

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Desenvolvimento de estrutura *edge computing* para utilização de ferramentas de *machine learning* em processos industriais

Gabriel Martinz Pereira¹, Jean Carlos Rodrigues da Silva², Afonso Celso Turcato³, Andre Luis Dias⁴

¹ Aluno IFSP Campus Sertãozinho, IFSP, Campus Sertãozinho, gabriel.martinz@aluno.ifsp.edu.br

² Coordenador do Centro Multidisciplinar de Tecnologia Cervejeira, IFSP, Campus Sertãozinho, jeanrodrigues@ifsp.edu.br

³ Docente, IFSP, Campus Sertãozinho, afonso.turcato@ifsp.edu.br

⁴ Diretor Adjunto de Pesquisa e Inovação, IFSP, Campus Sertãozinho, andre.dias@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.05-0 Sistemas Eletrônicos de Medida e de Controle

RESUMO: As tecnologias da Indústria 4.0 representam uma oportunidade para pequenas e médias empresas aprimorarem seus processos produtivos, melhorando a eficiência, reduzindo desperdícios e custos. Considerando que estas empresas possuem recursos limitados para investimento em pesquisa e desenvolvimento, tecnologias como inteligência artificial e internet das coisas podem promover vantagens devido às suas características de baixo custo. Assim, a transformação digital de processos industriais deve incentivar empresas para investimentos em transparência e extração de informações relevantes dos dados de seus processos produtivos. Neste contexto, este trabalho propõe a implementação de uma estrutura *edge computing* para utilização de ferramentas de *machine learning* em processos industriais, buscando assim, uma estratégia para aproveitar dados subutilizados do processo industrial, possibilitando a extração de informações adicionais, como estimar variáveis não medidas diretamente e até mesmo a saúde de operação de máquinas e equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE: machine learning; processos industriais; condition monitoring.

Development of an edge computing structure for using machine learning tools in industrial processes

ABSTRACT: The technologies of Industry 4.0 represent an opportunity for small and medium-sized enterprises to enhance their production processes, improving efficiency, and reducing waste and costs. Considering that these companies have limited resources for investment in research and development, technologies such as artificial intelligence and the Internet of Things can offer advantages due to their low-cost characteristics. Thus, the digital transformation of industrial processes should encourage companies to invest in transparency and the extraction of relevant information from their production data. In this context, this work proposes the implementation of an edge computing framework for the use of machine learning tools in industrial processes, thus aiming to develop a strategy to leverage underutilized data from the industrial process. This would enable the extraction of additional insights, such as estimating variables not directly measured and even assessing the operational health of machines and equipment.

KEYWORDS: machine learning; industrial processes; condition monitoring.

INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, está transformando a produção e operação das empresas através de novas tecnologias que impulsionam a automação e a eficiência, além de impactar a economia e a sociedade. Essa revolução é composta por tecnologias como sistemas ciberfísicos, Big Data, inteligência artificial, computação em nuvem e Internet das Coisas (Singh, 2021).

A transformação digital, associada à Indústria 4.0, visa a digitalização de dados do processo e do mercado, permitindo a extração de *Key Performance Indicators* (KPIs), realização de análises e

otimizações, e refinamento do gerenciamento produtivo, melhorando a eficiência e reduzindo custos (Teng ; Wu e Yang, 2022). Para pequenas e médias empresas, tecnologias de baixo custo, como inteligência artificial, oferecem uma oportunidade para aprimorar processos produtivos. (Dias et al., 2021).

Sistemas inteligentes de diagnóstico de falhas para manutenção preditiva têm o potencial de aumentar a confiabilidade, evitar paradas não programadas, e reduzir gastos com manutenção (Lei et al., 2020). Contudo, devido ao alto custo e à dificuldade de implementar tais sistemas em nuvem ou em controladores industriais convencionais, este trabalho propõe a execução desses algoritmos em uma estrutura de *edge computing*. Importante ressaltar que os algoritmos de inteligência artificial em si possuem baixo custo, porém sua implementação e execução em nuvem que envolve um maior custo. Uma estrutura *edge computing* (que traz o processamento de dados mais próximo das fontes de dados ou dos dispositivos que geram informações, não dependendo assim da nuvem) pode ser utilizada para executar os algoritmos inteligentes, sendo assim economicamente viáveis. Isso visa utilizar dados subutilizados do processo industrial para fornecer informações relevantes sobre a saúde operacional dos equipamentos.

