ARAUJO ROCHA. **A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO NOS LABORATORIOS DE ANÁLISES CLÍNICAS**. 2026. Número folhas. Monografia de Conclusão de Curso- FASIPE- Faculdade de CPA.

RESUMO

Os laboratórios de análises clínicas exercem função decisiva no diagnóstico, no monitoramento terapêutico e na tomada de decisão em saúde, o que torna a qualidade dos processos laboratoriais diretamente relacionada à segurança do paciente. Nesse contexto, a automação laboratorial tem sido incorporada como estratégia técnica para reduzir falhas, padronizar fluxos, ampliar a rastreabilidade das amostras e otimizar a liberação de resultados. Este estudo teve como objetivo analisar, na literatura científica, a importância da automação nos laboratórios de análises clínicas, considerando sua influência na redução de erros, na melhoria da eficiência operacional e na qualificação dos resultados diagnósticos. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, com abordagem qualitativa e descritivo-analítica, elaborada a partir de artigos científicos nacionais e internacionais publicados entre 2020 e 2026, localizados em bases e periódicos indexados da área biomédica e da saúde. Foram excluídas revisões, teses, dissertações, anais, eventos e publicações sem aderência direta ao tema. Os resultados indicaram que os erros laboratoriais permanecem mais frequentes na fase pré-analítica, especialmente em situações de hemólise, coagulação, volume insuficiente, falhas de identificação e rejeição de amostras. A discussão evidenciou que a automação, associada ao Sistema de Informação Laboratorial, *middleware* e autoverificação, contribui para reduzir intervenções manuais, melhorar o tempo de resposta e fortalecer a confiabilidade dos laudos. Conclui-se que a automação laboratorial não substitui a análise crítica do biomédico, mas qualifica sua atuação ao exigir domínio tecnológico, controle de qualidade e interpretação criteriosa dos indicadores laboratoriais.

Palavras-chave: Automação laboratorial; Análises clínicas; Erros pré-analíticos; Segurança do paciente; Eficiência operacional.

NYCOLAS BERNARDO DE ARAUJO ROCHA. **A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO NOS LABORATÓRIOS DE ANÁLISES CLÍNICAS**, 2026. X folhas. Monografia de conclusão de curso-FASIPE-Faculdade de cpa.

ABSTRACT

Clinical analysis laboratories play a crucial role in diagnosis, therapeutic monitoring, and health decision-making, making the quality of laboratory processes directly related to patient safety. In this context, laboratory automation has been incorporated as a technical strategy to reduce errors, standardize workflows, increase sample traceability, and optimize the release of results. This study aimed to analyze, through scientific literature, the importance of automation in clinical analysis laboratories, considering its influence on error reduction, improved operational efficiency, and the qualification of diagnostic results. This is a narrative literature review, with a qualitative and descriptive-analytical approach, based on national and international scientific articles published between 2020 and 2026, located in indexed databases and journals in the biomedical and health fields. Reviews, theses, dissertations, proceedings, events, and publications not directly related to the topic were excluded. The results indicated that laboratory errors remain more frequent in the pre-analytical phase, especially in situations of hemolysis, coagulation, insufficient volume, identification failures, and sample rejection. The discussion highlighted that automation, associated with Laboratory Information Systems, middleware, and self-verification, contributes to reducing manual interventions, improving response time, and strengthening the reliability of reports. It is concluded that laboratory automation does not replace the critical analysis of the biomedical professional, but it enhances their performance by requiring technological mastery, quality control, and careful interpretation of laboratory indicators.

Keywords: Laboratory automation; Clinical analyses; Pre-analytical errors; Patient safety; Operational efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Os laboratórios de análises clínicas constituem estruturas decisivas para o diagnóstico, o prognóstico, o monitoramento terapêutico e a vigilância de agravos em saúde. A automação laboratorial, nesse contexto, deixou de representar apenas a aquisição de equipamentos e passou a envolver a integração entre instrumentos analíticos, sistemas informatizados, rastreabilidade de amostras e padronização de fluxos técnicos. Essa incorporação responde à crescente demanda por exames, à necessidade de resultados mais reproduzíveis e à exigência de maior controle sobre falhas operacionais (Shcolnik et al., 2021; Al Naam et al., 2022).

Nos últimos anos, os laboratórios clínicos passaram a incorporar sistemas de automação total (Total Laboratory Automation – TLA), integrando etapas pré-analíticas, analíticas e pós-analíticas em plataformas automatizadas capazes de aumentar a produtividade, reduzir falhas humanas e otimizar o fluxo operacional. A implementação dessas tecnologias modificou significativamente a dinâmica laboratorial, promovendo maior integração entre equipamentos, sistemas de informação e processos técnicos (JIN et al., 2021; AL NAAM et al., 2022).

O processo laboratorial compreende fases sucessivas e interdependentes, nas quais pequenas falhas podem comprometer a confiabilidade diagnóstica. A etapa pré-analítica envolve solicitação médica, preparo do paciente, coleta, identificação, acondicionamento e transporte da amostra biológica. A etapa analítica abrange processamento, calibração, controle interno da qualidade e execução dos ensaios. A fase pós-analítica inclui validação, registro, interpretação, comunicação e disponibilização do laudo. A automação atua nesses pontos ao reduzir manipulações manuais, ampliar a rastreabilidade e favorecer maior uniformidade operacional (Shcolnik et al., 2021; Jin et al., 2021).

A eficiência operacional em análises clínicas está relacionada ao aproveitamento adequado da capacidade instalada, ao controle do tempo de resposta, à redução de etapas redundantes e à liberação tecnicamente segura dos resultados. O turnaround time, entendido como intervalo entre a entrada da amostra e a disponibilização do laudo, tornou-se indicador sensível para avaliar desempenho laboratorial. Em serviços automatizados, atividades repetitivas são transferidas para plataformas integradas, enquanto o biomédico assume funções mais analíticas, voltadas à supervisão, validação crítica e gestão da qualidade (Al Naam et al., 2022).

A integração entre equipamentos automatizados e o Sistema de Informação Laboratorial, conhecido pela sigla LIS, modifica a forma como os dados são registrados, processados e validados. Quando associado à autoverificação, o LIS permite aplicar regras técnicas para liberação automática de resultados dentro de limites previamente definidos, reduzindo inconsistências de transcrição e atrasos decorrentes de validação manual desnecessária. Essa arquitetura informatizada exige parametrização cuidadosa, monitoramento contínuo e atuação profissional qualificada, pois a segurança do laudo depende da coerência entre tecnologia, critérios analíticos e controle de qualidade (Jin et al., 2021).

Nesse cenário, a automação laboratorial também se relaciona diretamente à segurança do paciente, uma vez que a redução de erros operacionais contribui para maior confiabilidade diagnóstica e menor risco de condutas clínicas inadequadas. A minimização de falhas pré-analíticas, analíticas e pós-analíticas favorece decisões clínicas mais seguras e reduz impactos assistenciais associados a resultados incorretos ou atrasados (SHCOLNIK et al., 2021; JIN et al., 2021).

Na microbiologia clínica, a automação tem repercussões relevantes, pois essa área historicamente depende de etapas manuais, incubação prolongada, leitura visual e interpretação técnica criteriosa. Plataformas automatizadas para semeadura, incubação, triagem e leitura digital de culturas permitem maior padronização, além de reduzir variações associadas ao operador. Cherkaoui et al. (2020) observaram redução do tempo de resposta em uroculturas e triagens microbiológicas após automação total. Kritikos et al. (2024) também identificaram impacto favorável em resultados microbiológicos urinários ao longo de cinco anos (Cherkaoui et al., 2020; Kritikos et al., 2024).

Apesar dos avanços tecnológicos, os erros laboratoriais continuam sendo problema relevante para a qualidade assistencial. Falhas pré-analíticas, como amostras hemolisadas, volume insuficiente, identificação incorreta, tubos inadequados e necessidade de coleta, podem invalidar resultados antes mesmo do processamento instrumental. Esses eventos produzem atraso diagnóstico, retrabalho, desperdício de insumos, aumento de custos e risco de condutas clínicas imprecisas (Shcolnik et al., 2021; Jin et al., 2021). Diante desse contexto, questiona-se: de que maneira a automação nos laboratórios de análises clínicas contribui para reduzir erros

laboratoriais e melhorar eficiência operacional, segurança do paciente e custos assistenciais?

A relevância deste estudo decorre da necessidade de compreender a automação laboratorial como fenômeno técnico, gerencial e assistencial no campo biomédico. Para a graduação em Biomedicina, essa discussão permite articular conhecimentos de hematologia, bioquímica clínica, microbiologia, informática laboratorial, controle da qualidade e segurança do paciente. A automação não substitui a competência profissional, mas redefine atribuições, exigindo domínio tecnológico, raciocínio analítico e capacidade de interpretar indicadores. Investigar seus efeitos contribui para uma formação alinhada às exigências atuais dos laboratórios de análises clínicas (Al Naam et al., 2022; Cherkaoui et al., 2020; Kritikos et al., 2024).

1.2 Objetivo geral

Analisar, por meio de uma revisão narrativa da literatura, a importância da automação nos laboratórios de análises clínicas, considerando sua influência na redução de erros laboratoriais, na melhoria da eficiência operacional e na qualificação dos resultados diagnósticos.

