TECNOLOGIAS EMERGENTES NA INDÚSTRIA: DESAFIOS, OPORTUNIDADES E PROPOSIÇÃO DE FRAMEWORK DE APOIO À ADOÇÃO

Gabriel Fávaro Azzi (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Patricia Stefan de Carvalho (Orientadora). E-mail: pscarvalho@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia de Produção, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia de Produção e Gerência de Produção

Palavras-chave: Eficiência industrial; Sistemas produtivos; Sustentabilidade

RESUMO

O avanço das tecnologias emergentes tem impulsionado transformações significativas no ambiente industrial. No entanto, a adoção dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como a resistência organizacional, a escassez de competências técnicas e as incertezas quanto ao retorno dos investimentos. Diante disso, este projeto apresenta um framework para apoiar a adoção de tecnologias emergentes no contexto industrial, considerando as dimensões de produtividade, qualidade, flexibilidade e sustentabilidade. Para isso, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) visando levantar as principais tecnologias emergentes voltadas à eficiência industrial, identificar os desafios e oportunidades relacionados à sua implementação e, por fim, estruturar um modelo que auxilie gestores e organizações na tomada de decisão. A pesquisa se caracteriza como qualitativa, exploratória e bibliográfica, e busca contribuir com uma abordagem integrada sobre o tema, fornecendo subsídios teóricos e práticos para a indústria e para a academia.

INTRODUÇÃO

O cenário atual da indústria é caracterizado por rápidos avanços tecnológicos e pressões crescentes por competitividade (LEWANDOWSKA; BERNIAK-WOŹNY; AHMAD, 2023), o que exige a melhoria contínua da eficiência dos sistemas produtivos e a capacidade de adaptação às novas tecnologias. Nesse contexto, destaca-se a influência da Indústria 4.0, baseada na digitalização e automação, que vem transformando modelos de negócios e cadeias de suprimentos, exigindo uma abordagem estratégica para a adoção de tecnologias emergentes.

Entre essas tecnologias destacam-se a Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Gêmeo digital, manufatura aditiva, entre outras, que atuam como catalisadores de transformações significativas no ambiente industrial (VARRIALE *et al.*, 2023). Contudo, a implementação prática esbarra em desafios multidimensionais, entre

eles, custos elevados, carência de profissionais qualificados, incertezas quanto ao ROI e limitações de infraestrutura legada (ATTIANY *et al.*, 2023).
Dessa forma, este trabalho tem como objetivo desenvolver um framework de apoio à decisão, que será fundamentado em quatro dimensões operacionais (BATALHA, 2019): (i) Produtividade: otimização do uso de insumos e capacidade de gerar maior valor com menor ou igual consumo de recursos; (ii) Qualidade: garantia de estabilidade dos processos, mitigando defeitos, refugos e retrabalho em tempo real; (iii) Flexibilidade: capacidade de reconfiguração rápida do sistema produtivo frente a oscilações da demanda; e (iv) Sustentabilidade: promoção da ecoeficiência, redução da pegada de carbono e eficiência energética.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa caracteriza-se como uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), estruturada a partir do protocolo metodológico proposto por Dresch *et al.* (2014). A condução do estudo envolveu três fases principais: preparação do estudo, triagem sistemática e extração/análise das informações.
Na fase de preparação, definiu-se a *string* de busca: (("industry 4.0" OR "industry 5.0") AND ("emerging technologies" OR "artificial intelligence") AND (challenges OR opportunities) AND ("productivity" OR "efficiency" OR "flexibility" OR "adaptability" OR "quality" OR "reliability" OR "sustainability" OR "environmental impact")). A pesquisa foi realizada nas bases Web of Science (WoS) e Scopus, delimitando-se ao período de 2016 a 2025 e restrita a artigos de pesquisa e revisão. A busca inicial retornou 1.457 documentos (716 na WoS e 741 na Scopus), totalizando 934 trabalhos após a eliminação de duplicatas.
A triagem seguiu dois filtros sucessivos: o primeiro avaliou títulos, resumos e palavras-chave (selecionando 157 artigos aderentes ao tema); o segundo consistiu na leitura integral, resultando na seleção final de 45 artigos para síntese e análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos artigos selecionados revelou que a transformação industrial efetiva decorre da convergência entre pilares tecnológicos, e não do uso isolado de ferramentas. O quadro 1 sintetiza as tecnologias emergentes investigadas, suas contribuições às dimensões operacionais e os principais gargalos de implementação identificados.

