

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PIMS COM ESP32 E PYTHON PARA MONITORAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE INDICADORES DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0

JOSÉ ROBERTO DE LIMA¹, VITOR CAPELLI ANTUNES DE SOUSA², JAIR DE MARTIN JUNIOR³

¹ Graduando em Eng. de Controle e Automação, IFSP, Campus Catanduva, lima.jose@aluno.ifsp.edu.br

² Graduando em Eng. de Controle e Automação, IFSP, Campus Catanduva, vitor.capelli@aluno.ifsp.edu.br

³ Professor Doutor, IFSP, Campus Catanduva, jairdemartinjr@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.08.01.02-8: Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção.

RESUMO: A digitalização do chão de fábrica é fundamental para alcançar os objetivos da Indústria 4.0, permite monitorar, coletar, armazenar e analisar dados em tempo real, otimizando processos industriais. Entre os principais desafios do ambiente industrial estão o monitoramento dos tempos de parada, análise da disponibilidade e desempenho das máquinas, além do fornecimento de dados confiáveis para decisões estratégicas. Nesse contexto, ferramentas de gerenciamento, como o *Plant Information Management System* (PIMS), são essenciais para consolidar informações provenientes de sensores, máquinas e sistemas de controle, possibilitando o acompanhamento operacional dos ativos. Propõe-se o desenvolvimento de um sistema PIMS utilizando o microcontrolador ESP32 para a coleta de dados, em conjunto com uma Interface Homem-Máquina (IHM). Os dados são enviados para uma base no formato CSV, acessível via rede local ou *web*. A análise é realizada em tempo real por meio de uma interface desenvolvida em Python, com a biblioteca Streamlit, exibindo indicadores como disponibilidade, performance, qualidade e Eficiência Global dos Equipamentos (OEE). O sistema organiza as informações do chão de fábrica, auxiliando a tomada de decisões e oferecendo suporte à gestão industrial. Resultados preliminares indicam que a solução proposta apresenta capacidade de integração, monitoramento eficiente e potencial para otimizar a gestão dos processos.

PALAVRAS-CHAVE: análise de dados; monitoramento; indústria 4.0; interface homem-máquina (IHM); python.

DEVELOPMENT OF A PIMS SYSTEM WITH ESP32 AND PYTHON FOR MONITORING AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION INDICATORS IN INDUSTRY 4.0

ABSTRACT: The digitalization of the shop floor is fundamental to achieving the goals of Industry 4.0, enabling the monitoring, collection, storage, and real-time analysis of data to optimize industrial processes. Among the main challenges of the industrial environment are downtime monitoring, analysis of machine availability and performance, as well as the provision of reliable data for strategic decision-making. In this context, management tools such as the Plant Information Management System (PIMS) are essential to consolidate information from sensors, machines, and control systems, allowing operational monitoring of assets. The development of a PIMS system using the ESP32 microcontroller for data collection, together with a Human-Machine Interface (HMI), is proposed. The data is sent to a database in CSV format, accessible via local network or web. The analysis is carried out in real time through an interface developed in Python with the Streamlit library, displaying indicators such as availability, performance, quality, and Overall Equipment Effectiveness (OEE). The system organizes shop floor information into strategic insights, supporting decision-making and providing guidance for industrial management. Preliminary results indicate that the proposed solution demonstrates integration capability, efficient monitoring, and potential to optimize process management.

KEYWORDS: data analysis; monitoring; Industry 4.0; human-machine interface (HMI); Python.

INTRODUÇÃO

A coleta e o gerenciamento de dados na Indústria 4.0 são essenciais para a gestão contínua dos processos produtivos e para a tomada de decisões baseada em indicadores de produção, como o OEE

(*Overall Equipment Effectiveness*), performance, disponibilidade e qualidade. Nesse contexto, os sistemas PIMS (*Plant Information Management System*) emergem como ferramenta crucial para a automação, possibilitando a coleta, análise e visualização de dados em tempo real ou armazenados (Pamplona, 2024). Atualmente, pequenas e médias indústrias têm dificuldades financeiras em instalar *softwares* como o PI System, da O SIsoft. Surge, então, uma lacuna no mercado.