1.2.1 Objetivos específicos

- Identificar os principais tipos de erros pré-analíticos, analíticos e pós-analíticos descritos na literatura, relacionando-os às etapas do processo laboratorial e às possíveis contribuições dos sistemas automatizados para sua redução.
- Avaliar como a automação laboratorial interfere em indicadores de produtividade, como tempo de processamento das amostras, volume de exames realizados, padronização dos procedimentos e tempo de liberação dos resultados.
- Analisar os impactos econômicos associados à automação nos laboratórios de análises clínicas, considerando a redução de retrabalho, desperdícios, recoletas, falhas operacionais e eventos que possam comprometer a segurança do paciente

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erros laboratoriais nas fases pré-analítica, analítica e pós-analítica

Os erros laboratoriais correspondem (Figura 1) a falhas ocorridas em qualquer etapa do ciclo de produção do resultado, desde a solicitação do exame até a emissão e interpretação do laudo. Em análises clínicas, esses eventos não devem ser compreendidos apenas como desvios técnicos isolados, pois interferem na validade da amostra, na confiabilidade analítica e na conduta clínica subsequente. A classificação em fases pré-analítica, analítica e pós-analítica permite localizar a origem da falha, orientar indicadores de qualidade e definir medidas corretivas compatíveis com a rotina do serviço (Shcolnik *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2020).

Figura 1: comparação visual dos diferentes erros e consequências de cada fase analíticas.



Fonte: Adaptado de Shcolnik *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2020; Ferreira, Hamer e Bello, 2024; Igbal *et al.*, 2023; Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025.

A fase pré-analítica reúne procedimentos anteriores ao processamento instrumental e concentra parcela expressiva dos desvios laboratoriais, principalmente por depender de múltiplas interações entre paciente, equipe de coleta, transporte, recepção técnica e triagem. Inclui preparo do paciente, jejum quando indicado, identificação, escolha do tubo, ordem de coleta, volume adequado, homogeneização, acondicionamento e envio ao setor responsável. Qualquer inadequação nesses pontos pode alterar constituintes bioquímicos, hematológicos ou microbiológicos, gerando rejeição da amostra, necessidade de recoleta e atraso na entrega do resultado (Shcolnik *et al.*, 2021; Ferreira, Hamer e Bello, 2024).

Entre os erros pré-analíticos mais recorrentes estão hemólise, coagulação de amostras anticoaguladas, volume insuficiente, identificação incorreta, ausência de identificação, recipiente inadequado, amostra lipêmica, transporte em temperatura imprópria e demora entre coleta e processamento. Esses eventos comprometem a estabilidade do material biológico e podem produzir resultados falsamente elevados, reduzidos ou tecnicamente inválidos. Na hematologia, por exemplo, coágulos em tubos com anticoagulante interferem na contagem celular, enquanto volumes inadequados alteram a proporção sangue-aditivo, prejudicando a precisão do exame (Iqbal *et al.*, 2023; Cheng *et al.*, 2025).

A identificação do paciente e da amostra constitui ponto sensível da segurança laboratorial, pois falhas nessa etapa podem associar resultados a indivíduos errados e produzir decisões clínicas incompatíveis com a condição real do paciente. Erros de rotulagem, divergência entre requisição e tubo, troca de etiquetas e ausência de conferência ativa são eventos com repercussão direta sobre transfusões, antibioticoterapia, investigação oncológica e monitoramento de doenças crônicas. Por isso, a rastreabilidade da amostra precisa ser tratada como requisito técnico, não como simples procedimento administrativo (Shcolnik *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2020).

A rejeição de amostras funciona como indicador de qualidade porque revela falhas antes da análise e impede a liberação de resultados potencialmente inadequados. Contudo, rejeitar uma amostra não elimina o impacto assistencial do erro, pois o paciente pode ser submetido a nova punção, o diagnóstico pode ser retardado e a equipe clínica pode permanecer sem informação laboratorial em momento decisivo. A avaliação por métricas Six Sigma permite mensurar defeitos por milhão de oportunidades, classificar desempenho e priorizar intervenções sobre os tipos de erro mais frequentes (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025).

O monitoramento contínuo dos erros pré-analíticos exige indicadores padronizados, registro sistemático e análise comparativa entre serviços. Programas de *benchmarking* permitem verificar se a frequência de falhas em determinado laboratório se aproxima de referências externas ou se revela fragilidades internas persistentes. Indicadores como coleta, amostra não recebida, exame não cadastrado, contaminação de hemocultura e material inadequado ajudam a transformar ocorrências cotidianas em dados gerenciais. Sem essa mensuração, a correção tende a permanecer reativa, fragmentada e dependente de relatos isolados (Shcolnik *et al.*, 2021; Ferreira, Hamer e Bello, 2024).

A hemólise merece atenção específica porque altera diversos analitos e permanece entre os motivos frequentes de rejeição em diferentes contextos laboratoriais. Pode decorrer de punção traumática, uso inadequado de agulhas, aspiração excessiva, homogeneização vigorosa, transporte inadequado ou centrifugação imprópria. Seus efeitos variam conforme o exame solicitado, interferindo em potássio, lactato desidrogenase, aspartato aminotransferase e outros marcadores. Em serviços de urgência, a repetição da coleta associada à hemólise pode atrasar decisões terapêuticas e ampliar a pressão sobre equipes já sobrecarregadas (Cheng *et al.*, 2025; Chang *et al.*, 2020).

As amostras coaguladas também representam problema expressivo, especialmente em exames hematológicos que dependem de anticoagulação adequada para preservar elementos celulares. A formação de coágulos pode estar relacionada à mistura insuficiente do tubo após a coleta, ao tempo prolongado até o processamento ou à proporção incorreta entre sangue e anticoagulante. Quando não detectado, esse erro pode comprometer contagens de plaquetas, leucócitos e hemácias, gerando inconsistências incompatíveis com o estado clínico. A triagem visual, os alarmes instrumentais e a capacitação da equipe reduzem esse risco (Iqbal *et al.*, 2023; Güner *et al.*, 2025).

A fase analítica compreende o processamento técnico da amostra, a execução dos métodos, a calibração dos equipamentos, o uso de controles internos e a verificação da precisão e exatidão dos ensaios. Embora tenha recebido maior proteção com avanços tecnológicos, sistemas automatizados e programas de controle da qualidade, ainda pode apresentar falhas decorrentes de reagentes vencidos, calibração inadequada, interferentes, manutenção insuficiente e interpretação incorreta de alertas do equipamento. A menor frequência relativa de erros analíticos

não autoriza negligência, pois seus efeitos atingem diretamente a validade do resultado liberado (Chang *et al.*, 2020; Iqbal *et al.*, 2023).

Na fase analítica, interferentes endógenos e exógenos precisam ser reconhecidos como fonte de distorção dos resultados. Hemólise, lipemia, icterícia, presença de medicamentos, anticoagulantes indevidos e contaminação por soluções intravenosas podem alterar a leitura instrumental ou a reação química empregada. A detecção desses fatores depende de critérios laboratoriais claros, avaliação técnica e integração entre dados da amostra e informações clínicas disponíveis. Quando a interferência não é identificada, o laudo pode orientar investigação desnecessária, ajuste terapêutico inadequado ou repetição de exames sem justificativa clínica consistente (Cheng *et al.*, 2025; Shcolnik *et al.*, 2021).

A fase pós-analítica envolve validação, registro, comunicação e disponibilidade do resultado, sendo marcada por riscos relacionados à transcrição, atraso na liberação, falhas de comunicação de valores críticos e interpretação sem correlação clínica. Mesmo quando a amostra é adequada e a análise ocorre corretamente, erros nessa etapa podem comprometer o uso assistencial do exame. Resultados críticos não comunicados oportunamente, laudos incompletos ou divergências entre sistema e prontuário eletrônico dificultam decisões clínicas. Portanto, a qualidade laboratorial depende da continuidade entre análise técnica e comunicação segura da informação produzida (Chang *et al.*, 2020; Shcolnik *et al.*, 2021).

A participação das equipes de enfermagem, coleta e laboratório na ocorrência e prevenção dos erros pré-analíticos exige abordagem educativa permanente. A coleta de material biológico demanda domínio técnico sobre tubos, anticoagulantes, assepsia, tempo de garroteamento, ordem de coleta e condições de transporte. Quando esses procedimentos são executados sem treinamento suficiente ou sob pressão assistencial intensa, aumentam as chances de falhas repetidas. A análise das experiências profissionais permite compreender barreiras práticas, como sobrecarga, comunicação deficiente e desconhecimento de critérios de rejeição adotados pelo laboratório (Güner *et al.*, 2025; Ferreira, Hamer e Bello, 2024).

A padronização dos critérios de rejeição é indispensável para evitar decisões subjetivas e garantir coerência entre setores laboratoriais. Amostras com volume inadequado, coágulos, hemólise intensa, identificação divergente ou conservação imprópria devem ser avaliadas conforme protocolos definidos, considerando o risco de liberar resultado inválido e a necessidade clínica do exame. Protocolos bem

estruturados permitem registrar o motivo da rejeição, comunicar a equipe solicitante e orientar ações preventivas. Essa prática fortalece a cultura de qualidade e reduz a repetição de falhas nos pontos críticos do processo (Cheng *et al.*, 2025; Iqbal *et al.*, 2023).

A gestão dos erros laboratoriais exige que os dados coletados sejam convertidos em medidas de melhoria, como revisão de fluxos, treinamento direcionado, auditoria de processos, indicadores por setor e comunicação entre laboratório e unidades assistenciais. O simples registro da falha não modifica a prática se não houver análise de causa, acompanhamento temporal e devolutiva aos profissionais envolvidos. Ao monitorar erros pré-analíticos, analíticos e pós-analíticos, o laboratório amplia sua capacidade de prevenir resultados inadequados, reduzir recoletas, qualificar a segurança do paciente e sustentar decisões clínicas mais confiáveis (Shcolnik *et al.*, 2021; Ferreira, Hamer e Bello, 2024; Chang *et al.*, 2020).

