

Ferramentas Tecnológicas para a Modernização de Sistemas Produtivos: Estudo de Caso em Pequenas e Médias Indústrias Brasileiras

Vitor Castilho Felix* Luiz Fernando C S Durão[†]
Luiz Antonio Araujo Mattos[‡]

Resumo

O avanço tecnológico tem moldado o setor industrial global, e as pequenas e médias indústrias (PMEs) brasileiras enfrentam desafios significativos para se adaptar à Indústria 4.0. Este artigo apresenta dois estudos de caso que compartilham a mesma base teórica (revisão de literatura) e metodologia, aplicadas em contextos distintos. O primeiro estudo aborda o setor de extrudados em uma indústria de borracha, e o segundo explora a aplicação de gêmeos digitais e conceitos de metaverso em uma indústria de dispositivos médicos. Em ambos os casos, a implementação de ferramentas tecnológicas que auxiliam na maturidade industrial demonstra ganhos tangíveis em eficiência, redução de custos e otimização de processos. Os resultados evidenciam que a modernização produtiva não só é viável, como essencial para aumentar a competitividade das PMEs brasileiras no cenário global.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Fábrica Inteligente; Pequenas e Médias Empresas (PMEs); Otimização de Processos; Gêmeos Digitais; Metaverso; Maturidade Industrial.

*Escola Superior de Engenharia e Gestão (ESEG), Engenharia de Produção, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: vitorfelixyz@gmail.com

[†]Escola Superior de Engenharia e Gestão (ESEG), Engenharia de Produção, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: luizdurao@gmail.com

[‡]Escola Superior de Engenharia e Gestão (ESEG), Engenharia de Produção, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: luizmattos@gmail.com

1 Introdução

A Indústria 4.0 representa um marco na evolução produtiva, caracterizando-se pela fusão de tecnologias físicas e digitais. Este movimento, impulsionado pela conectividade e automação, tem transformado a dinâmica dos setores produtivos ao redor do mundo. No Brasil, entretanto, observa-se um processo de desindustrialização crescente, marcado pelo declínio da participação industrial no PIB nacional. Segundo o IMD World Digital Competitiveness Ranking (2024), o país ocupa a 57^a posição entre 67 nações, refletindo lacunas significativas em competitividade e inovação tecnológica.

O impacto dessa realidade é particularmente acentuado nas pequenas e médias empresas (PMEs), que respondem por mais de 60% do parque industrial nacional, mas enfrentam dificuldades estruturais para adotar ferramentas modernas. Este artigo tem como objetivo explorar como tecnologias acessíveis podem alavancar a eficiência produtiva das PMEs, analisando as etapas da maturidade industrial e discutindo as barreiras e oportunidades associadas à transição para a Indústria 4.0.

Este artigo apresenta dois estudos de caso distintos, ambos apoiados por uma mesma revisão de literatura e metodologia. O primeiro estudo aborda a implementação de tecnologias digitais em uma indústria de borracha, enquanto o segundo explora a aplicação de gêmeos digitais e metaverso em uma indústria de dispositivos médicos. Ao integrar ambos os casos em um único trabalho, busca-se evidenciar a aplicabilidade transversal dos conceitos estudados.

2 Revisão de Literatura

As revoluções industriais, desde a introdução de motores a vapor na primeira revolução até os avanços em inteligência artificial na quarta, moldaram os sistemas produtivos ao longo da história. A Indústria 4.0, em particular, é marcada pela integração entre o físico e o digital, promovendo o uso de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), big data e sistemas ciberfísicos. De acordo com a ACATECH (2019), a maturidade industrial pode ser dividida em estágios que incluem conectividade, visibilidade, transparência, previsibilidade e adaptabilidade.

No Brasil, estudos como o realizado pela OECD (2017) indicam que menos de 30% das PMEs têm acesso a inovações tecnológicas, refletindo desafios culturais, econômicos e logísticos. Esses dados destacam a urgência de políticas públicas e iniciativas privadas para modernizar o setor e permitir que as PMEs explorem plenamente o potencial da Indústria 4.0.