Quadro 1 – Convergência tecnológica, dimensões e barreiras

Tecnologia Emergente	Impacto / Oportunidades	Desafios e Barreiras
Inteligência Artificial (IA) & ML	Manutenção preditiva; controle de qualidade em tempo real; otimização de parâmetros produtivos (Produtividade/Qualidade).	Necessidade de grandes volumes de dados limpos; caixa-preta dos algoritmos; escassez de talentos.
Gêmeos Digitais (Digital Twins)	Simulação virtual de cenários; redução de tempos de setup; prototipagem rápida e mitigação de testes físicos (Flexibilidade).	Alto custo de modelagem; exigência de sincronização contínua com ativos físicos em tempo real.
Industrial (IIoT) & CPS	Coleta contínua de dados operacionais; monitoramento do consumo de energia e insumos (Sustentabilidade/Produtividade).	Interoperabilidade com máquinas legadas; vulnerabilidades de cibersegurança e latência.
Blockchain & Manufatura Aditiva	Rastreabilidade da cadeia de suprimentos; economia circular; produção sob demanda (Flexibilidade/Sustentabilidade).	Estandardização regulatória; limitações de velocidade e escalabilidade de materiais.

A fim de superar as barreiras diagnosticadas e sistematizar o processo de tomada de decisão, um framework de 5 fases (quadro 2) é proposto. O modelo deve orientar um gestor desde o diagnóstico de maturidade até a avaliação contínua do valor gerado pela implementação tecnológica.

Quadro 2 – Framework de apoio à adoção de tecnologias emergentes

Fase	Objetivo Principal	Atividades Chave	Entregáveis / Saídas
Fase 1: Diagnóstico de Maturidade	Avaliar a prontidão digital e organizacional da empresa.	Auditoria de infraestrutura física/TI, levantamento de competências e análise da cultura organizacional.	Relatório de Maturidade Digital e identificação de gargalos.
Fase 2: Mapeamento por Dimensões Operacionais	Alinhar necessidades às 4 dimensões (Produtividade, Qualidade, Flexibilidade, Sustentabilidade).	Definição de metas por dimensão, priorização de problemas operacionais e mapeamento de KPIs estratégicos.	Matriz de Priorização por Dimensão Operacional.
Fase 3: Seleção e Arquitetura Tecnológica	Definir o arranjo de tecnologias convergentes mais adequado.	Análise de aderência (IA, IoT, DT, etc.), avaliação de requisitos de integração e plano conceitual da arquitetura.	Projeto de Arquitetura Tecnológica Integrada.
Fase 4: Mitigação de Barreiras e Implementação Piloto	Executar projeto-piloto e gerenciar riscos técnicos/humanos.	Capacitação de equipes, governança de dados, implantação de testes em escala reduzida e adequação cibernética.	Projeto Piloto Validado e Plano de Gestão de Mudanças.
Fase 5: Escalonamento e Avaliação Contínua	Expansão para a planta fabril e monitoramento de valor.	Acompanhamento de ROI/KPIs, refinamento de algoritmos e adaptação ao paradigma centrado no ser humano (Indústria 5.0).	Dashboard Contínuo de Desempenho e Modelo Escalonado.

Na Fase 1, realiza-se a avaliação da prontidão digital e organizacional da empresa, mapeando a infraestrutura existente e o nível de maturidade dos funcionários. Com base nos gargalos e oportunidades identificados, a Fase 2 estabelece as metas

prioritárias e as alinha às quatro dimensões operacionais (Produtividade, Qualidade, Flexibilidade e Sustentabilidade). Esse alinhamento orienta a Fase 3, na qual são selecionadas as tecnologias emergentes mais adequadas para atingir os objetivos e expectativas estabelecidas, considerando a realidade fabril. A fase 4 é responsável por mitigar os desafios existentes na adoção das tecnologias. Por fim, a fase 5 promove a avaliação contínua dos resultados com a finalidade de melhorar o projeto, permitindo que ele seja aprimorado à medida que é escalado.

CONCLUSÕES

Este estudo cumpriu seu objetivo ao mapear o panorama de oportunidades e desafios das tecnologias emergentes na indústria e propor um framework estruturado de apoio à adoção tecnológica. A principal contribuição teórica deste trabalho é a sistematização da adoção tecnológica sob a lente de quatro dimensões operacionais: Produtividade, Qualidade, Flexibilidade e Sustentabilidade. Na prática gerencial, o framework proposto serve como um guia para gestores implementarem as tecnologias da indústria 4.0 e também pode auxiliar acadêmicos que estejam interessados sobre os desafios e oportunidades dessas ferramentas emergentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Maringá (UEM), ao CNPq e a fundação araucária pelo apoio financeiro e incentivo ao desenvolvimento desta pesquisa

REFERÊNCIAS

ATTIANY, M. *et al*. Barriers to Industry 4.0 adoption in manufacturing: a systematic review. IEEE Transactions on Engineering Management, 2023.

BATALHA, M. O. Introdução à Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

DRESCH, A. *et al*. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 2014.

LEWANDOWSKA, A.; BERNIAK-WOŹNY, J.; AHMAD, A. Sustainability and digital transformation in manufacturing. Sustainability, v. 15, n. 3, p. 2100, 2023.

VARRIALE, V. *et al*. Industry 5.0 and Triple Bottom Line Approach in Supply Chain Management: The State-of-the-Art. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 1-22, 2023.