EVENTO ON-LINE
ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

Acreditação de Laboratórios pela ISO/IEC 17025 e Metrologia de Vazão de Hidrocarbonetos: uma Revisão Sistemática da Literatura pelo Método ProKnow-C

Sussumu Yukawa
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS - Multicampi) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Sergio E. Gouvea da Costa
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS - Multicampi) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Edson Pinheiro de Lima
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS - Multicampi) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Resumo: A implementação de laboratórios acreditados pela ISO/IEC 17025 para a calibração de medidores de vazão de hidrocarbonetos articula domínios distintos do conhecimento — gestão da qualidade, engenharia metrológica e infraestrutura legal —, cuja produção científica carece de mapeamento sistemático e atualizado. Este artigo tem como objetivo mapear o estado da arte da produção científica internacional sobre acreditação laboratorial segundo a ISO/IEC 17025 e metrologia de vazão aplicada ao setor de combustíveis, identificando tendências, lacunas e agendas de pesquisa futuras. Para tanto, foi conduzida uma revisão sistemática bibliométrica por meio do método ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist), com buscas estruturadas em três eixos de palavras-chave nas bases Scopus, Web of Science e IEEE Xplore, delimitadas ao período de 2017 a 2026. Após triagem e eliminação de duplicatas, o processo resultou em um portfólio bibliográfico de 28 fontes. Os resultados evidenciam dois picos de produção científica, em 2019 e 2024, associados respectivamente à publicação da norma vigente e à emergência de Gêmeos Digitais laboratoriais; predominância de estudos europeus (43%) e asiáticos (36%), com participação relevante do Brasil (18%); e concentração das publicações em periódicos de alto impacto como Accreditation and Quality Assurance e Flow Measurement and Instrumentation. A análise temática revela uma lacuna de pesquisa relacionada à ausência de modelos que integrem, de forma conjunta, o projeto de engenharia de instalações físicas de alta vazão e viscosidade à gestão digital dos dados laboratoriais. Conclui-se que a produção científica sobre o tema, embora consolidada normativamente, permanece fragmentada entre a ciência dura da medição e a gestão organizacional da acreditação, evidenciando espaço para metodologias integradoras.

Palavras-chave: Revisão Sistemática; ProKnow-C; ISO/IEC 17025; Metrologia de Vazão.

ISO/IEC 17025 Laboratory Accreditation and Hydrocarbon Flow Metrology: A Systematic Literature Review Using the ProKnow-C Method

Abstract: Implementing laboratories accredited under ISO/IEC 17025 for hydrocarbon flow meter calibration draws on distinct knowledge domains — quality management, metrological engineering, and legal infrastructure — whose scientific production still lacks a systematic, up-to-date mapping. This article aims to map the state of the art of international scientific production on ISO/IEC 17025 laboratory accreditation and flow metrology applied to the fuel sector, identifying trends, gaps, and future research agendas. A bibliometric systematic review was conducted using the ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist) method, with searches structured around three keyword axes in the Scopus, Web of Science, and IEEE Xplore databases, delimited to the 2017–2026 period. After screening and duplicate removal, the process resulted in a bibliographic portfolio of 28 sources. Results reveal two publication peaks, in 2019 and 2024, respectively associated with the current standard's publication and the emergence of laboratory digital twins; a predominance of European (43%) and Asian (36%) studies, with relevant Brazilian participation (18%); and concentration in high-impact journals such as Accreditation and Quality Assurance and Flow Measurement and Instrumentation. The thematic analysis reveals a research gap regarding the absence of models that jointly integrate the engineering design of high-flow, high-viscosity physical facilities with the digital management of laboratory data. It is concluded that, although normatively consolidated, scientific production on the topic remains fragmented between the hard science of measurement and the organizational management of accreditation, evidencing room for integrative methodologies.

Keywords: Systematic Review; ProKnow-C; ISO/IEC 17025; Flow Metrology.

1 Introdução

A competência técnica de laboratórios de ensaio e calibração é um dos pilares da Infraestrutura da Qualidade (IQ), sistema que articula metrologia, acreditação, normalização e legislação, e que sustenta o desenvolvimento econômico e a competitividade industrial das nações (TRAJKOVIĆ et al., 2025). No centro dessa infraestrutura está a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, referência internacional de competência para laboratórios de ensaio e calibração, cuja versão de 2017 consolidou uma abordagem baseada em processos e no pensamento baseado em risco (TRAJKOVIĆ et al., 2025; SILVA et al., 2021).

No setor de combustíveis, essa competência assume relevância estratégica adicional: a medição fiscal de hidrocarbonetos líquidos exige calibrações sob condições de elevada viscosidade e vazão, reguladas no Brasil pela Portaria Conjunta ANP/Inmetro nº 001/2013, que impõe limites de incerteza da ordem de ±0,3% (BARATEIRO; EMERIK, 2020). A implementação de laboratórios capazes de atender simultaneamente aos requisitos normativos de gestão e às exigências físico-matemáticas da metrologia de vazão é, portanto, um problema de pesquisa multidisciplinar, que articula literaturas historicamente tratadas de forma segmentada — de um lado, estudos de gestão da qualidade e acreditação; de outro, estudos de engenharia metrológica aplicada à instrumentação de vazão.