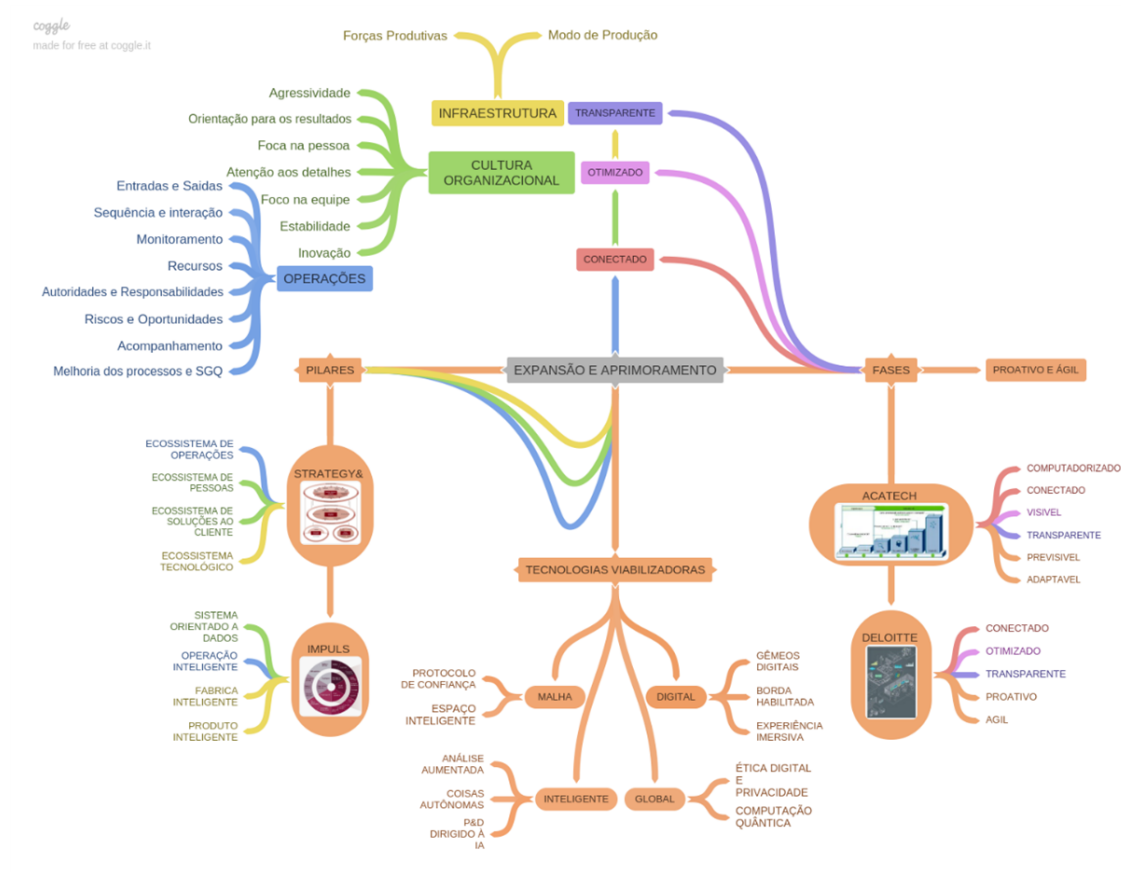


Figura 1: Mapa mental sintetizando os conceitos-chave abordados na revisão de literatura.

3 Metodologia

A metodologia aplicada em ambos os estudos de caso baseia-se em um modelo de maturidade industrial que abrange etapas de conectividade, otimização, transparência, proatividade e agilidade. Foram utilizadas abordagens qualitativas, incluindo análise de documentos internos, entrevistas com gestores e observação direta dos processos produtivos.

A coleta de dados considerou a implementação gradual de tecnologias como sensores, ERPs, BI, gêmeos digitais e ambientes virtuais (VR/AR), avaliando os impactos em rastreabilidade, controle de estoques, eficiência operacional, tomada de decisão e mudança cultural. Ambos os casos funcionam como exemplos de como a mesma estrutura teórico-metodológica pode ser aplicada em contextos diferentes, mantendo coerência e comparabilidade.