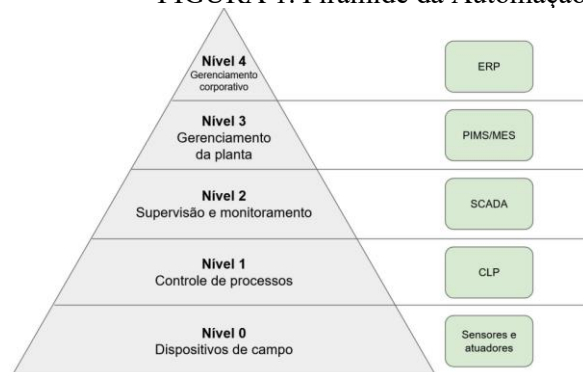
Com o avanço das tecnologias de comunicação, a acessibilidade a dispositivos de baixo custo, como o microcontrolador ESP32, se destacam por sua capacidade de conectividade sem fio e suporte a diversos sensores (Aghenta; Iqbal, 2019). De forma similar, a linguagem de programação Python tem se consolidado no desenvolvimento de sistemas de análise de dados e visualização. Em especial, bibliotecas como o Streamlit permitem a criação rápida e simplificada de *dashboards* interativos, facilitando a interpretação dos dados coletados e dando suporte eficiente para decisões estratégicas (Streamlit, 2024). A adoção de uma Interface Homem-Máquina (IHM), integrada ao ESP32, coleta informações sobre as paradas de máquina de forma integrada e visual para o operador em tempo real e possibilita a interação com o processo. (Figueiredo, 2024)

Este trabalho tem como objetivo projetar um sistema PIMS para digitalizar, em tempo real, os dados provenientes do chão de fábrica. Por meio de um sensor óptico de contagem de peças e uma interface IHM, as medições são transmitidas por um ESP32. Os registros são armazenados em uma base de dados no formato de CSV e ficam disponíveis para consulta e análise por meio de uma interface *web*.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pirâmide de automação industrial representa uma estrutura hierárquica fundamental que organiza os diferentes níveis de sistemas e tecnologias utilizados na automação e gestão de processos industriais, estendendo-se desde os dispositivos de campo até os sistemas de gestão corporativa (Pamplona, 2024). Esta arquitetura é composta por cinco níveis distintos que trabalham de forma integrada para permitir o fluxo eficiente de informações e o controle adequado dos processos produtivos, conforme a Figura 1.

FIGURA 1. Pirâmide da Automação.



Fonte: Pamplona (2024).

O nível 3 da pirâmide representa o domínio dos sistemas de gestão da planta, onde se destacam o PIMS e o MES (*Manufacturing Execution System*), que desempenham papel crucial na integração das operações do chão de fábrica com os sistemas de gestão empresarial.

O PIMS, em particular, constitui uma solução tecnológica que realiza a gestão de todos os dados gerados a partir da integração dos sistemas abaixo dele, consolidando informações de sensores, máquinas e sistemas de controle para fornecer uma visão abrangente do desempenho dos ativos industriais. O sistema PIMS funciona como um repositório central que coleta, armazena e disponibiliza dados de produção de forma estruturada, facilitando a tomada de decisões estratégicas e o monitoramento contínuo da performance industrial. Esse fluxo de informações é essencial para explorar aplicações específicas em ambientes de produção complexos.

Dentre as várias aplicações do PIMS, destacam-se aquelas que facilitam o monitoramento de máquinas e o controle detalhado das operações de produção. A pesquisa de Carvalho Filho (2024) evidencia que, em ambientes com múltiplos pontos de coleta, o PIMS atua como agregador central de

informações, repassando-as ao MES para viabilizar um controle coordenado e um planejamento preciso das atividades de manufatura.

O PIMS desempenha um papel vital ao coletar e consolidar dados que permitem medir e acompanhar indicadores-chave de desempenho industrial, sendo o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) um dos mais importantes. Conforme explica Arthus (2017), o OEE é uma métrica abrangente que avalia a utilização de equipamentos por meio da multiplicação de três componentes fundamentais: Disponibilidade, Performance e Qualidade. A Disponibilidade refere-se à porcentagem de tempo que a máquina está disponível produzir, para considerando paradas planejadas e não planejadas. A Performance mede a velocidade real de produção comparada à velocidade teórica ideal, enquanto a Qualidade representa a porcentagem de produtos que atendem aos padrões de qualidade estabelecidos. Nakajima (1988) estabeleceu que um OEE de classe mundial deve atingir valores superiores a 85%, com disponibilidade acima de 90%, performance acima de 95% e qualidade superior a 99,9%.