Diante desse cenário, um mapeamento sistemático e atualizado da produção científica internacional sobre o tema torna-se necessário para identificar o estado da arte, os principais atores científicos, as lacunas de conhecimento e as agendas de pesquisa futuras que possam orientar tanto a comunidade acadêmica quanto a proposição de metodologias aplicadas de implementação laboratorial. Revisões bibliométricas cumprem esse papel ao permitirem uma análise quantitativa e qualitativa integrada da literatura, evidenciando padrões de produção, redes de autoridade científica e tendências temáticas que escapam à leitura isolada de estudos individuais.

O objetivo deste artigo é, portanto, mapear o estado da arte da produção científica internacional sobre acreditação de laboratórios segundo a ISO/IEC 17025 e metrologia de

vazão aplicada ao setor de combustíveis, por meio de uma revisão sistemática bibliométrica conduzida com o apoio do método ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist). A revisão busca responder a três questões centrais: (i) como se distribui temporal e geograficamente a produção científica sobre o tema? (ii) quais são os periódicos, autores e instituições de maior autoridade técnica no campo? e (iii) quais lacunas de pesquisa permanecem em aberto, e que agenda de pesquisas futuras pode ser derivada da literatura mapeada?

Este artigo está estruturado em cinco seções, além desta introdução. A Seção 2 descreve os procedimentos metodológicos do processo ProKnow-C, incluindo as estratégias de busca e os critérios de seleção do portfólio bibliográfico. A Seção 3 apresenta os resultados da revisão bibliométrica, com ênfase na distribuição temporal, geográfica e editorial da produção científica. A Seção 4 discute os principais problemas identificados na literatura, as soluções propostas e a lacuna de pesquisa que emerge da análise. A Seção 5 apresenta as conclusões do estudo.

2 Metodologia

A revisão sistemática foi conduzida por meio do método ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist), desenvolvido pelo professor Leonardo Ensslin e sua equipe na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que orienta a construção estruturada de um portfólio bibliográfico com base em critérios de relevância definidos pelo pesquisador, por meio de etapas de identificação, seleção, organização e refinamento da literatura (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012). A pesquisa seguiu as etapas do Eixo de Seleção do Portfólio Bibliográfico do ProKnow-C: definição de bases de dados e palavras-chave; realização das buscas brutas; filtragem por alinhamento de títulos, resumos e palavras-chave; eliminação de redundâncias; e teste de relevância e integridade, com leitura integral das fontes e classificação em eixos temáticos.

As buscas foram operacionalizadas em três bases de dados de alto prestígio científico — IEEE Xplore, Web of Science e Scopus —, escolhidas por sua ampla utilização na literatura de engenharia industrial e metrologia técnica. A tática de busca estruturou-se na interseção de palavras-chave, aplicadas aos campos de título, resumo e palavras-chave, com o uso de operadores booleanos (AND e OR) e expressões entre aspas para termos compostos, dividida em três buscas com objetivos específicos, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estratégia e funil de seleção do portfólio bibliográfico (ProKnow-C)

Busca	Expressão de busca	Objetivo	Localiz.	Válidas	Portfólio
I	("calibration laborator*" OR "industrial metrolog*") AND "ISO/IEC 17025"	Requisitos normativos e técnicos para laboratórios (OE-a)	54	16	6
II	(calibrat* OR metrolog*) AND ("turbine flow meter" OR "flow meter calibration")	Embasamento técnico sobre turbinas e incerteza de vazão (OE-b)	59	22	9
III	accredit* AND ("testing laborator*" OR "laboratory calibrat*")	Gestão de riscos, gap analysis e cenário global de acreditação (OE-c/d)	61	20	12
Total	—	—	174	58	28

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

A busca bibliográfica foi delimitada ao período de 2017 a 2026, em razão da publicação da versão vigente da ABNT NBR ISO/IEC 17025 em 2017, assegurando que o portfólio refletisse o estado atual do conhecimento científico sob essa norma. Foram aplicados, ainda, filtros de tipo de documento (artigos científicos) e, quando disponível, de área de conhecimento — restrita a Engineering nas bases Scopus e Web of Science. Na base IEEE Xplore, em razão da baixa recuperação de resultados com as expressões compostas, a busca foi simplificada para os termos “ISO/IEC 17025” e “industrial metrolog*”.

As buscas foram realizadas sequencialmente: inicialmente foram incorporadas três fontes da IEEE Xplore; na Web of Science, localizaram-se 13 estudos, dos quais dois já haviam

sido identificados na base anterior, resultando na inclusão de 11 novas fontes; por fim, a busca na Scopus incorporou outras 14 fontes inéditas. Após a exclusão de duplicatas, o portfólio bibliográfico consolidou-se em 28 estudos únicos — 25 provenientes da Scopus, a base mais abrangente do portfólio, incluindo periódicos russos, brasileiros e poloneses que atestam a abrangência global da coleta. Como ferramentas de apoio, utilizou-se o software EndNote para gerenciamento de referências e identificação de duplicatas, e a plataforma de inteligência artificial NotebookLM (Google) para a extração estruturada de metadados e organização dos dados em clusters temáticos, com posterior conferência do pesquisador.