4 Estudo de Caso – Setor Extrudados

4.1 Resultados

Avanços nas Etapas de Maturidade Industrial: A implementação das etapas iniciais da maturidade industrial resultou em avanços significativos nos processos produtivos. A digitalização dos dados de produção, etapa denominada Conectado, permitiu uma maior rastreabilidade e controle em tempo real das operações. Isso foi evidenciado pela criação de uma base de dados integrada que correlaciona informações da produção de extrudados em metros e corte de peças em medidas parciais.

Eficiência Operacional e Tomada de Decisões: A integração horizontal dos sistemas produtivos, realizada na etapa Otimizado, contribuiu substancialmente para a eficiência operacional da empresa. A utilização de Sistemas Integrados de Gestão (ERP) e ferramentas de Business Intelligence (BI) permitiu o desenvolvimento de painéis de controle visual (dashboards) que monitoram indicadores-chave de desempenho (KPIs), como a produtividade em metros por código de produto. Esses painéis facilitaram a identificação de gargalos produtivos e a alocação eficiente de recursos, resultando em um aumento de aproximadamente 15% na produtividade geral do setor de extrudados.

Controle de Estoques em Tempo Real: Na fase Transparente, a implementação do sistema E-KANBAN possibilitou o controle de estoques em tempo real. Este sistema alertou o Planejamento e Controle da Produção (PCP) sobre o status dos itens, categorizando-os como verde (estável), amarelo (atenção) ou vermelho (crítico). Como resultado, a empresa conseguiu reduzir as rupturas de estoque em 20% e otimizar o planejamento de produção, diminuindo o tempo de resposta para reposição de materiais.

4.2 Discussão

Os resultados obtidos indicam que a adoção de ferramentas tecnológicas nas etapas iniciais da maturidade industrial trouxe benefícios tangíveis. A digitalização dos processos permitiu uma maior visibilidade das operações, facilitando a identificação de ineficiências e a implementação de ações corretivas de forma mais ágil. A integração dos sistemas produtivos, por sua vez, não apenas aumentou a eficiência, mas também aprimorou a qualidade das decisões estratégicas, baseando-as em dados concretos e atualizados.

Apesar dos avanços, a transição para etapas mais avançadas da maturidade industrial, como Proativo e Ágil, enfrentou desafios significativos. As restrições de

capital limitaram a capacidade da empresa de investir em tecnologias mais sofisticadas, como sistemas de inteligência artificial e automação autônoma. Além disso, a resistência cultural entre alguns colaboradores dificultou a adoção plena dessas tecnologias, evidenciando a necessidade de um planejamento mais robusto e de iniciativas de capacitação contínua.

5 Estudo de Caso – Dispositivos Médicos

5.1 Resultados

Expansão da Digitalização: A implementação das fases de maturidade industrial impulsionou mudanças significativas na produção de dispositivos médicos. Durante o estágio Conectado, destacou-se a digitalização de dados e a introdução de um sistema unificado de registro de informações operacionais. Esse movimento contemplou o acompanhamento do fluxo produtivo, a consolidação de indicadores de desempenho e a criação de quadros para controle de estoque. A rastreabilidade dos processos foi aprimorada ao se mapear etapas essenciais viabilizando maior visibilidade sobre onde e quando ocorria cada operação.

Refinamento de Padrões e Aceleração da Produtividade: Ao avançar para o estágio Otimizado, priorizou-se o aperfeiçoamento do controle produtivo por meio de quadros de gestão à vista, que tornaram mais claras as tarefas em andamento, reduzindo a probabilidade de atrasos e gargalos. Também houve a padronização de procedimentos a partir de uma instrução de trabalho unificada, definindo parâmetros críticos. Em paralelo, a criação de quadros de refugo possibilitou o monitoramento sistemático das perdas, favorecendo a identificação de causas recorrentes e a adoção de ações corretivas imediatas. Tais iniciativas resultaram na redução de retrabalhos, no aumento de produtividade e na consolidação de um fluxo de informações mais confiável entre as equipes de produção, qualidade e engenharia.

Transparência Operacional: A fase Transparente teve como principal marco a integração das informações de demanda e a coordenação de estoques intermediários para prevenir rupturas e atrasos. Nesse contexto, a empresa passou a correlacionar os pedidos mensais fixos ou sazonais com a disponibilidade de matéria-prima e a capacidade efetiva do chão de fábrica, o que aumentou a previsibilidade e forneceu subsídios para negociar prazos mais realistas.

