

SISTEMA IIOT DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE TEMPERATURA, UMIDADE E GASES TÓXICOS EM PLANTAS INDUSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

VITOR DE MELLO VILLARREAL CARREÑO¹; WELLINGTON LUIZ DE OLIVEIRA DA ROSA²; RAFAEL IANKOWSKI SOARES³

¹*Universidade Federal de Pelotas – vdmvcarreño@inf.ufpel.edu.br*

²*Universidade Federal de Pelotas – wellingtonl.fo@ufpel.edu.br*

³*Universidade Federal de Pelotas – rafael.soares@inf.ufpel.edu.br*

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) é uma rede de objetos físicos capazes de coletar e compartilhar informações eletrônicas. A Internet Industrial das Coisas (IIoT) é uma extensão desse conceito aplicada em ambientes industriais. O IIoT abrange uma ampla variedade de objetos “inteligentes”, que vão desde máquinas industriais capazes de gerar e transmitir dados sobre o processo produtivo até sensores que coletam informações de diversos dispositivos industriais. A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial, caracterizada pela digitalização, automação inteligente, integração ciberfísica e uso intensivo de dados, onde o IIoT fornece a infraestrutura de conectividade necessária para que isso aconteça (SAUER, 2020).

No mercado atual, existem soluções proprietárias para dar suporte a plantas industriais automatizadas onde é possível destacar soluções da Siemens, Honeywell ou Bosch que oferecem alta confiabilidade. Entretanto, tais soluções apresentam custos elevados, dependência de plataformas específicas e exigência de manutenção especializada (CHALAPATHI, 2019). Diversas soluções genéricas de IoT utilizam dispositivos como Arduino ou ESP conectados a plataformas em nuvem tais como *ThingsBoard*, *Ubidots*, *Blynk*, permitindo a redução de custos e agilidade na implementação, porém deixam os sistemas dependentes de infraestrutura externa, sem armazenamento local seguro e com maior risco de perda de dados em falhas de conectividade. Isso está diretamente relacionado ao uso crescente da Computação na Borda (*Edge Computing*) no IIoT, que busca superar limitações da nuvem e permitir processamento e armazenamento local confiável (CHALAPATHI, 2019).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo atender às demandas do setor de monitoramento industrial, empregando conceitos de IIoT e Computação de Borda explorando as tecnologias de comunicação sem fio. A solução proposta realiza a medição de parâmetros ambientais críticos, como temperatura, umidade e presença de gases tóxicos, por meio de sensores comerciais integrados a um sistema embarcado baseado no microcontrolador ESP32. No caso dos sensores de gases, seu uso é essencial em ambientes industriais onde há risco de vazamentos de substâncias como amônia (NH_3) em sistemas de refrigeração, sulfeto de hidrogênio (H_2S) em estações de tratamento de efluentes, monóxido de carbono (CO) em áreas de combustão ou metano/GLP em caldeiras e cozinhas industriais. Esses contextos apresentam riscos à segurança dos trabalhadores e à operação das plantas, tornando indispensável o monitoramento contínuo.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo da solução são pequenas e médias empresas industriais de setores como manufatura, logística e utilities, que necessitam de monitoramento ambiental contínuo. No Brasil, as MPEs representam 98% do parque industrial (Política Nacional, 2019), mas enfrentam dificuldades como custos elevados, infraestrutura limitada e escassez de pessoal qualificado para adotar tecnologias da Indústria 4.0 (Tecnicon, 2022). Essas empresas buscam soluções acessíveis, simples, autônomas e pouco dependentes de conectividade externa, características atendidas por um sistema compacto com servidor web e armazenamento local.

Entre os concorrentes, destacam-se: (i) sistemas proprietários, como os da Siemens, Honeywell e Bosch, que oferecem confiabilidade, mas têm alto custo e exigem manutenção especializada; (ii) CLPs, robustos e escaláveis, porém sem servidores web embarcados e de integração complexa; e (iii) soluções IoT genéricas baseadas em nuvem (ESP, Arduino, ThingsBoard, Blynk), que são baratas e rápidas de implementar, mas dependem de infraestrutura externa e carecem de armazenamento local. A proposta equilibra custo e autonomia, unindo a flexibilidade das soluções IoT genéricas à independência operacional, sem os encargos dos sistemas proprietários.

O mercado global de Edge Computing Industrial deve crescer de US\$ 21,19 bilhões em 2025 para US\$ 44,73 bilhões em 2030, a um CAGR de 16,1% (Markets and Markets, 2025). Estimativas semelhantes apontam valores acima de US\$ 100 bilhões em 2030 (Mordor Intelligence, 2025). Já o Enterprise IoT pode alcançar US\$ 690 bilhões até 2030, com crescimento médio de 15% ao ano (IOT Analytics, 2024).

Com base nesses dados, o TAM inclui o universo de soluções IIoT e Edge Computing; o SAM abrange empresas que demandam monitoramento autônomo, especialmente em mercados emergentes; e o SOM foca no Brasil, onde há baixa adoção da Indústria 4.0. Assim, a solução se mostra competitiva ao oferecer baixo custo, autonomia e fácil implementação, aproveitando o crescimento acelerado do setor e a demanda por inovação com investimentos acessíveis.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

A solução proposta combina a robustez das infraestruturas industriais com a flexibilidade das soluções IoT de baixo custo. Com um servidor web embarcado e armazenamento local, elimina-se a dependência de plataformas externas, garantindo operação autônoma e maior resiliência mesmo em ambientes de conectividade instável (Real Time Logic, 2025). Essa abordagem está alinhada à Computação na Borda, que reduz latência e aumenta a confiabilidade (CHALAPATHI, 2019). O uso do microcontrolador ESP32, amplamente consolidado em aplicações industriais e acadêmicas (CHANG, 2025), viabiliza a adoção por pequenas e médias empresas, democratizando o monitoramento industrial sem perda de funcionalidades.