Os critérios de inclusão priorizaram estudos sobre implementação e impacto da conformidade normativa (OHN, 2024; TRAJKOVIĆ et al., 2025; SILVA et al., 2021; GROCHAU et al., 2020), metrologia de vazão, rastreabilidade e avaliação de incerteza, além de estudos sobre modernização metrológica por meio de gestão digital de dados, incluindo sistemas LIMS e Gêmeos Digitais (DYUMAEVA; MOSHKOVA, 2019; SALES et al., 2019; WEIDLICH et al., 2024). Justificou-se a manutenção de fontes de setores distintos, como saúde (OKEZUE et al., 2020) e biossegurança (ZHAI et al., 2019), em razão da natureza transversal dos requisitos gerenciais e técnicos de competência exigidos pela ISO/IEC 17025. Foram excluídas publicações voltadas exclusivamente às áreas clínica, farmacêutica ou ambiental sem relação direta com a metrologia industrial ou os desafios de engenharia do setor de combustíveis. Seguindo as diretrizes do ProKnow-C, procedeu-se, por fim, à contagem de citações de cada fonte como indicador de autoridade técnica — sem, contudo, aplicar filtro eliminatório baseado em número mínimo de citações, de modo a preservar a atualidade do portfólio diante da presença relevante de estudos publicados entre 2024 e 2026, ainda sem tempo cronológico suficiente para acúmulo expressivo de citações.

3 Resultados da Revisão Bibliométrica

3.1 Reconhecimento Científico e Perfil Temático do Portfólio

A análise do reconhecimento científico das 28 fontes selecionadas revela um portfólio equilibrado, que une autoridades já consolidadas na literatura a estudos de ponta que lideram a transformação digital laboratorial. Obras de referência como as de Grochau et al. (2017) e Okezue et al. (2020) apresentam volumes expressivos de citações, validando a base histórica da acreditação, enquanto artigos com contagem inicial nula ou baixa — como os de Kim e Cheong (2026), Trajković et al. (2025) e Weidlich et al. (2024) — garantem a competência técnica sobre temas emergentes, como Gêmeos Digitais e o cálculo do ROI Metrológico. A Figura 1 apresenta a nuvem de palavras-chave do portfólio, na qual se destacam os termos ISO 17025, Incerteza de Medição, Riscos, GUM e Acreditação, evidenciando a convergência temática entre governança normativa e rigor metrológico.



Figura 1 – Nuvem de palavras-chave do portfólio bibliográfico

Fonte: elaborado pelos autores (2026), com auxílio do NotebookLM

3.2 Distribuição Temporal das Publicações

A distribuição cronológica dos 28 estudos selecionados (Figura 2) revela dois picos distintos de concentração. O primeiro ocorreu em 2019, com cinco artigos, refletindo o impacto imediato da publicação da ISO/IEC 17025:2017 e o amadurecimento das discussões sobre sistemas LIMS para automação de registros (SALES et al., 2019; DYUMAEVA; MOSHKOVA, 2019). O segundo pico, em 2024, também com cinco publicações, reflete a digitalização avançada e o uso de Gêmeos Digitais em laboratórios, marco evidenciado pelo estudo de Weidlich et al. (2024) e por pesquisas sobre Qualidade de Serviço Sustentável (DARWISH et al., 2024). Os anos de 2017 e 2020 também apresentaram produção expressiva, com quatro publicações cada, focadas na fundamentação técnica da medição de combustíveis (BARATEIRO; EMERIK, 2020; CHUN et al., 2017) e nos primeiros estudos sobre pensamento baseado em risco (GUSAROVA et al., 2020). A continuidade da pesquisa é corroborada por publicações em 2023 e 2025 (três estudos cada) e pela presença de pesquisas de vanguarda datadas de 2026 (KIM et al., 2026), evidenciando que a temática evoluiu de uma abordagem normativa para um framework de gestão inteligente e digitalizada.

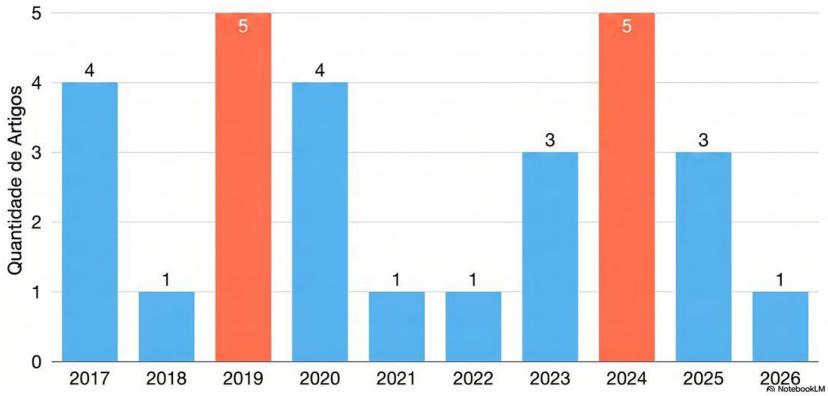

Figura 2 – Distribuição temporal das publicações do portfólio (2017–2026)