Neste contexto, o trabalho tem por objetivo principal propor e desenvolver uma estrutura *edge computing* para utilização de ferramentas de *machine learning* em processos industriais. Assim, busca-se uma estratégia para aproveitar dados subutilizados do processo industrial, proporcionando a possibilidade de se extraírem mais informações sobre sua operação, como detecção de falhas e estimar variáveis custosas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do projeto proposto se realizou uma pesquisa bibliográfica sobre o tema. Inicialmente, pesquisa bibliográfica foi conduzida na base de dados IEEE Xplore, sobre o panorama, tendências, desafios e oportunidades ligados a aplicações de estruturas de *edge computing* e *cloud computing*.

Considerando que este projeto de pesquisa está associado a um projeto maior, a instituição de pesquisa já possui infraestrutura de hardware para desenvolvimento do sistema baseado em *edge computing*. Trata-se do “Laboratório de produção cervejeira”, que possui uma planta piloto com cozinha de brasagem para 100 litros, com as etapas de brasagem, filtração, clarificação, cozimento e *whirlpool*.

O painel de comando possui um controlador lógico programável responsável pelo controle do processo, e um equipamento denominado Gateway IoT, que será o responsável pelo sistema *edge computing*, ou seja, além da função de disponibilizar dados via internet, este será responsável pela execução de modelos preditivos. A figura 1 apresenta o painel de comando do processo industrial.

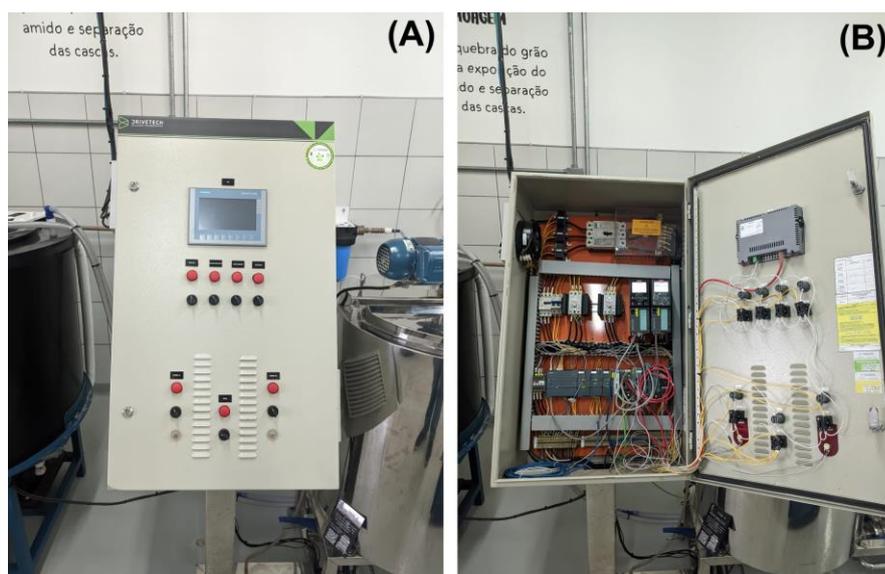


Figura 1. Painel de comando do processo industrial. (a) Vista externa. (b) Vista interna. Para o desenvolvimento do sistema baseado em *edge computing*, se propôs as seguintes etapas:

1- Instalação e configuração do sistema operacional no dispositivo de *Edge computing*:

Podem ser utilizados sistemas operacionais LINUX, sendo versão Ubuntu 23 ou superior.

2 - Instalação dos softwares necessários para coleta de dados do processo industrial e execução de algoritmos inteligentes:

Os seguintes softwares foram utilizados:

- O software Tshark, capaz de capturar e analisar pacotes de redes baseado em Ethernet. Usa interface simples, por meio de linha de comando.