Para Nakajima (1988), o conceito de OEE está intimamente ligado à filosofia do *Total Productive Maintenance* (TPM), uma abordagem holística de manutenção que busca maximizar a eficiência e efetividade dos processos produtivos. O TPM trabalha com a eliminação das seis grandes perdas industriais: paradas por quebras não planejadas, *setup* e ajustes, pequenas paradas, redução de velocidade, defeitos de processo e perdas de partida. Esta metodologia complementa perfeitamente os sistemas PIMS, pois fornece a estrutura conceitual para interpretar e agir sobre os dados coletados, transformando informações em ações concretas de melhoria.

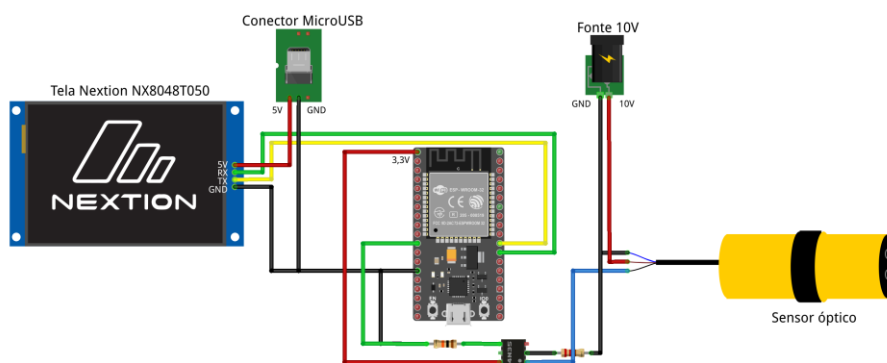
Para que os dados coletados pelos sistemas PIMS sejam efetivamente utilizados pelos operadores, torna-se essencial a implementação de interfaces adequadas que facilitem a interação humano-máquina. As Interfaces Homem-Máquina (IHM) desempenham papel crucial neste contexto, permitindo o controle e interação eficiente entre operadores e sistemas automatizados. A IHM atua como mediadora da interação entre o homem e os dispositivos, traduzindo dados técnicos complexos em informações visuais acessíveis e, simultaneamente, coletam dados inseridos pelos operadores. (Figueiredo, 2024; Paiola, 2017).

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema é estruturado em três estágios principais: aquisição de dados, processamento e armazenamento, e visualização. No primeiro estágio, o sistema utiliza o microcontrolador ESP32, que dispõe de comunicação Wi-Fi integrada e dois núcleos para gerenciar as tarefas de comunicação e processamento em paralelo. A aquisição dos dados é feita através de uma IHM *touchscreen* modelo Nextion NX8048T050, que substitui botões físicos e anotações em papel para o registro das paradas de máquinas pelos operadores de forma ágil, enviando informações ao ESP32 via comunicação UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) serial TTL (*Transistor-Transistor Logic*).

Para a contagem da produção, é utilizado um sensor óptico conectado a uma entrada digital do ESP32 com isolamento galvânico por um optoacoplador 4N35, garantindo proteção contra interferências. O esquemático representando o circuito de aquisição de dados, com as conexões entre ESP32, IHM e sensor, está ilustrado na Figura 2.

FIGURA 2. Esquemático do sistema de aquisição de dados.



Fonte: Autoria própria.

No segundo estágio, o processamento e armazenamento dos dados ocorrem no ESP32, que interpreta os dados recebidos e os transmite utilizando o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) para um *broker* remoto. No lado do servidor, um programa desenvolvido em Python acessa o *broker* MQTT, coletando e armazenando continuamente os dados em uma base no formato CSV (*Comma-Separated Values*).

A comunicação é realizada pela biblioteca Paho, especializada no gerenciamento do protocolo MQTT, que atua tanto como *publisher*, enviando dados por tópicos para o *broker*, quanto como *subscriber*, recebendo dados desses tópicos.