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

3.3 Distribuição Geográfica da Produção Científica

A distribuição geográfica dos 28 artigos evidencia o caráter global e transdisciplinar da pesquisa em metrologia e gestão laboratorial. A Europa concentra a maior fatia do portfólio, com 12 artigos (43%) — Alemanha, Itália, Polônia, Sérvia, França, Ucrânia, Áustria e Bélgica —, constituindo a base teórica sobre governança e Indústria 4.0, com destaque para a Alemanha na vanguarda de Gêmeos Digitais (WEIDLICH et al., 2024; KLAUENBERG et al., 2023) e a Itália em estudos sobre ROI Metrológico (MACII, 2024). A Ásia responde por 10 artigos (36%) — Coreia do Sul, China, Indonésia, Índia, Cazaquistão e Arábia Saudita —, fornecendo o arcabouço matemático essencial sobre otimização de turbinas e modelos de incerteza em alta vazão (KIM; CHEONG, 2026; XU et al., 2025; CHUN et al., 2017). A América do Sul, representada integralmente pelo Brasil, contribui com 5 publicações (18%), com produção focada na calibração de medidores de hidrocarbonetos sob condições extremas de vazão e viscosidade para o cumprimento da Portaria ANP/Inmetro nº 001/2013 (BARATEIRO; EMERIK, 2020), além de protótipos de sistemas LIMS para instituições de ensino superior (SALES et al., 2019; SILVA et al., 2021). A América do Norte, com apenas 1 artigo (3%), contribui com evidências empíricas sobre o impacto da acreditação na redução de riscos operacionais em cenários internacionais (OKEZUE et al., 2020). Essa distribuição revela que a acreditação laboratorial evoluiu de mera obrigação burocrática para ferramenta de competência técnica e competitividade global, consolidando a vanguarda digital europeia, a precisão mecânica asiática e a

necessidade estratégica sul-americana de infraestruturas de alta vazão com autonomia nacional.

3.4 Perfil dos Periódicos, Autores e Instituições

O portfólio está ancorado em periódicos de alto impacto técnico-científico, o que confere autoridade e credibilidade metodológica à revisão. Destacam-se a Accreditation and Quality Assurance (Springer), autoridade em governança e acreditação, concentrando a maior parte da fundamentação sobre a norma ISO/IEC 17025 e gestão de riscos; a Flow Measurement and Instrumentation (Elsevier), referência técnica central em metrologia de vazão; e periódicos da IEEE e a revista Measurement (JCR 5,2), que reforçam a atualidade do portfólio ao tratar de tecnologias de ponta como LIMS, Gêmeos Digitais e ROI Metrológico. A predominância de artigos publicados em periódicos classificados no estrato Qualis A1 reforça a robustez do referencial e o reconhecimento internacional das abordagens adotadas.

Quanto à autoria, Inês Hexsel Grochau destaca-se como autora com maior presença no portfólio, participando de três estudos centrais sobre o panorama da acreditação nas Américas e na Europa e sobre gestão de riscos em laboratórios universitários, com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) figurando como a instituição mais citada do portfólio. Identificou-se, ainda, uma rede de autoridade de nicho, na qual autores de um estudo citam extensivamente outros trabalhos do próprio portfólio — a exemplo de Silva et al. (2021), que se apoia amplamente em Grochau et al. (2017; 2020) —, evidenciando que a seleção bibliométrica capturou os principais polos produtores de conhecimento sobre ISO/IEC 17025 e gestão laboratorial no mundo.

3.5 Síntese Metodológica do Portfólio

A síntese metodológica das 28 fontes revela equilíbrio entre o rigor matemático da metrologia, a inovação tecnológica da digitalização e a experiência prática da governança laboratorial, consolidada em cinco categorias procedimentais: pesquisa experimental e modelagem matemática (10 fontes), predominante no núcleo técnico da revisão, com aplicação de Splines Cúbicas, comparação entre os métodos GUM e Monte Carlo e o método do Medidor Mestre (PRAKOSA et al., 2025; KIM et al., 2026; CHUN et al., 2017); relatos de prática (7 fontes), baseados na experiência de especialistas em transições normativas (OHN, 2024; GROCHAU et al., 2017; 2020); estudos de caso (5 fontes), aplicados a cenários geográficos e institucionais específicos (OKEZUE et al., 2020; SILVA et al., 2021; BARATEIRO; EMERIK, 2020); levantamentos e avaliação de especialistas (4 fontes), com uso de escalas Likert e modelagem de equações estruturais (MYTYCH; LIGARSKI, 2018; TRAJKOVIĆ et al., 2025; DARWISH et al., 2024); e Design Science Research (2 fontes), voltada ao desenvolvimento e validação de artefatos tecnológicos (WEIDLICH et al., 2024; SALES et al., 2019). Do ponto de vista tecnológico, softwares estatísticos como Python, R/RStudio, Minitab e SmartPLS predominam entre as ferramentas identificadas, ao lado de soluções especializadas em metrologia (IntLab, DDrift) e em digitalização laboratorial (sistemas LIMS baseados em PHP/SQL), evidenciando que a implementação e a manutenção da conformidade com a ISO/IEC 17025 extrapolam os requisitos documentais da norma, exigindo suporte computacional para tratamento de dados, controle estatístico e apoio à tomada de decisão.