2.2 Automação laboratorial e eficiência operacional nos laboratórios de análises clínicas

A automação laboratorial (Figura 2) corresponde à incorporação de plataformas, módulos instrumentais e sistemas informatizados destinados a executar, monitorar e integrar etapas do processamento de amostras biológicas. Nos laboratórios de análises clínicas, essa organização técnica pode envolver triagem, centrifugação, aliquotagem, transporte interno, análise, validação e liberação de resultados. A eficiência operacional, nesse contexto, não se limita ao aumento da velocidade, pois inclui regularidade dos fluxos, redução de intervenções manuais, previsibilidade produtiva, rastreabilidade e melhor aproveitamento da força de trabalho especializada (Al Naam *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

A automação total, também conhecida como *total laboratory automation*, articula diferentes etapas do processo laboratorial em uma linha integrada, geralmente conectada a analisadores, esteiras, módulos de pré-processamento e sistemas digitais de gestão. Essa configuração reduz deslocamentos manuais, minimiza esperas entre setores e organiza a sequência técnica de acordo com prioridades previamente definidas. Em laboratórios de grande demanda, a integração física e informacional permite absorver maior volume de exames sem depender

proporcionalmente do aumento de profissionais em atividades repetitivas (Al Naam et al., 2022).

Figura 2: Comparativo entre laboratório manual x laboratório automatizado

Dimensão Operacional		Laboratório Tradicional (Manual)	Laboratório Moderno (Automatizado / TIA)
	Fluxo de Trabalho & Processamento	Fragmentado, dependente de movimentação física.	• Integrado em linha única com esteiras transportadoras.
	Produtividade & Volume	Limitada, proporcional ao tamanho da equipe.	• Escalável, alta capacidade para grandes volumes.
	Tempo de Liberação (Turnaround Time - TAT)	Elevado, com gargalos físicos.	• Reduzido, com fluxo contínuo.
	Inserção & Transmissão de Dados	Digitação manual, alto risco de erro.	• Interface direta bidirecional via códigos de barras/RFID.
	Triagem & Validação de Resultados	Revisão individual de todos os laudos.	• Baseada em Middleware e Autoverificação, retenção seletiva.
	Tratamento de Alarmes e Gráficos	Conferência visual subjetiva.	• Cruzamento automático de alarmes e dados históricos.
	Rastreabilidade & Controle de Qualidade	Documental e difícil rastreamento.	• Monitoramento total em tempo real e indicadores contínuos.
	Papel e Perfil da Força de Trabalho	Foco em competências mecânicas.	• Foco em competências analíticas e de gestão.

Fonte: Adaptado de Al Naam et al. (2022) | Jin et al. (2021) | Roland et al. (2022) Fleishhacker et al. (2022) | Starks et al. (2021) | Zhu et al. (2022).

A produtividade laboratorial deve ser compreendida pela relação entre capacidade de processamento, tempo de execução, número de amostras, disponibilidade dos equipamentos e desempenho da equipe técnica. A automação altera essa relação ao redistribuir tarefas antes centradas em pipetagem, conferência manual, movimentação de tubos e digitação de dados. Com isso, parte das atividades passa a exigir supervisão de sistemas, interpretação de alertas, avaliação de inconsistências e controle de qualidade. A mudança não elimina a responsabilidade profissional, mas torna o trabalho mais dependente de competência analítica e domínio tecnológico (Al Naam et al., 2022; Roland et al., 2022).

A integração entre analisadores e sistemas de informação representa uma das dimensões mais relevantes da eficiência operacional. Quando os equipamentos se comunicam com o Sistema de Informação Laboratorial, conhecido como LIS, há menor necessidade de transcrição manual, menor duplicidade de registros e maior controle sobre a trajetória da amostra. Essa conectividade possibilita que dados de identificação, solicitações, resultados e alertas técnicos circulem com menor fragmentação. Assim, o fluxo laboratorial torna-se mais rastreável e menos vulnerável

a interrupções decorrentes de registros incompletos ou inconsistentes (Jin *et al.*, 2021; Fleishhacker *et al.*, 2022).

O *middleware* atua como uma camada intermediária entre os analisadores e o LIS, permitindo gerenciamento de regras, filtros, alarmes, critérios de revisão e decisões automatizadas sobre resultados. Na prática, essa tecnologia organiza dados brutos gerados pelos equipamentos, aplica parâmetros técnicos e direciona os casos que exigem avaliação manual. Essa mediação é especialmente útil em setores como hematologia e bioquímica clínica, nos quais grandes volumes de resultados precisam ser analisados com rapidez sem comprometer a coerência técnica da liberação (Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022).

A autoverificação consiste na liberação automatizada de resultados que atendem a critérios previamente estabelecidos, como intervalos de referência, limites críticos, histórico do paciente, ausência de alarmes instrumentais e consistência entre parâmetros correlacionados. Seu uso reduz a revisão manual de resultados compatíveis com padrões esperados e concentra a atenção profissional nos casos que apresentam discrepâncias. Essa estratégia favorece a redução do tempo de liberação, melhora a previsibilidade do fluxo e evita que a equipe técnica permaneça sobrecarregada por verificações repetitivas de baixo risco (Starks *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2022).

A construção de regras para autoverificação exige rigor técnico, pois critérios mal definidos podem liberar resultados inadequados ou reter exames que poderiam ser finalizados com segurança. Em química clínica, a combinação entre conhecimento especializado e análise de dados históricos permite ajustar intervalos de validação e tornar o sistema mais sensível às características da população atendida. Essa personalização reduz dependência de critérios genéricos e aproxima a automação da realidade do laboratório, desde que haja monitoramento contínuo, revisão periódica e participação de profissionais capacitados (Zhu *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

Na hematologia, a autoverificação apresenta complexidade particular, pois envolve parâmetros numéricos, alarmes morfológicos, histogramas, dispersogramas e necessidade eventual de revisão microscópica. O uso de dados de *middleware* permite identificar quais regras retêm maior número de amostras, quais alarmes produzem revisões frequentes e quais resultados podem ser liberados sem intervenção manual. Essa análise refinada contribui para ajustar protocolos, reduzir retenções desnecessárias e preservar a revisão técnica para amostras com maior

probabilidade de alteração clinicamente relevante (Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022).

O tempo de processamento constitui indicador central da eficiência laboratorial, pois expressa a capacidade do serviço de transformar uma amostra recebida em resultado disponível para uso clínico. A automação interfere nesse indicador ao reduzir intervalos improdutivos entre etapas, acelerar a transferência de dados e diminuir a espera por validação manual em resultados elegíveis. Entretanto, a redução do tempo não deve ser analisada isoladamente. Um fluxo rápido, mas tecnicamente mal parametrizado, pode comprometer a confiabilidade do processo e gerar retrabalho posterior (Jin *et al.*, 2021; Fleishhacker *et al.*, 2022).

A interface entre analisadores próximos ao ponto de cuidado e sistemas eletrônicos também modifica a eficiência em unidades de urgência e atendimento rápido. Quando resultados de química clínica e hematologia são transmitidos diretamente ao sistema, diminui-se a dependência de inserção manual, o que reduz atrasos e inconsistências de registro. Essa conectividade favorece maior continuidade entre coleta, processamento e acesso ao resultado, principalmente em ambientes nos quais decisões clínicas precisam ocorrer em intervalos curtos e com menor tolerância a falhas administrativas (Fleishhacker *et al.*, 2022).

A automação também impõe mudanças na gestão da força de trabalho laboratorial. Em vez de concentrar profissionais em tarefas mecânicas, o serviço passa a demandar competências em operação de plataformas, solução de falhas, interpretação de indicadores, manutenção de fluxos e avaliação crítica de resultados bloqueados. Essa reorganização pode aumentar a produtividade por trabalhador, mas exige treinamento, adaptação institucional e redefinição de responsabilidades. A eficiência obtida pela tecnologia depende, portanto, da capacidade do laboratório de alinhar equipamentos, pessoas, protocolos e gestão da qualidade (Al Naam *et al.*, 2022; Roland *et al.*, 2022).

O aumento do volume de exames processados não deve ser confundido com melhoria automática do desempenho laboratorial. Para que a automação produza ganhos consistentes, é necessário controlar indicadores como taxa de autoverificação, percentual de resultados retidos, tempo médio de liberação, frequência de alarmes, estabilidade dos equipamentos e número de intervenções manuais por amostra. Esses dados permitem identificar gargalos, revisar regras e avaliar se o sistema está realmente simplificando o fluxo ou apenas deslocando

dificuldades para etapas posteriores de validação técnica (Starks *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2022).

A eficiência operacional associada à automação depende da integração entre tecnologia, governança de dados e avaliação contínua do processo laboratorial. Linhas automatizadas, *middleware*, LIS e autoverificação só produzem resultados consistentes quando configurados segundo critérios técnicos, revisados conforme o perfil assistencial e acompanhados por indicadores mensuráveis. Nos laboratórios de análises clínicas, a automação deve ser entendida como uma estratégia de qualificação do fluxo produtivo, capaz de reduzir etapas manuais, acelerar a liberação de exames e direcionar a atuação profissional para decisões de maior complexidade técnica (Jin *et al.*, 2021; Al Naam *et al.*, 2022; Fleishhacker *et al.*, 2022).

2.3 Impactos da automação na segurança do paciente e nos custos assistenciais

A segurança do paciente, no âmbito dos laboratórios de análises clínicas, depende da capacidade de produzir resultados confiáveis em tempo compatível com a necessidade clínica. A automação contribui para esse processo ao reduzir etapas manuais, padronizar procedimentos e diminuir a variabilidade operacional que pode comprometer a decisão terapêutica. Quando a informação laboratorial chega tardiamente ou apresenta inconsistência técnica, aumenta-se o risco de condutas inadequadas, prolongamento de internações, uso empírico de medicamentos e repetição desnecessária de exames (Cherkaoui *et al.*, 2020; Jin *et al.*, 2021).