A visibilidade ampliada evidenciou gargalos específicos e identificou-se que essas operações consumiam um tempo desproporcional em comparação às demais e, muitas vezes, concentravam filas de espera. A partir desse diagnóstico, adotaram-se estratégias de reestruturação interna e terceirização seletiva. Essa abordagem hí-

brida permitiu que os colaboradores internos se dedicassem às etapas de maior valor agregado, ao mesmo tempo em que processos simples, porém prolongados, recebiam tratamento especializado.

Impacto Proativo nas Operações: Na fase Proativo, o foco recaiu sobre a capacidade de antecipar problemas e ajustar metas de modo dinâmico, apoiando-se em soluções tecnológicas para fortalecer a tomada de decisões. Para viabilizar essa visão preditiva, desenvolveu-se um aplicativo que permite registrar, em tempo real, o tempo exato de execução de cada etapa de produção.

Esse monitoramento detalhado viabilizou um refinamento das metas de produção, ao correlacionar a versatilidade dos colaboradores com a eficiência no uso de máquinas e insumos. A adoção de gêmeos digitais trouxe um diferencial às rotinas de capacitação: a equipe pôde testar virtualmente novos processos e treinamentos imersivos em cenários de emergência sem interromper a linha fabril. Com a criação desse ambiente virtual e integrado, a organização obteve ganhos produtivos além de fortalecer o senso de pertencimento e engajamento dos colaboradores no avanço da maturidade industrial

5.2 Discussão

Com a adoção prévia de métodos de coleta e registro sistemático, a empresa conseguiu estabelecer uma base de informações suficientemente ampla para embasar decisões mais assertivas e corrigir desvios operacionais de modo célere. Esse acervo de dados funcionou como um alicerce para a incorporação de tecnologias complementares, reforçando a confiabilidade dos indicadores utilizados na gestão fabril. A capacidade de monitorar, de forma contínua, etapas críticas reduziu o tempo de reação diante de imprevistos e permitiu antever pontos de melhoria antes que se convertessem em problemas mais complexos.

A aspiração de alcançar patamares mais elevados de automação e inteligência computacional enfrenta limitações de ordem financeira e demanda um corpo técnico especializado, capaz de conduzir análises preditivas com base em algoritmos avançados. A própria estratégia de diversificação de clientes, ainda que valiosa para mitigar riscos de concentração, amplifica a complexidade na gestão de estoques e de fluxos produtivos, requerendo uma sintonia fina entre equipes de planejamento, qualidade e execução. A existência de uma cultura organizacional resistente à mudança também reforça a necessidade de iniciativas de formação e de sensibilização, garantindo que novos processos ou sistemas sejam efetivamente entendidos e incorporados pelos colaboradores.

6 Comparação entre os Casos e Implicações

Em ambos os casos, a cultura organizacional mostrou-se um fator-chave, assim como a necessidade de suporte institucional e recursos financeiros para alcançar estágios mais avançados de maturidade industrial. Essa análise conjunta sugere que, independentemente do segmento industrial, a modernização requer um esforço coordenado entre tecnologia, pessoas e gestão, sustentado por políticas públicas e parcerias estratégicas.

Necessidade de Suporte Institucional: Os desafios encontrados durante a implementação ressaltam a importância do suporte institucional para as PMEs brasileiras. Políticas públicas que incentivem investimentos em tecnologia e ofereçam capacitação para gestores e funcionários podem facilitar a transição para estágios mais avançados da maturidade industrial. Além disso, parcerias com instituições acadêmicas e centros de pesquisa podem fornecer o suporte necessário para o desenvolvimento de soluções tecnológicas adaptadas às necessidades específicas das PMEs.

Implicações Práticas para Outras PMEs: Este estudo serve como um modelo para outras PMEs que desejam iniciar sua jornada rumo à Indústria 4.0. A implementação gradual das etapas de maturidade industrial, começando pela digitalização e integração de dados, pode proporcionar ganhos operacionais significativos mesmo em empresas com recursos limitados. Além disso, a promoção de uma cultura organizacional orientada por dados é crucial para maximizar os benefícios das tecnologias adotadas.