3.6 Análise da Correlação Socioeconômica (Sociometrologia)

Um achado transversal do portfólio, obtido pela triangulação de evidências de múltiplas fontes que, isoladamente, não estabeleciam essa relação de forma explícita, é a existência de uma correlação robusta entre a infraestrutura da qualidade de um país e seu vigor econômico — abordagem aqui denominada Sociometrologia. No continente americano, Grochau et al. (2017) identificaram uma correlação positiva muito forte ($r = 0,97$) entre o

PIB e o número de laboratórios acreditados, com os Estados Unidos liderando tanto em PIB quanto em laboratórios (4.665), enquanto países centro-americanos, com PIBs menores, registram menos de 100 cada. Na União Europeia, Grochau et al. (2020) confirmaram a tendência: uma regressão múltipla revelou efeito significativo da população sobre o número de laboratórios (R^2 = 0,93). Em escala municipal, Trajković et al. (2025) encontraram, na Sérvia, correlação linear ainda mais expressiva (superior a 0,99) entre o orçamento das cidades e o número de organismos de avaliação da conformidade.

O portfólio revela, contudo, um paradoxo relevante: países sem os maiores PIBs regionais — como México, Colômbia, Chile, Equador e Costa Rica — apresentam número de laboratórios acreditados superior ao esperado para sua economia, fenômeno atribuído à atuação supletiva de laboratórios de Instituições de Ensino Superior e institutos de pesquisa diante de exigências governamentais de exportação e controle ambiental. Em contraste, países de baixa renda, sobretudo na África Subsaariana, enfrentam barreiras financeiras e técnicas severas, e a ausência de reconhecimento via ISO/IEC 17025 isola esses mercados das cadeias globais de valor (OKEZUE et al., 2020). A análise socioeconômica ratifica, assim, que a infraestrutura da qualidade não é um atributo isolado da competência técnica, mas um ativo estratégico diretamente associado à competitividade e ao desenvolvimento econômico das nações.

4 Discussão: Pilares da Conformidade, Problemas x Soluções e Lacuna de Pesquisa

A leitura analítica do portfólio bibliográfico permitiu identificar convergências temáticas entre estudos que abordam aspectos complementares da competência laboratorial — requisitos normativos, infraestrutura metrológica, gestão organizacional, digitalização e viabilidade contínua. A partir da triangulação desses achados, os dados extraídos das 28 fontes foram consolidados em quatro pilares essenciais para a conformidade com a ISO/IEC 17025:2017: governança e acreditação; metrologia técnica e incerteza; digitalização e Indústria 4.0; e gestão estratégica e riscos (Figura 3). Essa síntese não reproduz uma classificação normativa preexistente, mas resulta da análise integrada do portfólio selecionado, evidenciando a união entre a teoria de gestão e a prática metrológica e tecnológica que sustenta a operação de laboratórios de alta complexidade.

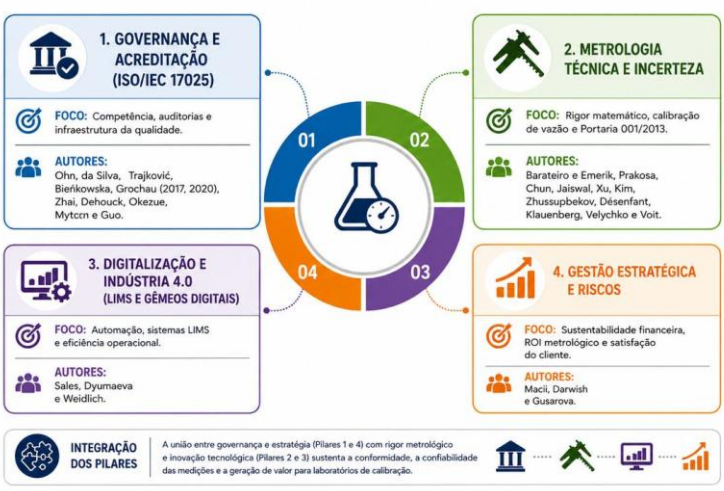

Figura 3 – Os pilares da conformidade laboratorial

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Complementarmente, a Figura 4 sintetiza a interação sistêmica entre esses quatro pilares e sua contribuição para a excelência operacional e a sustentabilidade em laboratórios certificados pela ISO/IEC 17025:2017, evidenciando que qualidade, rastreabilidade metrológica, transformação digital e gestão de riscos operam de forma integrada — e não

isolada — para ampliar a confiabilidade dos resultados e fortalecer a competitividade institucional.

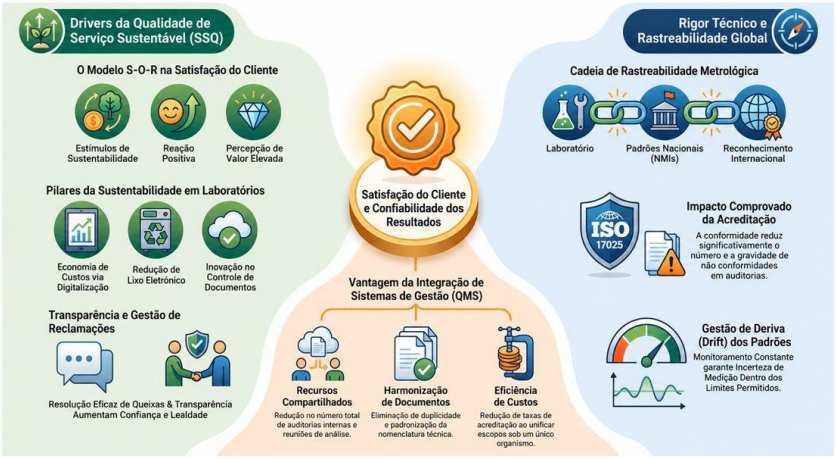

Figura 4 – Excelência e Sustentabilidade em Laboratórios ISO/IEC 17025:2017

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Com base nesse mapeamento, o Quadro 1 sintetiza os principais problemas identificados pelos pesquisadores no contexto laboratorial e as soluções tecnológicas e metodológicas propostas na literatura mapeada.