A redução do tempo de resposta, conhecido como *turnaround time*, possui relação direta com a segurança assistencial, pois exames laboratoriais orientam diagnóstico, estratificação de risco, escolha terapêutica e acompanhamento de evolução clínica. Na microbiologia, essa relação torna-se ainda mais sensível, uma vez que atrasos em culturas e triagens de microrganismos resistentes podem manter pacientes sob antimicrobianos empíricos por períodos prolongados. A automação encurta intervalos entre processamento, leitura, validação e liberação, favorecendo decisões mais oportunas e tecnicamente sustentadas (Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024).

Nos exames microbiológicos, a automação interfere na segurança do paciente ao qualificar etapas de semeadura, incubação, monitoramento e leitura de culturas. A padronização desses procedimentos reduz variações associadas ao operador e

melhora a previsibilidade do fluxo diagnóstico. Em uroculturas, triagens para *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina, enterobactérias produtoras de betalactamases de espectro estendido e enterococos resistentes à vancomicina, resultados mais rápidos podem orientar isolamento, terapia antimicrobiana e medidas de controle de infecção com menor atraso institucional (Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024).

Durante períodos de sobrecarga assistencial, como ocorreu na emergência sanitária da COVID-19, a automação laboratorial revelou importância adicional para preservar fluxo diagnóstico diante do aumento de demanda e da limitação de recursos humanos. Em microbiologia clínica, a capacidade de organizar processamento contínuo e reduzir etapas manuais contribuiu para manter respostas laboratoriais em tempo mais adequado, mesmo sob pressão operacional. Essa condição afeta diretamente a segurança, pois atrasos acumulados podem repercutir em internações prolongadas, tratamentos empíricos e maior consumo de insumos assistenciais (Fontana *et al.*, 2023).

A confiabilidade dos resultados também depende da diminuição de falhas anteriores ao processamento técnico, pois amostras rejeitadas geram atrasos, recoletas e exposição do paciente a novos procedimentos. A rejeição por volume insuficiente, coagulação, hemólise, recipiente inadequado ou identificação incorreta representa não apenas problema técnico, mas evento com repercussão clínica e econômica. Cada amostra recusada consome materiais, tempo de equipe, capacidade operacional e, em muitos casos, retarda decisões médicas que dependem de confirmação laboratorial (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025).

Os custos assistenciais associados aos erros laboratoriais não se restringem ao valor direto de tubos, reagentes ou procedimentos repetidos. Há custos indiretos relacionados ao retrabalho, à ocupação prolongada de leitos, ao uso desnecessário de medicamentos, à repetição de punções, à mobilização de equipes e à possível solicitação de exames adicionais para esclarecer resultados incongruentes. A automação, ao favorecer rastreabilidade, padronização e controle sobre fluxos críticos, pode reduzir perdas acumuladas que raramente aparecem de modo isolado na contabilidade laboratorial (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025).

A racionalização de recursos em laboratórios automatizados ocorre quando a tecnologia reduz desperdícios, direciona melhor a força de trabalho e evita repetições causadas por falhas evitáveis. Não se trata apenas de processar mais exames, mas

de impedir que a produção laboratorial seja consumida por correções, recadastrados, buscas manuais, recoletas e validações redundantes. Quando os indicadores de rejeição são monitorados, o serviço identifica pontos de perda e pode intervir em coleta, transporte, triagem e comunicação com unidades assistenciais (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025).

A autoverificação, quando estruturada com critérios técnicos consistentes, contribui para a segurança ao reduzir atrasos na liberação de resultados compatíveis com parâmetros definidos e ao reservar revisão humana para situações de maior complexidade. Essa estratégia diminui gargalos pós-analíticos, evita retenções desnecessárias e melhora a circulação da informação diagnóstica. Todavia, sua aplicação exige validação criteriosa, pois regras inadequadas podem liberar resultados sem coerência clínica ou bloquear exames que poderiam ser disponibilizados com segurança, gerando novos atrasos no fluxo assistencial (Jin *et al.*, 2021).

O Sistema de Informação Laboratorial, conhecido pela sigla LIS, fortalece a segurança do paciente ao integrar identificação, rastreabilidade, validação e comunicação dos resultados. Quando associado à automação, o LIS reduz transcrições manuais e inconsistências entre sistemas, além de permitir registro de alertas, bloqueios e critérios de liberação. Essa arquitetura torna o processo menos dependente de conferências fragmentadas e favorece auditoria posterior. A segurança, nesse caso, decorre da combinação entre tecnologia, parametrização técnica e vigilância permanente dos resultados liberados (Jin *et al.*, 2021).

A automação também influencia o suporte à decisão clínica, pois resultados laboratoriais mais rápidos e confiáveis favorecem condutas terapêuticas ajustadas ao quadro real do paciente. Em microbiologia, a antecipação de resultados negativos ou positivos pode reduzir tratamentos empíricos prolongados e orientar precocemente a necessidade de isolamento ou revisão antimicrobiana. Esse impacto ultrapassa o setor laboratorial e alcança unidades de internação, pronto atendimento, controle de infecção e gestão farmacoterapêutica, áreas diretamente afetadas pela velocidade e precisão da informação diagnóstica (Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024).

A análise econômica da automação deve considerar que o investimento inicial em equipamentos, manutenção, conectividade e capacitação pode ser elevado, mas seus efeitos precisam ser avaliados no conjunto do processo assistencial. Redução de tempo de resposta, menor retrabalho, diminuição de recoletas e liberação mais ágil

de resultados podem compensar parte dos custos ao evitar desperdícios e atrasos clínicos. A eficiência econômica, portanto, depende de implantação planejada, indicadores de desempenho e revisão contínua dos pontos que ainda geram perda operacional (Fontana *et al.*, 2023; Jin *et al.*, 2021).

A segurança do paciente e os custos assistenciais são dimensões interligadas, pois falhas laboratoriais aumentam risco clínico e, simultaneamente, ampliam consumo de recursos. A automação contribui quando reduz variabilidade, acelera resultados, melhora rastreabilidade, diminui rejeições e sustenta decisões clínicas com dados mais consistentes. Entretanto, seus benefícios não decorrem da tecnologia isolada, mas da integração entre protocolos, capacitação profissional, avaliação de indicadores e governança laboratorial. Assim, a automação deve ser compreendida como estratégia técnica para qualificar o cuidado e racionalizar recursos em análises clínicas (Cherkaoui *et al.*, 2020; Cheng *et al.*, 2025; Jin *et al.*, 2021).

2.4 Competências biomédicas e gestão da qualidade em laboratórios automatizados

A automação laboratorial alterou de forma significativa as exigências técnicas atribuídas ao biomédico nos laboratórios de análises clínicas. A atuação profissional passou a envolver domínio de plataformas automatizadas, interpretação de alarmes instrumentais, acompanhamento de indicadores e análise crítica de resultados bloqueados ou divergentes. Nesse contexto, a competência biomédica não se restringe à execução de procedimentos, pois exige compreensão integrada entre fluxo de amostras, desempenho analítico, validação informatizada e segurança do resultado liberado ao serviço assistencial (Al Naam *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

A reorganização da força de trabalho em ambientes automatizados demonstra que a tecnologia reduz tarefas repetitivas, mas amplia a necessidade de supervisão técnica qualificada. Atividades antes concentradas em pipetagem, conferência manual, transporte de tubos e lançamento de dados passam a ser mediadas por sistemas integrados. Com isso, o biomédico assume funções relacionadas à verificação de desempenho, análise de inconsistências, controle de qualidade, investigação de falhas e tomada de decisão sobre amostras que não atendem aos critérios de liberação automatizada (Al Naam *et al.*, 2022; Roland *et al.*, 2022).

A gestão da qualidade em laboratórios automatizados depende da capacidade de transformar dados operacionais em decisões técnicas. Indicadores como taxa de rejeição de amostras, frequência de hemólise, volume insuficiente, coagulação, recoletas, tempo de liberação e percentual de resultados retidos orientam intervenções sobre pontos frágeis do processo. A atuação biomédica torna-se mais analítica quando esses dados são avaliados de forma contínua, permitindo identificar padrões de erro, propor medidas corretivas e monitorar se as intervenções produziram melhoria mensurável (Shcolnik *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2025).

O domínio do Sistema de Informação Laboratorial, conhecido pela sigla LIS, tornou-se requisito técnico para a atuação em laboratórios automatizados. Esse sistema organiza a comunicação entre solicitação, cadastro, processamento, validação e disponibilização dos resultados. Quando configurado de forma inadequada, pode gerar bloqueios excessivos, falhas de rastreabilidade ou inconsistências entre dados clínicos e laboratoriais. Por isso, o biomédico precisa compreender parâmetros, regras de validação, interfaces e limites operacionais, a fim de manter coerência entre automação, controle da qualidade e confiabilidade diagnóstica (Jin *et al.*, 2021; Fleishhacker *et al.*, 2022).

O *middleware* representa outro componente técnico que exige qualificação específica, pois funciona como uma camada de gerenciamento entre analisadores e sistemas laboratoriais. Sua utilização permite configurar regras, avaliar alarmes, filtrar resultados, bloquear amostras suspeitas e direcionar revisões manuais. Em hematologia, essa ferramenta demanda atenção especial, já que histogramas, dispersogramas e alertas morfológicos podem indicar alterações relevantes. O biomédico, nesse processo, precisa interpretar os dados gerados pelo sistema e decidir quando a automação é suficiente ou quando a revisão técnica deve prevalecer (Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022).