7 Conclusão

A modernização dos sistemas produtivos das PMEs brasileiras é imperativa para melhorar sua competitividade global. Ao integrar dois estudos de caso sob uma mesma estrutura teórico-metodológica, este trabalho demonstra a versatilidade das abordagens de maturidade industrial, assim como a importância de tecnologias digitais, gêmeos digitais e metaverso.

Ambos os casos apresentaram ganhos em eficiência, redução de custos, otimização de processos e melhoria na satisfação dos colaboradores. No entanto, desafios como restrições de capital, resistência cultural e ausência de suporte institucional ainda precisam ser superados.

Estudos futuros podem explorar a aplicação dessas abordagens em outros setores, investigar a viabilidade de integrar inteligência artificial e automação completa, além de avaliar a sustentabilidade das mudanças ao longo do tempo.

8 Materiais Suplementares

Os materiais suplementares relacionados ao ambiente tridimensional e ao uso de gêmeos digitais para treinamento e capacitação estão disponíveis em um repositório restrito. Esse conjunto inclui:

- **Software de coleta de dados de produtividade;**
- **Código VBA para cruzamento de dados;**
- **Materiais de treinamento com gêmeos digitais.**

O acesso a esse conteúdo contém informações sensíveis e está protegido por propriedade intelectual. Para obter acesso gratuito para visualização do ambiente virtual e dos documentos técnicos adicionais, solicitamos que os leitores entrem em contato com os autores por meio do formulário indicado a seguir:

- **Formulário para solicitação de acesso:**
<https://www.deform.cc/>
- **Hash Propriedade Intelectual Polygon:**
0xc1ecf1f5412b5130f08070cebe83ff83e360c76a7df9ea6e397eb473c3da3282

Referências

- [1] ABDI. Sondagem de Inovação. Disponível em: https://api.abdi.com.br/file-manager/upload/files/Sondagem_Inovacao_2_Trim_2019.pdf. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [2] ACATECH - Industrie 4.0 Maturity Index. Disponível em: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [3] ABNT NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2015.
- [4] BNDES - Perspectivas do Investimento 2018-2021. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15580/1/Perspectivas_Investimento_2018-2021_Final_P.pdf. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [5] Deloitte - Digital disruption Short fuse, big bang?. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/Building%20Lucky%20Country/deloitte-au-consulting-digital-disruption-whitepaper-230217.pdf>. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [6] Deloitte - The smart factory Responsive, adaptive, connected manufacturing. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [7] GARTNER - Top 10 Strategic Technology Trends for 2019. Disponível em: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [8] IMD WORLD DIGITAL COMPETITIVENESS RANKING. Disponível em: <https://www.riotimesonline.com/wp-content/uploads/2024/11/20241113-WCC-Digital-Report-2024.pdf>. Acesso em: 04 de dez. 2024.
- [9] IMPULS - INDUSTRIE 4.0 READINESS. Disponível em: <https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/Industrie%204.0%20Readiness%20Study%20English.pdf/f6de92c1-74ed-4790-b6a4-74b30b1e83f0>. Acesso em: 07 de fev. 2019.

- [10] Internet of Things process selection: AHP selection method. Disponível em: <https://rdcu.be/6hL3>. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [11] OECD - ENHANCING THE CONTRIBUTIONS OF SMEs IN A GLOBAL AND DIGITALISED ECONOMY. Disponível em: <https://www.oecd.org/mcm/documents/C-MIN-2017-8-EN.pdf>. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [12] PRADO, Edmir P.V.; SOUZA, Cesar A. de. (org). Fundamentos de Sistemas de Informação. Rio de Janeiro: Campus / Elsevier, 2014.
- [13] ROBBINS, Stephen P. Comportamento Organizacional: Teoria e Prática no Contexto Brasileiro. São Paulo: Pearson, 2010.
- [14] Strategy& - Global Digital Operations Study Digital Champions. Disponível em: <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/industry4-0/global-digital-operations-study-digital-champions.pdf>. Acesso em: 07 de dez. 2019.
- [15] What is the Internet of Things? Internet of Things definitions. Disponível em: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things/>. Acesso em: 07 de dez. 2019.