Quadro 1 – Problemas identificados versus soluções propostas na literatura

Problema identificado	Solução / abordagem proposta	Autor(es)
Fragmentação de dados e erros de entrada manual em planilhas isoladas	Gêmeos Digitais (Digital Lab Twins) para visão end-to-end	Weidlich et al. (2024)
Alta incidência de não conformidades antes do reconhecimento formal	Acreditação ISO/IEC 17025 com análise estatística (ANOVA)	Okezue et al. (2020)
Não linearidade e erros em curvas de calibração afetadas pela viscosidade	Splines Cúbicas (Not-A-Knot) para predição de curvas de calibração	Prakosa et al. (2025)
Dificuldade em organizar evidências para auditorias de acreditação	Sistema LIMS com interface dedicada de gestão de evidências	Dyumaeva; Moshkova (2019)
Subjetividade e falta de padronização na gestão de riscos	Matriz de Probabilidade/Consequência, 5 Porquês e Ishikawa	Silva et al. (2021)
Inexistência de laboratórios nacionais para altos fluxos/viscosidades	Projeto conceitual com medidores mássicos e compensação dinâmica	Barateiro; Emerik (2020)
Incerteza sobre o retorno financeiro de investimentos metrológicos	Modelo de gestão baseado em PDCA e indicadores de ROI	Macii (2024)

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir do portfólio bibliográfico

Embora as soluções apresentadas — como sistemas LIMS e módulos automatizados de controle de incerteza — mitiguem riscos de erros manuais e aumentem a confiabilidade dos certificados, a análise crítica do portfólio revela uma fragmentação persistente: a maioria das ferramentas atuais foca em funções isoladas, atuando primordialmente na administração de dados e falhando em prover uma visão holística e orientada a processos do ciclo de vida da calibração. É precisamente nessa interseção entre a complexidade mecânica da medição de hidrocarbonetos e a gestão digital integrada que se identifica a lacuna de pesquisa central revelada por esta revisão.

A lacuna identifica-se em três eixos principais. Primeiro, uma limitação técnica de infraestrutura física: há escassez de instalações laboratoriais capazes de realizar a calibração de medidores de hidrocarbonetos sob as condições reais de operação exigidas por regulamentações como a Portaria ANP/Inmetro nº 001/2013 (BARATEIRO; EMERIK, 2020), com laboratórios nacionais e internacionais apresentando limitações de vazão (geralmente até 1.200 m³/h) e dificuldades para operar com fluidos de alta viscosidade (até 700 cP). Segundo, uma complexidade burocrática e falta de integração digital: muitos laboratórios ainda operam com registros manuais e sistemas fragmentados, e, embora existam sistemas LIMS comerciais, há uma lacuna na literatura sobre modelos que

integrem, de forma nativa, as atividades técnicas de calibração e cálculo de incerteza às atividades gerenciais de pensamento baseado em risco exigidas pela versão 2017 da norma (SALES et al., 2019; KLAUENBERG et al., 2023; SILVA et al., 2021; ZHUSSUPBEKOV et al., 2019). Terceiro, um déficit metodológico para implementação sistêmica: a maioria dos estudos do portfólio foca ou na ciência dura — modelos matemáticos e física de fluidos — ou na gestão organizacional — satisfação do cliente e ROI metrológico —, mas raramente em ambas, não tendo sido identificado um modelo que entregue, de forma conjunta, o projeto conceitual de uma infraestrutura física robusta aliado a uma metodologia de digitalização que simplifique comprovadamente os procedimentos de acreditação (BARATEIRO; EMERIK, 2020; DYUMAEVA; MOSHKOVA, 2019; SALES et al., 2019).

Com base nas recomendações explícitas dos autores que compõem o portfólio, o Quadro 2 consolida uma agenda de pesquisas futuras organizada por eixo temático, capaz de orientar novas investigações que busquem preencher as lacunas técnicas e gerenciais identificadas.