O tratamento dos dados é efetuado com o auxílio das bibliotecas Numpy e Pandas. A Numpy facilita a manipulação numérica e o tratamento de *arrays* multidimensionais, enquanto a Pandas é amplamente utilizada para análise, tratamento e organização dos dados em arquivos CSV e outros formatos, permitindo operações eficientes com dados tabulares.

No terceiro estágio, a visualização dos dados é realizada por meio da interface de usuário criada com a biblioteca Streamlit, que possibilita o desenvolvimento de interfaces *web* interativas. A geração de gráficos e visualizações dos dados é feita através das bibliotecas Matplotlib e Plotly, que oferecem visualizações interativas e detalhadas. Essas visualizações facilitam a interpretação dos dados coletados, incluindo ocorrências de paradas de máquina e tempos improdutivos, permitindo aos usuários selecionarem períodos de análise, filtrar dados por tipo de equipamento ou linha de produção, e visualizar tendências históricas dos indicadores, proporcionando informações essenciais para a tomada de decisões. Para validação do sistema, foram realizados testes em bancada simulando situações de parada e retomada de produção, avaliando o tempo de resposta do sistema, a integridade dos dados transmitidos e a precisão das contagens de produção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interface de aquisição de dados foi desenvolvida com foco na praticidade operacional e na integração dos componentes em um único suporte físico. Para isso, projetou-se uma estrutura compacta, impressa em 3D, que centraliza o ESP32, a IHM *touchscreen* e a entrada dedicada para o sensor óptico. Esse suporte garante organização dos cabos, fixação no processo e facilidade de instalação no ambiente fabril. A IHM permite que o operador registre diretamente os eventos de parada da máquina, enquanto o ESP32 recebe esses dados via serial, os processa juntamente com as contagens do sensor óptico e os envia para a base de dados, onde são posteriormente visualizados na interface do usuário. A interface física completa do sistema de aquisição de dados pode ser observada na Figura 3.

FIGURA 3. Interface de aquisição de dados.



Fonte: Autoria própria.

Os testes foram realizados em bancada com objetivo validar o desempenho do sistema de aquisição de dados, simulando a detecção de paradas após um tempo limite definido, no qual a produção não era detectada (ausência de pulsos do sensor óptico). O sistema foi comparado com um cronômetro digital para validar os tempos de resposta, em conjunto foi feita uma verificação para confirmar se a contagem de peças registrada pelo sistema correspondia à contagem real, com base nos pulsos emitidos pelo sensor (simulando uma produção em ciclo contínuo). Durante os testes, tanto os tempos de parada

quanto a contagem de peças foram validados, com diferenças nos tempos de parada e na detecção de parada na casa dos décimos de segundo. Além disso, os resultados da contagem de peças obtidos coincidiram com os valores reais, com o sistema, desde a coleta até a apresentação na interface *web*, apresentando uma latência inferior a 3 segundos e sem erros de contagem ou envio de dados.

A interface *web* desenvolvida para o sistema PIMS em Python simplifica o acesso e facilita o monitoramento contínuo dos principais indicadores operacionais. A interface gráfica do usuário foi projetada para oferecer uma navegação eficiente, permitindo aos usuários acessarem rapidamente tanto métricas em tempo real quanto históricos detalhados. O *layout* destaca de forma clara os principais indicadores, como Disponibilidade, Performance, Qualidade e OEE, garantindo que as informações críticas estejam sempre visíveis para decisões rápidas e assertivas. A visualização inicial da interface gráfica pode ser observada na Figura 4.

Além disso, o *dashboard* principal permite a análise de períodos específicos e a comparação do desempenho geral ou por máquina. Destacam-se, especialmente, os gráficos que detalham os tempos e as causas das paradas das máquinas, organizados em gráficos de pizza, o que facilita a identificação rápida e precisa das principais fontes de interrupções operacionais.

FIGURA 4. Interface *web* do sistema PIMS.



Fonte: Autoria própria.