A autoverificação exige atuação profissional criteriosa desde a construção das regras até a auditoria dos resultados liberados. A definição de intervalos, limites críticos, critérios de bloqueio, delta check, correlação entre analitos e histórico do paciente não pode ser tratada como procedimento meramente operacional. Regras mal calibradas podem liberar resultados inadequados ou reter exames sem necessidade, comprometendo tanto a segurança quanto a eficiência. Assim, a competência biomédica envolve validar o sistema, acompanhar seu desempenho e revisar periodicamente os critérios adotados (Zhu *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

A formação biomédica também precisa contemplar a interpretação de métricas aplicadas à qualidade laboratorial. A utilização de metodologias como Six Sigma, indicadores de rejeição e programas de *benchmarking* favorece a avaliação objetiva do desempenho institucional. Esses instrumentos permitem comparar resultados, localizar falhas recorrentes e estabelecer prioridades de intervenção. Contudo, sua utilidade depende da leitura crítica dos dados, pois números isolados não explicam causas operacionais. Cabe ao profissional relacionar indicadores a condições de coleta, transporte, cadastro, processamento e comunicação entre setores (Shcolnik *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2025).

A interface entre laboratório e equipes assistenciais constitui dimensão relevante da gestão da qualidade, especialmente porque muitas falhas se originam fora do setor analítico. Amostras inadequadas, identificação incorreta, transporte impróprio e volume insuficiente dependem de rotinas compartilhadas entre enfermagem, coleta, unidades clínicas e laboratório. Güner *et al.* (2025) evidenciaram que a experiência dos profissionais envolvidos na coleta ajuda a compreender fatores organizacionais associados à rejeição de amostras. O biomédico, portanto, precisa atuar também na educação técnica e na comunicação interprofissional (Güner *et al.*, 2025; Ferreira, Hamer e Bello, 2024).

A automação não reduz a responsabilidade ética do biomédico sobre o resultado laboratorial; ao contrário, aumenta a necessidade de vigilância técnica sobre processos que passam a ocorrer com menor intervenção direta. A confiança no sistema deve ser acompanhada por mecanismos de auditoria, rastreabilidade e revisão de inconformidades. Resultados liberados automaticamente precisam ser sustentados por critérios validados, controles adequados e registros verificáveis. Quando esses elementos não são acompanhados, a automação pode ocultar falhas sob aparência de precisão tecnológica (Jin *et al.*, 2021; Starks *et al.*, 2021).

A capacitação contínua torna-se indispensável porque os sistemas automatizados passam por atualizações, mudanças de interface, ajustes de regras, substituição de reagentes e modificações nos protocolos institucionais. O biomédico precisa acompanhar essas alterações para interpretar corretamente mensagens do equipamento, padrões de alarme e variações de desempenho. A ausência de treinamento pode gerar dependência acrítica da tecnologia ou atrasos na resolução de falhas. Em laboratórios de alta demanda, essa competência interfere diretamente

na continuidade operacional e na liberação segura dos resultados (Al Naam *et al.*, 2022; Roland *et al.*, 2022).

A atuação biomédica em ambientes automatizados também envolve avaliação crítica da produtividade. O aumento do volume processado não representa, por si só, melhoria da qualidade laboratorial. É necessário verificar se a redução do tempo de resposta ocorreu sem aumento de resultados retidos, falhas de interface, recoletas ou revisões manuais desnecessárias. A gestão técnica deve equilibrar velocidade, confiabilidade e segurança, evitando que metas produtivas se sobreponham à consistência analítica. Esse equilíbrio depende de indicadores, protocolos e julgamento profissional bem fundamentado (Fleishhacker *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2022).

A automação laboratorial exige, portanto, um biomédico capaz de atuar como gestor técnico do processo diagnóstico, articulando conhecimento analítico, informática laboratorial, segurança do paciente e controle da qualidade. A tecnologia amplia a capacidade produtiva e reduz tarefas repetitivas, mas não substitui a interpretação profissional diante de falhas, alarmes e resultados incompatíveis. Nos laboratórios de análises clínicas, a qualificação da automação depende da competência humana para configurar, supervisionar, auditar e corrigir sistemas, mantendo a confiabilidade do exame como eixo central da prática biomédica (Al Naam *et al.*, 2022; Shcolnik *et al.*, 2021; Jin *et al.*, 2021).

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo consistiu em uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, voltada à compreensão da importância da automação nos laboratórios de análises clínicas. Esse delineamento foi escolhido por permitir a discussão crítica de produções científicas recentes sobre erros laboratoriais, eficiência operacional, autoverificação, integração de sistemas, segurança do paciente e custos assistenciais, sem a exigência de metanálise ou aplicação de protocolos estatísticos próprios das revisões sistemáticas.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados e plataformas científicas compatíveis com a área biomédica e com o perfil das referências selecionadas, incluindo PubMed/MEDLINE, Biblioteca Virtual em Saúde, SciELO, Web of Science, Scopus, PLOS ONE, BMC, Frontiers, MDPI e periódicos indexados nas áreas de patologia clínica, informática em saúde, microbiologia clínica, gestão laboratorial e qualidade em serviços de saúde.

Foram empregados descritores e palavras-chave em português e inglês, combinados por operadores booleanos, conforme a especificidade de cada base consultada. Entre os termos utilizados, incluíram-se: “automação laboratorial”, “laboratórios de análises clínicas”, “erros pré-analíticos”, “erros laboratoriais”, “segurança do paciente”, “eficiência operacional”, “autoverificação”, “sistema de informação laboratorial”, “*middleware*”, “tempo de resposta”, “custos assistenciais”, “*laboratory automation*”, “*clinical laboratory*”, “*preanalytical errors*”, “*laboratory errors*”, “*patient safety*”, “*turnaround time*”, “*autoverification*”, “*laboratory information system*” e “*healthcare costs*”. As combinações foram ajustadas conforme os resultados obtidos, com o objetivo de localizar estudos diretamente relacionados aos objetivos da pesquisa.

Foram incluídos artigos científicos nacionais e internacionais publicados entre 2020 e 2026, redigidos em português ou inglês, disponíveis na íntegra e relacionados à automação laboratorial, erros pré-analíticos, analíticos ou pós-analíticos, produtividade, integração de sistemas, autoverificação, tempo de liberação de resultados, segurança do paciente e racionalização de recursos assistenciais. Também foram priorizados estudos originais, retrospectivos, observacionais, comparativos, estudos de caso, estudos de desenvolvimento e validação de sistemas,

bem como pesquisas aplicadas à rotina de laboratórios clínicos, microbiologia, hematologia, bioquímica clínica e gestão da qualidade laboratorial.

Foram excluídos artigos de revisão, revisões sistemáticas, revisões integrativas, metanálises, dissertações, teses, trabalhos apresentados em anais, resumos de eventos, editoriais, cartas ao editor, capítulos de livro, documentos institucionais sem avaliação por pares e publicações fora do recorte temporal definido. Também foram descartados estudos que tratavam de automação em áreas laboratoriais sem relação direta com análises clínicas, textos sem acesso ao conteúdo completo e produções que abordavam tecnologia laboratorial apenas de forma periférica, sem contribuição efetiva para os objetivos propostos.

A coleta das informações ocorreu por meio da leitura inicial dos títulos e resumos, seguida da leitura integral dos artigos considerados elegíveis. Os dados foram organizados conforme sua pertinência aos três eixos da fundamentação teórica: erros laboratoriais nas fases pré-analítica, analítica e pós-analítica; automação laboratorial e eficiência operacional; e impactos da automação na segurança do paciente e nos custos assistenciais.

A análise das informações foi realizada de forma qualitativa, interpretativa e comparativa, considerando a convergência entre os achados dos artigos e os objetivos da pesquisa. Os estudos foram examinados quanto à contribuição para a compreensão dos processos laboratoriais, à aplicabilidade das tecnologias automatizadas, aos indicadores de qualidade descritos e às implicações práticas para a atuação biomédica. Ao final, foram selecionadas o total de 15 referências que apresentaram maior aderência ao tema, permitindo construir uma discussão teórica coerente com a proposta de uma revisão narrativa da literatura sobre a automação nos laboratórios de análises clínicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das produções selecionadas indica que a automação laboratorial deve ser compreendida como uma resposta técnica à intensificação da demanda diagnóstica, mas também como uma estratégia de controle de falhas, reorganização de fluxos e qualificação da informação clínica. Segue quadro com os principais achados durante a pesquisa (Quadro 1).