Quadro 2 – Agenda de pesquisas futuras por eixo temático

Eixo temático	Sugestões de pesquisas futuras	Fontes
Inovação Tecnológica	IA e Machine Learning para análise preditiva em Gêmeos Digitais; sensores IoT para monitoramento em tempo real	Darwish (2024); Weidlich (2024)
Digitalização e Software	Expansão de sistemas LIMS; testes comparativos antes/depois da digitalização	Sales et al. (2019); Weidlich et al. (2024)
Gestão e Estratégia	Estratégias para encorajar a acreditação em IES; laboratório modelo baseado em especialistas	Grochau (2017; 2020); Mytych; Ligarski (2018)
Metrologia Técnica	Perfil de velocidade e incerteza expandida para novas faixas de vazão; Splines Cúbicas em outros fluidos	Barateiro (2020); Kim (2026); Prakosa (2025)
Governança e Risco	Novas ferramentas de gerenciamento de riscos sob a ISO 17025; propagação de riscos em medições lineares	Silva (2021); Klauenberg (2023); Gusarova (2020)

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir do portfólio bibliográfico

A análise dessa agenda evidencia três padrões relevantes. Primeiro, artigos puramente técnicos sugerem melhorias incrementais nas instalações físicas ou nos padrões de referência, vitais para o rigor da medição fiscal (XU et al., 2025; JAISWAL et al., 2022). Segundo, observa-se unanimidade normativa: ainda que nem todas as fontes utilizem explicitamente a expressão “pesquisas futuras”, quase todas concluem indicando que a conformidade com a ISO/IEC 17025 deve ser o ponto de partida para qualquer inovação futura, seja um novo software ou um novo medidor Coriolis. Terceiro, a literatura evidencia uma tendência de integração entre tecnologias digitais, inteligência artificial, Internet das Coisas, gestão de riscos e indicadores de desempenho, na qual sistemas LIMS configuram-se como infraestrutura necessária para o gerenciamento de dados laboratoriais e para a implementação das perspectivas futuras de pesquisa apontadas pela literatura mapeada.

5 Conclusões

Este artigo teve como objetivo mapear o estado da arte da produção científica internacional sobre acreditação de laboratórios segundo a ISO/IEC 17025 e metrologia de vazão aplicada ao setor de combustíveis, por meio de uma revisão sistemática bibliométrica conduzida com apoio do método ProKnow-C. A pesquisa partiu da constatação de que a implementação de laboratórios de calibração de turbinas medidoras de volume articula literaturas historicamente segmentadas entre gestão da qualidade e engenharia metrológica, exigindo um mapeamento sistemático capaz de orientar tanto a comunidade acadêmica quanto a proposição de metodologias aplicadas.

Metodologicamente, buscas estruturadas em três eixos de palavras-chave, aplicadas às bases Scopus, Web of Science e IEEE Xplore e delimitadas ao período de 2017 a 2026, resultaram, após filtragem e eliminação de duplicatas, em um portfólio de 28 fontes internacionais. Os resultados evidenciaram dois picos de produção científica — em 2019 e

2024 —, associados respectivamente à publicação da norma vigente e à emergência de tecnologias de Gêmeos Digitais; predominância de estudos europeus e asiáticos, com participação relevante do Brasil; concentração das publicações em periódicos de alto impacto; e uma rede de autoridade científica concentrada, com destaque para pesquisadores vinculados à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Como principal contribuição, esta revisão consolidou quatro pilares conceituais da conformidade laboratorial — governança e acreditação, metrologia técnica e incerteza, digitalização e Indústria 4.0, e gestão estratégica e riscos — e identificou uma lacuna de pesquisa central: a ausência, na literatura mapeada, de modelos que integrem conjuntamente o projeto de engenharia de infraestruturas físicas de alta vazão e viscosidade à gestão digital nativa dos dados laboratoriais, sob a lógica do pensamento baseado em risco da ISO/IEC 17025:2017.

Como limitação do estudo, reconhece-se que a revisão restringiu-se a três bases de dados e ao intervalo temporal de 2017 a 2026, podendo não capturar produção científica correlata publicada em veículos não indexados ou anteriores à versão vigente da norma. Sugere-se, como trabalhos futuros, a ampliação do portfólio para outras bases e idiomas, a realização de análises de coocorrência de palavras-chave e de redes de cocitação com apoio de softwares bibliométricos dedicados, bem como o acompanhamento longitudinal da produção científica sobre Gêmeos Digitais aplicados à metrologia legal. Em síntese, a revisão sistemática aqui apresentada fornece o mapeamento bibliométrico que fundamenta, em artigo complementar, a proposição de uma metodologia integrada de implementação laboratorial para o setor de combustíveis.

Referências

BARATEIRO, C. E. R. B.; EMERIK, R. C. S. Liquid hydrocarbon flow meters calibration with high flow and viscosity: **New facility. Flow Measurement and Instrumentation**, v. 73, 101749, 2020.

BIEŃKOWSKA, A.; BIEŃKOWSKI, P.; ZABŁOCKA-KLUCZKA, A. Kształtowanie kultury zaufania w laboratoriach badawczych i wzorcujących. **Przegląd Elektrotechniczny**, v. 93, n. 3, p. 223-226, 2017.

CHUN, S.; YOON, B.; CHOI, H-M.; LEE, Y.B. Water Flow Meter Calibration with a Master Meter Method. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 18, n. 8, p. 1075-1083, 2017.

DARWISH, M. W. D.; DOHEIR, M.; AL-KUMAIM, N. H. S.; SALEH, H.; YAACOB, N. M. Optimizing Customer Satisfaction Through Sustainable Service Quality in ISO 17025 Accredited Calibration Laboratories. **International Journal of Sustainable Development and Planning,** v. 19, n. 12, p. 4843-4849, 2024.

DEHOUCK, P.; KOEBER, R.; SCARAVELLI, E.; EMONS, H. The integration of quality management systems in testing laboratories: a practitioner's report. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 24, p. 151–156, 2019.