A funcionalidade de análise das paradas permite uma compreensão aprofundada das causas e dos tempos de inatividade de um processo, gerando insights estratégicos para o planejamento de manutenções preventivas e preditivas. A capacidade analítica oferecida pelo sistema PIMS possibilita uma gestão operacional mais eficiente, baseada em dados confiáveis, promovendo a melhoria contínua dos processos produtivos. Esse tipo de sistema é particularmente valioso em indústrias de pequeno e médio porte, onde os recursos são limitados e a maximização da eficiência é crucial para a competitividade. O PIMS ajuda essas empresas de pequeno e médio porte a otimizar seus processos, reduzir os tempos de inatividade e aumentar a eficiência das máquinas, contribuindo diretamente para a sustentabilidade e crescimento da indústria como um todo.

A integração efetiva entre PIMS, cálculo de OEE e IHM cria um ecossistema tecnológico robusto que permite não apenas a coleta e armazenamento de dados, mas também sua análise e apresentação de forma intuitiva. Esta sinergia tecnológica é fundamental para alcançar os objetivos da Indústria 4.0, proporcionando maior visibilidade dos processos, melhor controle operacional e suporte aprimorado à tomada de decisões.

CONCLUSÕES

O sistema PIMS baseado em ESP32 e IHM monitora em tempo real os indicadores de produção incluindo OEE, Disponibilidade, Performance e Qualidade de forma integrada e acessível. Ele registra eventos de parada, contabiliza a produção, transmite e armazena dados, além de oferecer visualizações interativas que apoiam a gestão e a tomada de decisões estratégicas.

A integração entre o PIMS, o cálculo de OEE e a IHM está alinhada aos princípios da Indústria 4.0, proporcionando maior controle, visibilidade e otimização dos processos produtivos, com redução dos tempos de inatividade.

O sistema apresenta flexibilidade e potencial de expansão, embora sua validação atual ainda ocorra em ambiente controlado. As próximas etapas envolvem a integração com sistemas corporativos (ERP/MES), a ampliação de sensores e a adoção de técnicas preditivas de manutenção, fortalecendo a aderência do projeto às melhores práticas descritas na literatura.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Autor 1 e Autor 2 foram responsáveis pela pesquisa bibliográfica, desenvolvimento do protótipo e validação do sistema PIMS. Autor 3 foi responsável pela orientação e supervisão durante o desenvolvimento do projeto. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PIBIFSP pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

AGHENTA, L. O.; IQBAL, M. T. **Low-cost, open source IoT-based SCADA system design using thinger. IO and ESP32 thing**. Electronics, v. 8, n. 8, p. 822, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/8/822>. Acesso em: 2 ago. 2025.

ARTHUS, M. A. **Sistema supervisor para cálculo de índice de OEE (Overall Equipment Effectiveness)**. 2017. TCC (Graduação) - Engenharia de Controle e Automação, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2017. Disponível em: https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariadeControleeAutomacao/galdenoro1906/tcc_sistemasupervisoriparacalculodeindiceeoe_final_r2.pdf. Acesso em: 2 ago. 2025.

CARVALHO FILHO, P. H. F. **Uma proposta para integração inteligente baseada em dados para gestão e controle de manufatura discreta distribuída**. 2024. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Instituto de Computação / Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/40719/1/Mestrado%20-%20Paulo%20Henrique%20Farias%20de%20Carvalho%20Filho%20versão%20final.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2025.

FIGUEIREDO, L. A. **Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) industrial de alta performance baseada no estudo da norma ISA-101 aplicada a processos de mineração**. 2024. TCC (Graduação) - Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/7048/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoInterfaceHomem.pdf. Acesso em: 2 ago. 2025.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: total productive maintenance**. Portland: Productivity Press, 1988. 129 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/Introduction_to_TPM.html?id=XKc28H3JeUUC. Acesso em: 2 ago. 2025.

PAIOLA, C. **Presente e futuro dos sistemas HMI/SCADA**. ISA São Paulo Section, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://isasp.org.br/wp-content/uploads/2020/01/Presente-e-Futuro-dos-Sistemas-HMI-SCADA-2017.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2025.

PAMPLONA, H. **Desenvolvimento de uma ferramenta para extração, comparação e validação de conformidades entre dados históricos armazenados em um PIMS**. 2024. TCC (Graduação) – Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254669>. Acesso em: 2 ago. 2025.

STREAMLIT. **Streamlit Documentation**. Disponível em: <https://docs.streamlit.io>. Acesso em: 2 ago. 2025.