A arquitetura modular facilita futura integração com sistemas SCADA ou MES, oferecendo escalabilidade e adaptabilidade. Entre os benefícios, destacam-se: autonomia na coleta e armazenamento local de dados críticos; redução de custos de implantação e manutenção em comparação a soluções proprietárias; acessibilidade tecnológica, permitindo às pequenas e médias empresas explorar recursos da Indústria 4.0; e flexibilidade para expansão com novos sensores a baixo custo.

Por outro lado, há desafios relevantes: segurança cibernética, robustez do hardware em ambientes agressivos e resistência do mercado a soluções emergentes. Para mitigá-los, o projeto prevê uso de protocolos seguros (HTTPS e MQTT com TLS), validações em cenários simulados e capacitação das empresas, fortalecendo a confiança na solução.

Atualmente, o projeto encontra-se em nível inicial de maturidade tecnológica (TRL 2-3), com conceito e arquitetura definidos, mas ainda sem implementação prática ou validação experimental. Mesmo neste estágio, apresenta um caminho claro para tornar acessível a adoção de tecnologias IIoT em diferentes setores industriais.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

A adoção de um sistema de monitoramento de variáveis ambientais baseado em soluções de baixo custo, em contraste com sistemas proprietários caros disponíveis no mercado, pode gerar impactos econômicos significativos para as plantas industriais. Ao reduzir o investimento inicial em infraestrutura de automação, a empresa consegue direcionar recursos para outras áreas estratégicas, ao mesmo tempo em que mantém um nível elevado de confiabilidade no acompanhamento de temperatura, umidade e presença de gases tóxicos. Além disso, a flexibilidade de uma solução adaptável às necessidades específicas do processo produtivo evita gastos desnecessários com funcionalidades genéricas de sistemas proprietários, permitindo ajustes sob demanda com menor custo de manutenção e expansão. Outra vantagem relevante é a possibilidade de fomentar o desenvolvimento de tecnologias inovadoras nacionais, fortalecendo a indústria local e criando oportunidades para a exportação de produtos e serviços tecnológicos com maior valor agregado para outros países. Essa abordagem pode resultar em uma projeção de lucros mais favorável, tanto pela diminuição dos custos operacionais quanto pela maior competitividade no mercado, já que possibilita atender às exigências ambientais e regulatórias de forma eficiente e acessível.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um sistema IIoT de baixo custo para monitoramento de temperatura, umidade e gases tóxicos em ambientes industriais configura uma inovação relevante no contexto da Indústria 4.0. A proposta utiliza sensores comerciais integrados a um microcontrolador ESP32 com suporte a computação na borda, permitindo coleta, processamento e armazenamento local de dados com eficiência e confiabilidade. Sua principal contribuição é oferecer viabilidade econômica e tecnológica a pequenas e médias empresas, que enfrentam barreiras de custo e complexidade em sistemas tradicionais. O uso de sensores

acessíveis e de uma plataforma flexível garante escalabilidade e adaptação a diferentes cenários. Os impactos esperados incluem maior segurança ao detectar gases nocivos, otimização de processos e redução de perdas, reforçando o papel da Indústria 4.0 na democratização do acesso a tecnologias avançadas e na competitividade do setor produtivo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SAUER, C. et al., Current Industry 4.0 Platforms – An Overview. **White Paper IIP**, v.1,p, 1-148, 20020.

CHALAPATHI, G.S.S. et al., Industrial Internet of Things (IIoT) Applications of Edge and Fog Computing: A Review and Future Directions. **ArXiv**, v.1, p.1-15, 2019.

Gov. **Política Nacional de Apoio e Desenvolvimento de Micro e Pequenas Empresas**. Gov. Acessado em 11 ago. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/forum-permanente/publicacoes/outras-publicacoes/politica-nacional-de-apoio-e-desenvolvimento-de-micro-e-pequenas-empresas>

Tecnicon. **Brasil e Indústria 4.0: atraso e falta de interesse**. Tecnicon, 25 jul. 2022. Acessado em 11 ago. 2025. Disponível em: https://www.tecnicon.com.br/noticias/596-Brasil_e_Industria_4_0_atraso_e_falta_de_interesse

Markets and Markets. **Industrial Edge Market Size Share and Trends, 2025 to 2030**. Markets and Markets, fev. 2025. Acessado em 11 ago. 2025. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-edge-market-195348761.html?>

Mordor Intelligence. **Industrial Edge Computing Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2025 - 2030)**. Mordor Intelligence, 26 mar. 2025. Acessado em 11 ago. 2025. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industrial-edge-computing-market?>

IOT Analytics. **IoT market update: Enterprise IoT market size reached \$269 billion in 2023, with growth deceleration in 2024**. IOT Analytics, 9 jul. 2024. Acessado em 11 ago. 2025. Disponível em: <https://iot-analytics.com/iot-market-size/>

Real Time Logic. **Device Management via IoT or Embedded Web Server?**. Real Time Logic. Acessado em 11 ago. 2025. Online. Disponível em: <https://realtimelogic.com/articles/Device-Management-via-IoT-or-Embedded-Web-Server?>

CHANG Y., WU F., LIN H., Design and Implementation of ESP32-Based Edge Computing for Object Detection. **Sensors**, v.25, p.1-26, 2025.