- O software Node-RED que oferece ambiente de desenvolvimento visual de código aberto que facilita a conexão de dispositivos, APIs e serviços online. Assim sendo possível implementar os algoritmos inteligentes em linguagem Python.

3 - Implementação de um algoritmo inteligente para detecção de falhas na operação em processos industriais:

A partir da configuração dos softwares da estrutura *edge computing*, se implementa um sistema capaz de coletar os dados via rede de comunicação industrial baseado em Ethernet, processar estes dados extraíndo características importantes dos sinais do processo industrial, e executar algoritmos inteligentes para verificação de sua condição de operação de máquinas e equipamentos. Busca-se neste ponto uma interface amigável e de fácil utilização para usuários.

4 – Teste do sistema proposto em aplicações em uma microcervejaria:

Neste item, busca-se a utilização do sistema *edge computing* no processo produtivo real, em uma brasagem a ser realizada em conjunto dos alunos do curso de produção cervejeira do campus.

5 – Validação do sistema proposto:

Verifica-se com os usuários do sistema proposto a facilidade de sua operação, a clareza das informações disponibilizadas, e levanta-se críticas e sugestões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A planta piloto utiliza um controlador lógico programável para o controle do processo, responsável em executar as malhas de controle de temperatura de cada etapa do processo, e adicionalmente comanda as bombas centrífugas para transferência do mosto entre etapas. Os dados disponibilizados principalmente pelo inversor de frequência que opera as bombas centrífugas parecem ser subutilizados, e modelos preditivos podem ser empregados para verificação da saúde de operação dos equipamentos, como condição de operação à seco e cavitação em bombas, como o trabalho apresentado por Dias et al. (2024).

Entretanto, a execução dos modelos preditivos é inviável a execução destes diretamente no controlador lógico programável, uma vez que demandariam elevado esforço computacional, e poderiam ocasionar prejudicar rotinas já implementadas no controle do processo.

Neste ponto, se propôs a execução dos modelos preditivos baseado em *edge computing*, assim usar o processamento destes equipamentos, e disponibilizar alguns blocos para automatizando as etapas de aquisição e interpretação de dados, e execução do modelo preditivo.

O projeto assim, utiliza a seguinte estrutura apresentado na figura 2 que conecta a estrutura de automação com a de *edge computing*. Para coleta de dados com alta taxa de amostragem, se utiliza *switch* gerenciável com porta espelhada que envia os dados da rede PROFINET (ou qualquer outra tipo de rede *realtime Ethernet*) para a estrutura *edge computing*. Adicionalmente, os dados podem ser acessados via protocolo de comunicação OPC UA, em outra porta de comunicação da estrutura *edge computing*.

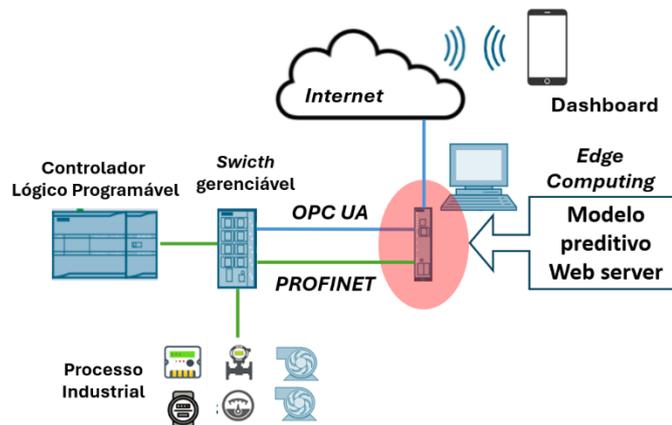


Figura 2. Estrutura *edge computing* integrado ao sistema de automação.

Desta maneira, os dados de sensores e atuadores são enviados para o Controlador Lógico Programável que executa o controle do processo. Esses dados também são disponibilizados via rede OPC UA para a estrutura *Edge computing* que faz a função de Web Server disponibilizando os dados via internet.