Quadro 1: Síntese dos Estudos Selecionados e suas Contribuições Operacionais

Autor/Ano	Objetivo do Estudo	Principais Resultados / Foco	Contribuição para o TCC
Al Naam et al. (2022)	Automação Total (TLA) e Força de Trabalho	Redistribuição de atividades: redução de tarefas manuais repetitivas e foco em supervisão e avaliação técnica	Demonstra reorganização qualificada do trabalho laboratorial (não apenas quantitativa)
Starks et al. (2021); Roland et al. (2022)	Middleware e Autoverificação em Hematologia	Otimização de regras de liberação automática vs. retenção para revisão técnica	Aborda equilíbrio entre automação e julgamento profissional necessário
Zhu et al. (2022)	Combinação de conhecimento técnico e dados históricos em Autoverificação	Ajuste de sistemas de autoverificação ao perfil populacional e local do laboratório	Desloca a automação para uma lógica mais customizada e responsiva
Jin et al. (2021)	Sistema LIS orientado à Autoverificação e Redução de Defeitos	Demonstra arquitetura informacional: integração entre instrumento, sistema, validação e liberação	Reforça o vínculo entre eficiência e segurança pós-analítica

Fleishhacker et al. (2022)	Integração de analisadores POCT e sistemas eletrônicos	Conectividade reduz transcrição manual e favorece liberação rápida de resultados em urgência	Focaliza ambientes de atendimento rápido onde o tempo é crítico
Shcolnik et al. (2021)	Comparação de indicadores préanalíticos (benchmarking)	Uso de benchmarking para mensurar falhas de coleta, transporte e identificação. Recorrência de erros	Valoriza indicadores como gestão laboratorial para erros pré-analíticos mensuráveis
Cheng et al. (2025)	Avaliação de métricas Six Sigma para rejeição de amostras	Conversão de falhas cotidianas em dados operacionais para orientar prioridades	Oferece leitura quantitativa e estruturada para monitorar vulnerabilidades

Fonte: autor próprio (2026)

Os artigos convergem ao demonstrar que a qualidade dos laboratórios de análises clínicas não depende apenas da capacidade analítica dos equipamentos, mas da articulação entre amostra adequada, processamento rastreável, validação técnica e liberação oportuna do resultado. Essa compreensão aproxima os estudos sobre erros pré-analíticos das pesquisas sobre automação, pois ambos tratam da confiabilidade do processo laboratorial (Shcolnik *et al.*, 2021; Jin *et al.*, 2021; Al Naam *et al.*, 2022).

Nos estudos voltados aos erros laboratoriais, a fase pré-analítica aparece como ponto de maior vulnerabilidade, principalmente por envolver procedimentos externos ao núcleo instrumental do laboratório. Shcolnik *et al.* (2021), Ferreira, Hamer e Bello (2024), Cheng *et al.* (2025), Güner *et al.* (2025), Iqbal *et al.* (2023) e Chang *et al.* (2020) convergem ao destacar falhas relacionadas à coleta, identificação, acondicionamento, transporte e rejeição de amostras. Essa recorrência demonstra que a precisão diagnóstica pode ser comprometida antes da atuação dos

analisadores, exigindo monitoramento sistemático e padronização das rotinas pré-analíticas (Shcolnik *et al.*, 2021; Ferreira, Hamer e Bello, 2024; Cheng *et al.*, 2025).

A principal aproximação entre Shcolnik *et al.* (2021) e Ferreira, Hamer e Bello (2024) está na valorização dos indicadores de qualidade como instrumentos de gestão laboratorial. Enquanto Shcolnik *et al.* (2021) trabalharam com um programa brasileiro de *benchmarking* em indicadores pré-analíticos, Ferreira, Hamer e Bello (2024) aplicaram essa lógica ao laboratório de patologia clínica de um hospital oncológico. Ambos evidenciam que o erro pré-analítico não deve ser tratado como ocorrência episódica, mas como evento mensurável, comparável e passível de intervenção institucional (Shcolnik *et al.*, 2021; Ferreira, Hamer e Bello, 2024).

Cheng *et al.* (2025) ampliaram essa discussão ao aplicar métricas Six Sigma à rejeição de amostras, oferecendo uma leitura quantitativa do desempenho pré-analítico. A contribuição desse estudo está na tentativa de transformar falhas cotidianas em dados operacionais capazes de orientar prioridades. Em comparação, Güner *et al.* (2025) acrescentaram uma dimensão mais assistencial ao investigar não apenas taxas de rejeição, mas também experiências de enfermeiros diante desses eventos. Assim, enquanto Cheng *et al.* (2025) privilegiaram mensuração e desempenho, Güner *et al.* (2025) destacaram condições práticas de trabalho, treinamento e comunicação entre equipes (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025).

Iqbal *et al.* (2023) e Chang *et al.* (2020) também reforçam a centralidade das falhas pré-analíticas, porém com enfoques distintos. Iqbal *et al.* (2023) concentraram-se em erros no laboratório de hematologia, ressaltando problemas como amostras coaguladas, volume inadequado e interferências que comprometem contagens celulares. Chang *et al.* (2020), por sua vez, analisaram dados anuais de um laboratório central universitário, permitindo observar a persistência dos erros ao longo do tempo. A divergência não está nos achados, mas na escala de observação, setorial em um caso e institucional no outro (Iqbal *et al.*, 2023; Chang *et al.*, 2020).

O confronto entre esses estudos evidencia que a automação, embora relevante, não elimina automaticamente os erros pré-analíticos, pois muitos deles se originam em etapas que antecedem o processamento instrumental. Essa constatação impede uma visão simplista da tecnologia como solução isolada. A redução de falhas exige integração entre coleta, cadastro, transporte, triagem e comunicação com unidades assistenciais. Assim, os dados sobre rejeição de amostras dialogam com os estudos sobre automação ao indicar que a rastreabilidade e a padronização precisam

alcançar todo o ciclo laboratorial, não apenas a etapa analítica (Shcolnik *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025).

A hemólise, o volume insuficiente, a coagulação e a identificação incorreta aparecem como problemas recorrentes em diferentes contextos, o que sugere fragilidades compartilhadas entre serviços de saúde. Embora os estudos não apresentem resultados idênticos, todos indicam que a rejeição de amostras possui impacto direto sobre produtividade, tempo de resposta e segurança assistencial. Nesse ponto, há convergência clara entre os autores: o erro pré-analítico gera retrabalho, consome insumos, exige nova coleta e pode atrasar condutas clínicas dependentes do resultado laboratorial (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025; Iqbal *et al.*, 2023).

A discussão sobre eficiência operacional, por sua vez, desloca o foco da ocorrência do erro para a capacidade do laboratório em organizar fluxos mais previsíveis e produtivos. Al Naam *et al.* (2022), Starks *et al.* (2021), Roland *et al.* (2022), Zhu *et al.* (2022), Jin *et al.* (2021) e Fleishhacker *et al.* (2022) abordam tecnologias distintas, mas convergem ao tratar a automação como mecanismo de redução de etapas manuais, diminuição de gargalos e qualificação da liberação de resultados. Essa convergência atende diretamente ao objetivo de avaliar indicadores de produtividade, processamento e tempo de resposta (Al Naam *et al.*, 2022; Starks *et al.*, 2021; Jin *et al.*, 2021).

Al Naam *et al.* (2022) discutiram a automação total a partir de seus efeitos sobre a força de trabalho laboratorial, demonstrando que a tecnologia modifica a distribuição das atividades profissionais. O estudo sugere que tarefas repetitivas tendem a ser transferidas para sistemas automatizados, enquanto a equipe passa a se concentrar em supervisão, resolução de falhas e avaliação técnica. Essa interpretação se distancia de uma leitura puramente quantitativa da produtividade, pois reconhece que eficiência não significa apenas aumento de volume, mas reorganização qualificada do trabalho laboratorial (Al Naam *et al.*, 2022).

Starks *et al.* (2021) e Roland *et al.* (2022) aproximam-se ao discutir o uso do *middleware* e da autoverificação em hematologia. Ambos os estudos tratam da necessidade de selecionar quais resultados podem ser liberados automaticamente e quais devem permanecer sob revisão técnica. A diferença está na forma de abordagem: Starks *et al.* (2021) exploraram dados de *middleware* para otimizar regras de autoverificação, enquanto Roland *et al.* (2022) enfatizaram a experiência de

customização em um laboratório terciário. Em ambos, a eficiência depende da qualidade das regras aplicadas (Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022).

Zhu *et al.* (2022) acrescentaram à discussão a possibilidade de aperfeiçoar sistemas de autoverificação por meio da combinação entre conhecimento técnico e dados históricos. Essa perspectiva é relevante porque desloca a automação de um modelo rígido para uma lógica mais ajustada ao perfil do laboratório e da população atendida. Em comparação com Starks *et al.* (2021) e Roland *et al.* (2022), Zhu *et al.* (2022) discutiram mais diretamente a construção dos critérios de liberação, especialmente em química clínica, evidenciando que a parametrização exige atualização contínua (Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2022).

Jin *et al.* (2021) contribuíram ao demonstrar a implementação de um sistema de validação baseado em Sistema de Informação Laboratorial, conhecido pela sigla LIS, orientado à autoverificação e à redução de defeitos na liberação automatizada. Esse estudo aproxima-se de Zhu *et al.* (2022) ao valorizar regras técnicas e coerência entre dados. Entretanto, Jin *et al.* (2021) enfatizaram a arquitetura informacional do processo, mostrando que a automação depende da integração entre instrumento, sistema, validação e liberação. Essa abordagem torna mais evidente o vínculo entre eficiência e segurança pós-analítica (Jin *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2022).

Fleishhacker *et al.* (2022) deslocaram a discussão para a interface entre analisadores próximos ao ponto de cuidado e sistemas eletrônicos em clínicas de urgência. A principal contribuição desse estudo está em demonstrar que a conectividade reduz a necessidade de transcrição manual e favorece a liberação mais rápida de resultados. Em comparação com Jin *et al.* (2021), o estudo de Fleishhacker *et al.* (2022) focaliza ambientes de atendimento rápido, nos quais o atraso informacional pode comprometer decisões imediatas. Ambos, contudo, reforçam que integração digital é componente técnico da eficiência laboratorial (Jin *et al.*, 2021; Fleishhacker *et al.*, 2022).

Ao confrontar os estudos sobre automação, observa-se que a divergência principal não está na defesa da tecnologia, mas no ponto do processo que cada autor considera mais sensível. Al Naam *et al.* (2022) enfatizaram a força de trabalho e a produtividade; Starks *et al.* (2021) e Roland *et al.* (2022) centraram-se no *middleware* e na hematologia; Zhu *et al.* (2022) priorizou a construção de regras; Jin *et al.* (2021) valorizou a validação informatizada; Fleishhacker *et al.* (2022) destacou a interface entre equipamentos e sistemas. Essa diversidade torna a automação um fenômeno

operacional complexo (Al Naam *et al.*, 2022; Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021; Fleishhacker *et al.*, 2022).

