

METROLOGIA 4.0 APLICADA À CALIBRAÇÃO IN LOCO EM AMBIENTES DE OPERAÇÃO CONTÍNUA

Tais Laurindo^{1*}, Anderson de C. Fernandes¹, Antonio da Silva¹, Alexandre M. Ferreira¹,
Dhyonatan S. de Freitas¹, Fabiana R. R. Padilha¹, Gilberto Paulo Zluha¹

¹ Centro Universitário SENAI Santa Catarina – Campus Joinville

1. Introdução

A metrologia industrial constitui elemento estratégico para a confiabilidade de processos produtivos, especialmente em ambientes de operação contínua. A calibração periódica assegura rastreabilidade metrológica e conformidade com requisitos normativos, como ABNT NBR ISO 9001 e ABNT NBR ISO/IEC 17025 [1,2]. Em plantas de processo contínuo, a calibração periódica dos instrumentos é essencial para garantir qualidade, segurança e conformidade normativa. No entanto, os métodos tradicionais exigem a remoção de instrumentos ou o deslocamento de padrões fixos para laboratórios externos, gerando indisponibilidade de ativos, *downtime* elevado, custos logísticos e riscos de erro humano na transcrição de dados. Em cenários de produção contínua, cada hora de parada pode representar perdas financeiras substanciais, além de comprometer a continuidade operacional [3]. A lacuna tecnológica atual reside na ausência de sistemas integrados que combinem padrões móveis de alta precisão com automação industrial em tempo real. Embora existam calibradores portáteis avançados e arquiteturas de integração como o *middleware* Node-RED e CLP (controlador lógico programável), poucas soluções unem mobilidade, cálculo automático de incerteza e geração de certificado digital diretamente no campo, sem interrupção do processo produtivo. Estudos recentes em Metrologia 4.0 destacam que a calibração *in situ* com integração IoT ainda é incipiente no contexto brasileiro, especialmente quando se trata de transferência automática das informações para bancos de dados e emissão de certificados digitais compatíveis com Digital Calibration Certificates (DCC) [3-5]. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema híbrido que realiza a calibração diretamente no chão de fábrica, com processamento dos cálculos metrológicos no CLP e integração digital para emissão de certificado.

2. Experimento

A pesquisa possui caráter aplicado e exploratório, baseada em revisão bibliográfica e desenvolvimento de arquitetura sistêmica. O arranjo proposto utiliza calibrador Presys PC-507 portátil e padrão de referência conectado ao instrumento sob teste. Os valores gerados dos instrumentos são inseridos via IHM, assim são armazenados em bloco de dados no CLP Siemens. Um *script* no CLP executa cálculos metrológicos considerando repetitividade, resolução, erro sistemático e incerteza expandida. No processo de integração digital, o *middleware* Node-RED realiza comunicação industrial e envia os dados para banco SQLite. No banco SQLite os dados armazenados são consultados e disponibilizados via *dashboard* para emissão do certificado digital. O fluxo operacional ocorre em cinco etapas: (i) conexão do padrão móvel ao instrumento; (ii) aplicação dos pontos de calibração; (iii) aquisição dos valores das leituras; (iv) processamento estatístico; e (v) geração imediata de certificado digital. A metodologia atende aos princípios de rastreabilidade e integridade de dados requeridos pela ISO/IEC 17025 [2]. A Figura 1 ilustram a arquitetura do sistema e o fluxo de dados por meio de diagrama de blocos.

3. Resultados e Discussão

Na calibração de um transdutor de pressão na faixa de 0-100 psi, o sistema apresentou incerteza expandida dentro dos critérios de aceitação. O tempo médio por calibração foi reduzido de 18 minutos (processo manual) para 5 minutos (sistema proposto), representando uma redução de 75%. A execução dos cálculos metrológicos diretamente no CLP eliminou erros de transcrição manual e aumentou a confiabilidade dos registros. A integração com Node-RED e SQLite permitiu a rastreabilidade digital completa dos resultados, alinhando-se aos princípios da Metrologia 4.0, como automação, interoperabilidade e tomada de decisão baseada em dados [4,5]. A Figura 2

*Autor correspondente: tais_laurindo@estudante.sc.senai.br

demonstra a estrutura dos dados e cálculos metroológicos no CLP para calibração de um instrumento em chão de fábrica.

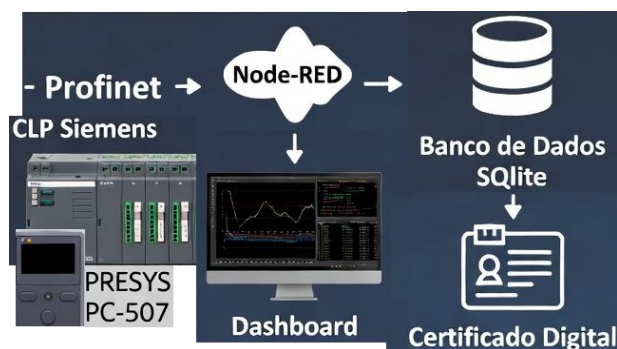


Figura 1. Diagrama de blocos – fluxo de dados.

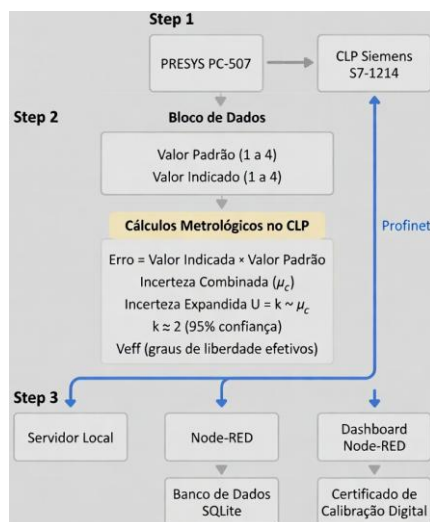


Figura 2. Estrutura dos dados e cálculos metroológicos no CLP para calibração de um instrumento

4. Considerações Finais

O sistema desenvolvido demonstra viabilidade técnica e econômica para calibração in loco em ambientes de operação contínua. Ao concentrar os cálculos metroológicos no CLP e automatizar a geração do certificado digital, a solução contribui para a redução de downtime e o aumento da confiabilidade operacional.

Este trabalho reforça o potencial da Metrologia 4.0 no contexto industrial brasileiro, especialmente em setores que demandam alta disponibilidade. Como próximos passos, recomenda-se a validação em campo em outros tipos de instrumentos e a evolução para comunicação full Modbus RTU.

5. Referências

- [1] ABNT, NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos, Rio de Janeiro, (2015).
- [2] ABNT, NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração, Rio de Janeiro, (2017).
- [3] CIPM, CIPM Strategy 2030+, BIPM, France, (2024).
- [4] Benitez, R. et al. Metrology in the context of Industry 4.0. Metrology, 2019.
- [5] Hackel, S. et al. The Digital Calibration Certificate (DCC). Metrology, 2023.