Além, disso os dados trocados pelo inversor de frequência, a priori apenas disponibilizados para controle de velocidade, podem ser utilizados para execução de algoritmos preditivos, como estimar a vazão nas tubulações. Neste caso, os dados são coletados diretamente da rede PROFINET pelo switch gerenciável com espelhamento de porta, em alta taxa de amostragem. Finalmente os algoritmos preditivos são executados na estrutura *Edge computing* utilizando a linguagem Python.

A figura 3 apresenta a tela do Node-Red, que apresenta a criação da lógica sequencial para execução dos modelos.

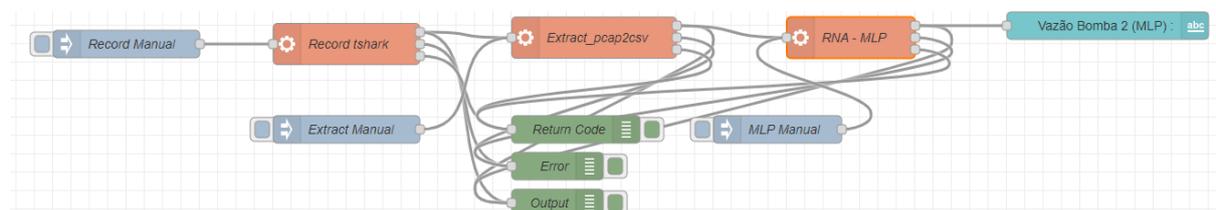


Figura 3. Tela de configuração do Node-Red.

A sequência ocorrerá da seguinte maneira, o bloco “Record tshark” coleta dos dados da rede de comunicação industrial por um segundo, e gera um arquivo do tipo PCAP. O bloco `Extract_pcap2csv`, é responsável por interpretar os dados da rede de comunicação, resultando nos valores das diversas variáveis disponibilizadas pelo inversor de frequência. A figura 4 apresenta a lista de dados extraídos para cada pacote de rede recebido pela plataforma de *edge computing*.

Para facilitar a criação de outros processadores de sistemas inteligentes, foi criado um arquivo .csv com os dados para que não seja necessária uma nova extração para cada sistema pois é um processo que demanda muito tempo.

	Speed	Current	Torque	PowerFactor	OutputVoltage	ActualVoltage
1	0.5692	0.5041	0.2061	0.4072	0.5187	0.5355
2	0.5692	0.5041	0.2061	0.4072	0.5187	0.5355
3	0.5692	0.5041	0.2061	0.4072	0.5187	0.5355
4	0.5692	0.5111	0.2038	0.3562	0.5191	0.5355
5	0.5692	0.5111	0.2038	0.3562	0.5191	0.5355

Figura 4. Tabela com os dados de rede interpretados cada linha representa dados recebidos por um pacote de dados da rede de comunicação industrial.

O bloco RNA_MLP é o bloco responsável pela execução dos algoritmos de *machine learning*. Basicamente a partir dos dados crus interpretados, se extrai atributos relevantes para se rodar o modelo predito, que já deve ter sido treinado anteriormente. No caso investigado, foi utilizada estatística univariada para extração de atributos e redes neurais artificiais do tipo Perceptron multicamadas para estimar a vazão da tubulação. Porém, este bloco deve ser modificado de maneira a que possam ser extraídos outros atributos e possam ser utilizados outros algoritmos de *machine learning*. Finalmente, o bloco “Vazão Boma” gera e disponibiliza a saída do sistema inteligente podendo ser indicada na interface gráfica do próprio Node-Red, via Web server ou também pode ser retornada ao controlador lógico programável via comunicação OPC-UA.

Assim, o Web server para monitoramento dos dados de processo, disponibiliza os dados da planta e também a saída do modelo preditivo executado, conforme mostra a figura 5.