Em termos de produtividade, os autores convergem ao indicar que a automação reduz atividades manuais e libera a equipe para funções técnicas de maior complexidade. Todavia, essa eficiência não deve ser interpretada como substituição linear do profissional biomédico por equipamentos. A automação exige domínio sobre parâmetros, alarmes, controles, regras de bloqueio, histórico do paciente e comportamento dos sistemas. Assim, o ganho operacional depende de capacitação, revisão de protocolos e gestão contínua dos indicadores, pois equipamentos integrados sem governança podem apenas deslocar falhas para outras etapas do fluxo (Al Naam *et al.*, 2022; Roland *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

A taxa de autoverificação, o percentual de resultados retidos, o tempo médio de liberação e a frequência de revisões manuais aparecem como indicadores relevantes para avaliar se a automação produziu eficiência real. Starks *et al.* (2021) demonstraram que dados de *middleware* permitem identificar regras excessivamente restritivas ou pouco produtivas. Zhu *et al.* (2022) reforçaram que critérios baseados em dados históricos podem reduzir retenções inadequadas. Essa aproximação mostra que automação eficiente não é aquela que libera mais resultados indiscriminadamente, mas a que separa com precisão resultados seguros daqueles que exigem avaliação profissional (Starks *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2022).

A discussão sobre segurança do paciente e custos assistenciais amplia os achados anteriores, pois relaciona falhas laboratoriais e tempo de resposta a efeitos clínicos e econômicos. Cherkaoui *et al.* (2020), Fontana *et al.* (2023), Kritikos *et al.* (2024), Cheng *et al.* (2025), Güner *et al.* (2025) e Jin *et al.* (2021) indicam que a automação pode contribuir para reduzir atrasos, retrabalho, recoletas, desperdícios e inconsistências na comunicação dos resultados. A segurança, nesse contexto, depende da confiabilidade técnica e da disponibilidade oportuna da informação laboratorial (Cherkaoui *et al.*, 2020; Fontana *et al.*, 2023; Kritikos *et al.*, 2024; Jin *et al.*, 2021).

Cherkaoui *et al.* (2020) e Kritikos *et al.* (2024) discutiram a automação em microbiologia com foco no tempo de resposta de uroculturas e triagens microbiológicas. Ambos observaram que sistemas automatizados podem reduzir o intervalo até a liberação dos resultados, favorecendo condutas clínicas mais rápidas. A diferença entre eles está no recorte temporal e na amplitude de observação:

Cherkaoui *et al.* (2020) realizaram comparação retrospectiva entre fluxo manual e automatizado, enquanto Kritikos *et al.* (2024) analisaram um período de cinco anos. Em conjunto, sustentam a importância da automação para decisões terapêuticas oportunas (Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024).

Fontana *et al.* (2023) acrescentaram uma leitura relevante ao avaliar a automação microbiológica em período marcado pela COVID-19. A contribuição desse artigo está em mostrar que, sob pressão assistencial, a automação pode preservar a continuidade do processamento e reduzir atrasos acumulados. Em comparação com Cherkaoui *et al.* (2020) e Kritikos *et al.* (2024), o estudo de Fontana *et al.* (2023) evidencia a relevância da tecnologia em contextos de demanda elevada. Contudo, os três estudos convergem ao associar automação microbiológica à diminuição do tempo de resposta (Cherkaoui *et al.*, 2020; Fontana *et al.*, 2023; Kritikos *et al.*, 2024).

A automação em microbiologia tem implicações clínicas específicas, pois atrasos em culturas podem prolongar uso empírico de antimicrobianos, retardar isolamento de pacientes e dificultar ações de controle de infecção. Cherkaoui *et al.* (2020) abordaram triagens de microrganismos resistentes, como MRSA, ESBL e VRE, demonstrando que a rapidez laboratorial não possui apenas valor operacional, mas também epidemiológico. Kritikos *et al.* (2024) reforçaram esse raciocínio ao analisar uroculturas, exame frequente em rotinas hospitalares e ambulatoriais. A redução do tempo, portanto, interfere no cuidado e na gestão antimicrobiana (Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024).

Quando os achados de Cheng *et al.* (2025) e Güner *et al.* (2025) são confrontados com os estudos de microbiologia automatizada, percebe-se que segurança e custos não dependem apenas da rapidez do processamento. Uma amostra rejeitada por falha pré-analítica impede qualquer benefício posterior da automação, pois exige nova coleta e reinicia parte do fluxo. Essa relação mostra que a racionalização de recursos começa antes da etapa automatizada. Assim, a automação reduz perdas apenas quando associada a controle pré-analítico, rastreabilidade e comunicação eficiente entre os profissionais envolvidos (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025; Cherkaoui *et al.*, 2020).

Os custos assistenciais aparecem nos estudos de modo mais indireto do que explícito, o que constitui uma limitação da literatura selecionada. Poucos artigos calcularam valores monetários detalhados, mas vários apontaram componentes econômicos relevantes, como retrabalho, recoleta, desperdício de insumos, atrasos,

retenção de resultados e uso prolongado de terapias empíricas. Cheng *et al.* (2025) e Güner *et al.* (2025) permitem inferir custos associados à rejeição de amostras, enquanto Cherkaoui *et al.* (2020) e Kritikos *et al.* (2024) apontam economia potencial pela redução do tempo de resposta (Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025; Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024).

Jin *et al.* (2021) ajudam a articular os eixos de eficiência, segurança e custo ao tratar da autoverificação baseada em LIS. A liberação automatizada de resultados dentro de critérios validados pode diminuir retenções desnecessárias, reduzir carga de trabalho manual e acelerar o acesso à informação diagnóstica. Entretanto, esse benefício depende de regras bem construídas, validação prévia e auditoria contínua. Caso contrário, a automação pós-analítica pode gerar falsa sensação de segurança. Essa ressalva aproxima Jin *et al.* (2021) de Zhu *et al.* (2022), ainda que este último enfatize mais a definição dos critérios (Jin *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2022).

Outro ponto de convergência está na ideia de que a automação não corrige processos mal desenhados. Al Naam *et al.* (2022) demonstraram ganhos ligados à automação total, mas esses ganhos dependem de organização institucional. Starks *et al.* (2021) e Roland *et al.* (2022) mostraram que o *middleware* exige ajustes locais. Cheng *et al.* (2025) e Güner *et al.* (2025) evidenciaram que falhas pré-analíticas persistem quando coleta e transporte não são qualificados. Portanto, a tecnologia atua melhor quando incorporada a uma cultura de gestão da qualidade (Al Naam *et al.*, 2022; Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2025; Güner *et al.*, 2025).

A análise conjunta também evidencia divergências metodológicas importantes entre os estudos. Alguns trabalhos foram retrospectivos e baseados em bancos de dados laboratoriais, como Cheng *et al.* (2025), Cherkaoui *et al.* (2020) e Kritikos *et al.* (2024). Outros assumiram caráter aplicado, com desenvolvimento ou validação de sistemas, como Jin *et al.* (2021) e Zhu *et al.* (2022). Há ainda estudos de caso e análises institucionais, como Al Naam *et al.* (2022) e Roland *et al.* (2022). Essa diversidade fortalece a revisão narrativa, mas limita comparações estatísticas diretas entre resultados (Cheng *et al.*, 2025; Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024; Jin *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2022; Al Naam *et al.*, 2022; Roland *et al.*, 2022).

Apesar das diferenças de delineamento, os estudos sustentam que os indicadores laboratoriais são indispensáveis para avaliar impacto. Nos erros pré-analíticos, destacam-se taxas de rejeição, coleta, hemólise, coagulação, volume insuficiente e identificação incorreta. Na eficiência operacional, aparecem tempo de

resposta, taxa de autoverificação, produtividade por trabalhador e volume processado. Na segurança do paciente, tornam-se relevantes liberação oportuna, confiabilidade do resultado e redução de falhas comunicacionais. Esses indicadores permitem que a automação seja avaliada por efeitos mensuráveis, não apenas por sua presença tecnológica (Shcolnik *et al.*, 2021; Starks *et al.*, 2021; Jin *et al.*, 2021; Kritikos *et al.*, 2024).

A literatura analisada também sugere que a automação altera o perfil de atuação do biomédico. A execução manual repetitiva tende a perder centralidade, enquanto ganham importância a análise crítica de indicadores, a parametrização de sistemas, a validação de resultados, o controle da qualidade e a investigação de inconsistências. Esse deslocamento é perceptível nos estudos sobre autoverificação e *middleware*, nos quais a competência profissional se expressa na definição de regras, no monitoramento de alarmes e na decisão sobre resultados bloqueados. A automação, portanto, amplia a exigência técnica do trabalho laboratorial (Al Naam *et al.*, 2022; Starks *et al.*, 2021; Roland *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

No atendimento aos objetivos propostos, o primeiro eixo demonstra que os principais erros laboratoriais permanecem concentrados na fase pré-analítica, com destaque para rejeição de amostras, falhas de identificação, hemólise, coagulação e volume inadequado. O segundo eixo indica que a automação influencia produtividade, tempo de processamento, integração sistêmica e liberação de resultados, especialmente quando associada a LIS, *middleware* e autoverificação. O terceiro eixo revela que segurança do paciente e custos assistenciais são afetados pela combinação entre redução de falhas, menor retrabalho e resultados mais oportunos (Shcolnik *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2025; Al Naam *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021; Cherkaoui *et al.*, 2020).