DYUMAEVA, I. V.; MOSHKOVA, M. V. Laboratory Information Management Systems: Way to Simplify Accreditation**. Zavodskaya Laboratoriya**, v. 85, n. 10, p. 70-75, 2019.

DÉSENFANT, M.; PRIEL, M. Reference and additional methods for measurement uncertainty evaluation. **Measurement**, v. 95, p. 339–344, 2017.

GROCHAU, I. H.; LEAL, D. K. B.; TEN CATEN, C. S. European current landscape in laboratory accreditation. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 25, n. 4, p. 303–310, 2020.

GROCHAU, I. H.; TEN CATEN, C. S.; FORTE, M. M. C. Current American landscape in laboratory accreditation according to ISO/IEC 17025**. Accreditation and Quality Assurance**, v. 22, p. 57–62, 2017.

GUO, R.; LIU, Q.; BAI, Q.; ZHOU, Y.; XI, J. Analysis of similarities and differences of accreditation standards between testing laboratory and inspection institutions. **Experimental Technology and Management**, v. 40, n. 8, p. 247-251, 2023.

GUSAROVA, S. N.; EROKHINA, Y.; KRAMOK, D. I.; KHUNUZIDI, E.I. Recommendations for labs on the transition to GOST ISO/IEC 17025–2019**. Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials**, v. 86, n. 2, p. 69-78, 2020.

JAISWAL, S. K.; SINGH, C.; KUMAR, S.; VARSHNEY, A.; RAB, S.; YADAV, S. Design and development for amelioration of primary water flow standard and calibration systems. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 86, 102201, 2022.

KIM, H.; CHEONG, C.; RYU, S-Y.; PARK, S. Design optimization of turbine flow meter in ice maker water supply to improve flow measurement performance. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 108, 103134, 2026.

KLAUENBERG, K.; GREENWOOD, J.; FOYER, G. Propagation of conformity statements in compliance with the GUM and ISO 17025. **Metrologia**, v. 60, n. 5, 054004, 2023.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 59–78, 2012.

MACII, David. Basics of Industrial Metrology. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 27, n. 4, p. 26-36, 2024.

MYTYCH, J.; LIGARSKI, M. J. Management System functioning in accredited laboratories in Poland. **Management Systems in Production Engineering**, v.26, n.1, p. 42-48, 2018.

OHN, Han-Min. Internal audit techniques for testing laboratories: ISO/IEC 17025:2017 perspective. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 29, p. 263-266, 2024.

OKEZUE, M. A.; ADEYEYE, M. C.; BYRN, S. J.; ABIOLA, V. O.; CLASE, K. L. Impact of ISO/IEC 17025 laboratory accreditation in sub-Saharan Africa: a case study. **BMC Health Services Research**, v. 20, 1065, 2020.

PRAKOSA, J. A.; ALIAS, N.; PURWOWIBOWO, P.; ALGARNI, A. D.; SOLIMAN, N. F. Not-A-Knot cubic spline model to predict accurately the viscosity calibration curve of turbine flow meter. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 102, 102765, 2025.

SALES, D. M.; ALVES, R. A. da S.; ROCHA, J. C. P. Development of a Prototype Management Software for Testing Laboratories. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry (BrJAC),** v. 6, n. 22, p. 29-38, 2019.

SILVA, F. R.; GROCHAU, I. H.; VEIT, H. M. System proposal for implementation of risk management in the context of ISO/IEC 17025**. Accreditation and Quality Assurance**, v. 26, p. 271–278, 2021.

TRAJKOVIĆ, D. V.; RUSO, J. V.; RAKIC, A.S.; FILIPOVIC, J. V. Mapping conformity assessment bodies in the Republic of Serbia: focus on ISO/IEC 17025 accredited laboratories**. Accreditation and Quality Assurance**, v. 30, p. 693–705, 2025.

VELYCHKO, O.; GORDIYENKO, T.; KURSIN, S. Global Metrological Traceability at Different Measurement Levels: Practical Aspects. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 27, n. 1, p.38-45, 2024.

VOIT, K.; ZEMAN, O.; GAPPMAIER, P.; WRIESSNIG, K.; ADAMCOVA, R. Influence of Measurement Uncertainty in the Determination of Selected Rock Parameters—A Realistic Approach. **Materials**, v. 16, n. 8, 3045, 2023.

WEIDLICH, R.; ALBRECHT, T.; DERR, P.; RÖGLINGER, M. Designing a Process-Oriented Digital Twin for Industrial Testing Laboratories. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 13802–13813, 2024.

XU, Z.; BAO, M.; ZHOU, B.; CHEN, S.; CHEN, C.; ZHANG, G. Research on high-pressure air-loop gas flow standard facility. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 106, 102983, 2025.

ZHAI, P.; WANG, R.; ZHOU, Y.; HU, D.; LI, J.; ZHOU, Y. Enhancing the capabilities of biosafety laboratories through the established accreditation system: China**. Journal of Biosafety and Biosecurity**, v. 1, n. 1, p. 86–89, 2019.

ZHUSSUPBEKOV, S. S.; KHAN, S. G.; IBRAYEVA, L. K. The analysis of approaches to measurement uncertainty evaluation for calibration. **IAPGOŚ**, v. 3, p. 26-29, 2019