



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Estudo de caso sobre a Gestão de Manufatura e Operações de uma empresa termoplástica no Polo Industrial de Manaus: Maturidade na implementação da Indústria 4.0.

Ericka Lorryne Vieira Teixeira

Universidade do Estado do Amazonas

Isaqueu Silva e Silva

Universidade do Estado do Amazonas

Sandro Breval Santiago

Departamento –Administração Instituição: Universidade Estadual do Amazonas

Resumo: Este estudo de caso exploratório investigou a maturidade da implementação da Indústria 4.0 em uma empresa do setor termoplástico no Polo Industrial de Manaus (PIM). Os dados foram coletados de forma sigilosa por meio de um questionário online, respeitando as éticas de proteção de dados dos entrevistados, e utilizando informações fornecidas pela plataforma PIMM 4.0 (Programa de Implantação da Manufatura Moderna). A pesquisa incluiu visitas técnicas para observação direta das operações automatizadas e análise documental de relatórios internos e indicadores de performance (KPI). O Modelo de Maturidade da Indústria 4.0 foi aplicado para avaliar o nível de transformação digital, considerando cinco estágios: Inicial, Conectado, Integrado, Otimizado e Autônomo. Os resultados indicaram que, apesar de avanços na automação e na integração de sensores IoT, a empresa enfrenta desafios relacionados à capacitação de colaboradores e à total integração de sistemas. O estudo sugere ações estratégicas para elevar a maturidade digital e consolidar a competitividade da organização em mercados globais.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Polo Industrial de Manaus (PIM); PIMM 4.0

Case study on the Management of Manufacturing and Operations in a thermoplastic company in the Manaus Industrial Pole: Maturity of Industry 4.0 implementation.

Abstract: This exploratory case study investigated the maturity of the implementation of Industry 4.0 in a thermoplastic sector company in the Industrial Hub of Manaus (PIM). Data were collected confidentially through an online questionnaire, adhering to data protection ethics for the interviewees, and utilizing information provided by the PIMM 4.0 platform (Modern Manufacturing Implementation Program). The research included technical visits for direct observation of automated operations and documentary analysis of internal reports and performance indicators (KPIs). The Industry 4.0 Maturity Model was applied to assess the level of digital transformation, considering five stages: Initial, Connected, Integrated, Optimized, and Autonomous. The results indicated that, despite advances in automation and the integration of IoT sensors, the company faces challenges related to employee training and the full integration of systems. The study suggests strategic actions to elevate digital maturity and consolidate the organization's competitiveness in global markets.

Keywords: Industry 4.0; Manaus Industrial Hub (PIM); PIMM 4.0

.1. Introdução

O conceito de Indústria 4.0 tem revolucionado a gestão industrial ao integrar tecnologias avançadas, como Internet das Coisas (IoT), big data, inteligência artificial (IA) e sistemas ciberfísicos (CPS), visando a criação de fábricas inteligentes e altamente conectadas. Essas inovações permitem a automação e a tomada de decisões baseadas em dados em tempo real, promovendo um fluxo contínuo de informações entre máquinas, sistemas e humanos (Kagermann et al., 2013). A Indústria 4.0, também chamada de Quarta Revolução Industrial, representa um novo paradigma produtivo e está moldando o futuro de setores industriais em todo o mundo. No Polo Industrial de Manaus (PIM), a presença de uma grande diversidade de indústrias, incluindo os setores eletroeletrônico e termoplástico, cria uma oportunidade ímpar para essas tecnologias otimizarem operações e aumentarem a competitividade regional.

De acordo com Rossi e Taschek (2021), a adoção da Indústria 4.0 em mercados emergentes, como o Brasil, oferece o potencial de transformar cadeias produtivas e alavancar a economia por meio da redução de custos operacionais e da melhoria contínua da qualidade. No entanto, a implementação dessas tecnologias exige mais do que a aquisição de equipamentos modernos. É necessária uma reconfiguração profunda da gestão da manufatura, envolvendo processos, pessoas e sistemas de informação.

Neste contexto, a transformação digital de uma empresa não se limita à adoção isolada de tecnologias, mas deve ocorrer de forma integrada e estratégica. A manufatura tradicional precisa evoluir para um modelo operacional mais ágil, interconectado e orientado por dados, o que pode representar tanto uma oportunidade quanto um desafio. A capacidade de utilizar dados para tomada de decisão em tempo real, associada à automação inteligente, proporciona uma vantagem competitiva, mas a falta de planejamento adequado pode comprometer o sucesso da implementação (Lerman & Kerga, 2022).

O presente estudo busca analisar o nível de maturidade digital de uma empresa do setor termoplástico localizada no PIM, identificando as barreiras e os benefícios relacionados ao uso das tecnologias da Indústria 4.0. A investigação se dados coletados do PIMM 4.0, a fim de compreender como as operações e a gestão da manufatura estão sendo impactadas pela adoção dessas inovações. Com isso, o estudo visa contribuir para o entendimento de como a transformação digital pode ser gerida de maneira eficaz, promovendo melhorias operacionais e maior competitividade para a empresa analisada e o setor industrial local como um todo.