Os pontos em comum entre os autores permitem afirmar que a automação laboratorial possui maior potencial quando articulada a protocolos de qualidade, indicadores de desempenho e capacitação contínua. As divergências aparecem sobretudo no enfoque: alguns autores priorizam erro e rejeição de amostras, outros produtividade e sistemas, enquanto parte da literatura discute segurança e tempo de resposta em microbiologia. Essa pluralidade não enfraquece os achados; ao contrário, mostra que a automação nos laboratórios de análises clínicas deve ser analisada como intervenção técnica que atravessa diferentes fases do processo diagnóstico (Ferreira, Hamer e Bello, 2024; Fleishhacker *et al.*, 2022; Fontana *et al.*, 2023).

A discussão permite compreender que a automação não deve ser tomada como sinônimo automático de qualidade, pois seus efeitos dependem do desenho do fluxo, da qualidade da amostra, da integração dos sistemas e da consistência dos critérios de liberação. Em laboratórios com alta demanda, ela pode reduzir atrasos e melhorar produtividade; porém, quando implantada sem revisão de processos, pode manter falhas antigas sob uma aparência tecnológica. Desse modo, a automação deve ser incorporada como parte de uma gestão laboratorial orientada por evidências, indicadores e responsabilidade técnica (Chang *et al.*, 2020; Al Naam *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

Considerando o conjunto das referências, observa-se que a automação contribui para a redução de erros de forma indireta e direta. De modo indireto, melhora rastreabilidade, comunicação e padronização; de modo direto, reduz transcrição manual, retenções desnecessárias e atrasos na validação. Entretanto, sua capacidade de interferir nos erros pré-analíticos depende de sistemas que integrem coleta, identificação e transporte ao fluxo laboratorial. Assim, a resposta ao problema de pesquisa não está na simples aquisição de equipamentos, mas na integração entre tecnologia, gestão da qualidade, atuação biomédica e segurança assistencial (Shcolnik *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2025; Starks *et al.*, 2021; Fleishhacker *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2021).

Por fim, os resultados discutidos indicam que a automação nos laboratórios de análises clínicas produz impactos relevantes sobre eficiência operacional, segurança do paciente e racionalização de recursos, desde que acompanhada por validação técnica e monitoramento permanente. A literatura selecionada confirma a importância de reduzir erros pré-analíticos, otimizar autoverificação, integrar sistemas e diminuir o tempo de resposta, especialmente em áreas de alto impacto clínico, como microbiologia e hematologia. Para a Biomedicina, esse conjunto de evidências reforça a necessidade de formação voltada à análise crítica de tecnologias laboratoriais e seus efeitos assistenciais (Iqbal *et al.*, 2023; Zhu *et al.*, 2022; Cherkaoui *et al.*, 2020; Kritikos *et al.*, 2024).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão permite reconhecer que a automação nos laboratórios de análises clínicas representa uma transformação técnica e organizacional relevante para a Biomedicina, sobretudo por interferir na qualidade dos resultados, na racionalidade dos fluxos e na segurança do paciente. A análise desenvolvida indicou que os erros laboratoriais permanecem associados a diferentes fases do processo diagnóstico, com maior concentração na etapa pré-analítica, na qual ocorrem falhas relacionadas à coleta, identificação, acondicionamento, transporte e rejeição de amostras. Esses eventos repercutem diretamente na confiabilidade do exame, no tempo de resposta e na necessidade de retrabalho.

Verificou-se que a automação contribui para reduzir parte dessas fragilidades ao favorecer padronização, rastreabilidade, integração de sistemas, autoverificação e menor dependência de procedimentos manuais. No entanto, seus benefícios não decorrem apenas da presença de equipamentos modernos. A efetividade da automação depende da adequação dos fluxos, da parametrização correta dos sistemas, da capacitação das equipes e do acompanhamento permanente de indicadores de qualidade. Assim, a tecnologia deve ser compreendida como recurso de qualificação do processo laboratorial, e não como substituta da análise crítica do profissional biomédico.

Também se observou que a automação influencia a eficiência operacional ao reduzir o tempo de processamento, otimizar a liberação de resultados e reorganizar a atuação da equipe técnica. Esses efeitos podem repercutir na diminuição de custos assistenciais, especialmente quando evitam recoletas, desperdícios, atrasos diagnósticos e uso desnecessário de recursos. Apesar disso, a implantação exige planejamento institucional, investimento financeiro e avaliação contínua para que os ganhos operacionais não sejam anulados por falhas de integração ou manutenção.

Conclui-se que a automação laboratorial tem relevância expressiva para a qualificação dos serviços de análises clínicas, desde que articulada à gestão da qualidade, à segurança do paciente e à formação técnica dos profissionais. Para a Biomedicina, o tema reforça a necessidade de domínio tecnológico aliado à responsabilidade analítica, ética e assistencial.

REFERÊNCIAS

AL NAAM, Y. A. *et al.* The impact of total automaton on the clinical laboratory workforce: a case study. **Journal of Healthcare Leadership**, Auckland, v. 14, p. 55-62, 2022. DOI: 10.2147/JHL.S362614. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/JHL.S362614>. Acesso em: 24 jan. 2026.

CHANG, J. *et al.* Preanalytical errors in the central laboratory of a university hospital based on the analysis of year-round data. **Clinical Laboratory**, Heidelberg, v. 66, n. 9, p. 1783-1791, 2020. Disponível em: <https://www.clin-lab-publications.com/article/3509>. Acesso em: 22 jan. 2026.

CHENG, X. *et al.* Evaluation of pre-analytical specimen rejection using Six Sigma metrics: a retrospective single-center study. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 20, n. 6, e0324840, 2025. DOI: 10.1371/journal.pone.0324840. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324840>. Acesso em: 14 jan. 2026.

CHERKAOUI, A. *et al.* Impact of total laboratory automation on turnaround times for urine cultures and screening specimens for MRSA, ESBL, and VRE carriage: retrospective comparison with manual workflow. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, Lausanne, v. 10, art. 552122, 2020. DOI: 10.3389/fcimb.2020.552122. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.552122>. Acesso em: 10 fev. 2026.

FERREIRA, R. G. S. S.; HAMER, E. R.; BELLO, A. R. Benchmarking dos erros pré-analíticos no laboratório de patologia clínica do Hospital do Câncer I. **Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental Online**, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505780780006>. Acesso em: 11 jan. 2026.

FLEISHHACKER, Z. J. *et al.* Impact of interfacing near point of care clinical chemistry and hematology analyzers at urgent care clinics at an academic health system. **Journal of Pathology Informatics**, Amsterdam, v. 13, art. 100006, 2022. DOI: 10.1016/j.jpi.2022.100006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpi.2022.100006>. Acesso em: 07 fev. 2026.

FONTANA, C. *et al.* Laboratory automation in microbiology: impact on turnaround time of microbiological samples in COVID time. **Diagnostics**, Basel, v. 13, n. 13, art. 2243, 2023. DOI: 10.3390/diagnostics13132243. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13132243>. Acesso em: 13 fev. 2026.

GÜNER, Y. *et al.* Evaluation of specimen rejection rates in the preanalytical phase and nurses' experiences: a mixed design study. **BMC Nursing**, London, v. 24, n. 1, p. 1-12, 2025. DOI: 10.1186/s12912-025-03426-w. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12912-025-03426-w>. Acesso em: 17 jan. 2026.

IQBAL, M. S. *et al.* Preanalytical errors in a hematology laboratory: an experience from a tertiary care center. **Diagnostics**, v. 13, n. 4, p. 591, 2023. DOI: 10.3390/diagnostics13040591. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13040591>. Acesso em: 19 jan. 2026.

JIN, D. *et al.* Development and implementation of an LIS-based validation system for autoverification toward zero defects in the automated reporting of laboratory test results. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, London, v. 21, art. 174, 2021. DOI: 10.1186/s12911-021-01545-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01545-3>. Acesso em: 04 fev. 2026.

KRITIKOS, A. *et al.* The impact of laboratory automation on the time to urine microbiological results: a five-year retrospective study. **Diagnostics**, Basel, v. 14, n. 13, art. 1392, 2024. DOI: 10.3390/diagnostics14131392. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131392>. Acesso em: 18 fev. 2026.

ROLAND, K. *et al.* Customized middleware experience in a tertiary care hospital hematology laboratory. **Journal of Pathology Informatics**, Amsterdam, v. 13, art. 100143, 2022. DOI: 10.1016/j.jpi.2022.100143. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpi.2022.100143>. Acesso em: 29 jan. 2026.

SHCOLNIK, W. *et al.* Brazilian laboratory indicators benchmarking program: three-year experience on pre-analytical quality indicators. **Diagnosis**, Berlin, v. 8, n. 2, p. 257-268, 2021. DOI: 10.1515/dx-2020-0043. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/dx-2020-0043>. Acesso em: 08 jan. 2026.

STARKE, R. D. *et al.* Use of middleware data to dissect and optimize hematology autoverification. **Journal of Pathology Informatics**, Amsterdam, v. 12, n. 1, art. 19, 2021. DOI: 10.4103/jpi.jpi_89_20. Disponível em: https://doi.org/10.4103/jpi.jpi_89_20. Acesso em: 27 jan. 2026.

ZHU, J. *et al.* Combined strategy of knowledge-based rule selection and historical data percentile-based range determination to improve an autoverification system for clinical chemistry test results. **Journal of Clinical Laboratory Analysis**, Hoboken, v. 36, n. 2, e24233, 2022. DOI: 10.1002/jcla.24233. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jcla.24233>. Acesso em: 02 fev. 2026.