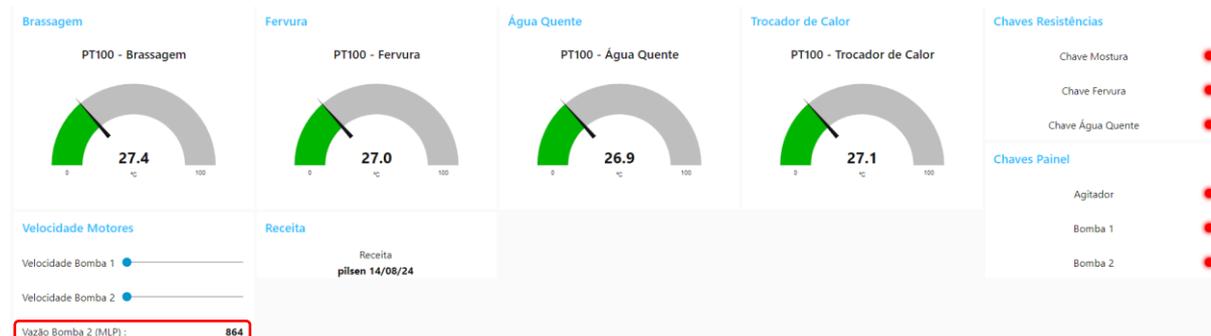


Figura 5. Destaque de como a informação está sendo indicada pela interface gráfica do Node-Red.

O sistema foi executado durante as aulas do curso Técnico em Cervejaria, em conjunto com o professor da disciplina. Não houve falhas na execução da estrutura e o Web server. Entretanto, a percepção do usuário não foi coletada uma vez que esta etapa não passou pelo Comitê de Ética em Pesquisa, assim, sendo encaminhado para apresentação em trabalhos futuros.

CONCLUSÕES

A estrutura Web Server suportada pela plataforma *Edge computing* demonstrou uma possibilidade de aumentar a transparência do processo disponibilizando os dados via internet. Assim, usuários podem acompanhar o processo produtivo de qualquer lugar.

Adicionalmente, o desenvolvimento de uma plataforma de *edge computing* contribui para execução de modelos preditivos de *machine learning* de uma maneira mais economicamente viável já que não precisa ser adquirido serviços de computação em nuvem. Adicionalmente, se apresentou uma metodologia para melhor utilização de dados do processo já disponibilizados via rede de comunicação industrial. A estrutura sugerida, não necessita alterações na lógica e não compromete o esforço computacional de controlador lógico programável, uma vez que coleta os dados diretamente da rede de comunicação industrial, suportando operadores do processo com informações sobre saúde de operação de equipamentos ou mesmo de estimando variáveis do processo de alto custo, baseado em variáveis de baixo custo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

G.M.P. e A.L.D. contribuíram com a metodologia, coleta de dados, software e escrita dos trabalhos. J.C.S.P. e A.C.T. contribuíram com a curadoria e análise dos dados.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte dado pelo Centro Multidisciplinar de Tecnologia Cervejeira e o financiamento do CNPq, pelo Edital UNIVERSAL **Processo:** 403430/2021-6.

REFERÊNCIAS

Dias, Andre Luis; Turcato, Afonso Celso; Sestito, Guilherme Serpa. A soft sensor edge-based approach to fault diagnosis for piping systems. *Flow Measurement and Instrumentation*, v. 97, p. 102618, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2024.102618>

Dias, Andre Luis. Turcato, Afonso Celso .Sestito, Guilherme Serpa . Brandao, Dennis. Nicoletti, Rodrigo. A cloud-based condition monitoring system for fault detection in rotating machines using PROFINET process data, *Computers in Industry*, V. 126, 2021, 103394, ISSN 0166-3615, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103394>.

Lei, Yaguo. Yang, Bin. Jiang, Xinwei. Feng Jia, Li, Naipeng. Nandi, Asoke K. . Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap, *Mechanical Systems and Signal Processing*, V. 138, 2020, 106587, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106587>.

Singh, Harpreet. Big data, industry 4.0 and cyber-physical systems integration: A smart industry context. *Materials Today: Proceedings*, v. 46, p. 157-162, 2021. ISSN 2214-7853. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.170>.

Teng, Xiaoyan. Wu, Zhong. Yang, Feng. Research on the Relationship between Digital Transformation and Performance of SMEs. *Sustainability*. 2022; 14(10):6012. <https://doi.org/10.3390/su14106012>