2.Referencial Teórico

Indústria 4.0: Definição e Impactos na Manufatura

O conceito de Indústria 4.0 surgiu na Alemanha em 2011, representando uma nova fase da produção industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais ao longo de toda a cadeia de valor. Elementos como Internet das Coisas (IoT), big data, inteligência artificial (IA), manufatura aditiva e sistemas ciberfísicos (CPS) permitem maior eficiência, flexibilidade e personalização dos processos produtivos (Kagermann et al., 2013). Essas inovações viabilizam a transição para um modelo de produção inteligente, no qual máquinas e sistemas se comunicam autonomamente e realizam ajustes em tempo real (Lasi et al., 2014).

A Indústria 4.0 não se resume apenas à adoção de tecnologias emergentes, mas envolve uma transformação profunda nas estruturas organizacionais e culturais das empresas, demandando novas habilidades dos colaboradores e reconfigurações nos modelos de gestão. Estudos recentes mostram que empresas que investem em digitalização e automação aumentam significativamente sua eficiência operacional e competitividade (Frank et al., 2019).

Modelos de Maturidade na Indústria 4.0

Para avaliar o grau de adoção das tecnologias digitais, diversos modelos de maturidade foram desenvolvidos. Um dos mais difundidos é o Modelo de Maturidade de Indústria 4.0 proposto por Schumacher, Erol e Sihn (2016), que classifica as organizações em cinco níveis:

1. Inicial: Processos manuais, ausência de digitalização.
2. Conectado: Introdução de sensores IoT e coleta de dados básica.
3. Integrado: Sistemas interligados e comunicação em tempo real.
4. Otimizado: Utilização de big data e IA para decisões automatizadas.
5. Autônomo: Operações autossuficientes com capacidade de autoaprendizagem.

Segundo Frank et al. (2020), a aplicação desses modelos é essencial para que as empresas entendam em que estágio se encontram e elaborem planos estratégicos para evoluir na jornada de digitalização. A mensuração da maturidade permite identificar lacunas e definir prioridades para o investimento em tecnologias e qualificação da força de trabalho.

O Polo Industrial de Manaus (PIM) e o Programa PIMM 4.0

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é uma das principais zonas de desenvolvimento econômico e industrial do Brasil, reunindo empresas dos setores eletroeletrônico, químico, termoplástico e de duas rodas (Suframa, 2023). Diante dos desafios impostos pela globalização e pela necessidade de maior eficiência, o PIMM 4.0 (Programa de Implantação da Manufatura Moderna) foi criado para apoiar a digitalização das indústrias locais.

O PIMM 4.0 é uma plataforma colaborativa que fornece ferramentas para avaliação e promoção da maturidade digital das empresas, com foco na adoção de tecnologias da Indústria 4.0. Ele disponibiliza diagnósticos personalizados, benchmarks de mercado e indicadores de desempenho (KPIs), ajudando as empresas a identificarem gargalos e oportunidades na automação dos processos produtivos (Suframa, 2023).

Desafios na Implementação da Indústria 4.0 no Brasil

Embora o potencial das tecnologias 4.0 seja significativo, as empresas brasileiras enfrentam obstáculos para sua implementação. Segundo CNI (2022), os principais desafios incluem:

- Capacitação da força de trabalho: A adoção de tecnologias avançadas requer colaboradores com habilidades técnicas específicas.
- Investimentos elevados: A implementação de soluções como IoT e big data demanda recursos significativos.
- Resistência à mudança organizacional: A transformação digital exige mudanças culturais e estruturais, o que pode gerar resistência interna.

O PIMM 4.0 tem desempenhado um papel importante em mitigar esses desafios, promovendo programas de capacitação e oferecendo incentivos para a adoção de novas tecnologias. Além disso, o programa facilita o acesso a diagnósticos detalhados sobre o nível de maturidade digital, permitindo que as empresas tracem estratégias de longo prazo para consolidar sua posição no mercado global.

Benefícios Esperados da Transformação Digital

Empresas que avançam na implementação da Indústria 4.0 obtêm benefícios expressivos, como:

- Aumento de produtividade: Redução de tempos de ciclo e melhoria na eficiência dos processos.
- Redução de custos operacionais: Menor consumo de energia e matéria-prima.

- Maior flexibilidade produtiva: Capacidade de adaptação rápida às demandas do mercado.
- Sustentabilidade: Monitoramento e redução de desperdícios e emissões.

Esses ganhos são particularmente relevantes para empresas do setor termoplástico, cujos processos demandam alta precisão e controle rigoroso dos insumos (Khan et al., 2022). A integração de tecnologias como IoT e big data permite otimizar processos e reduzir desperdícios, aumentando a sustentabilidade e a competitividade das empresas.

O avanço da Indústria 4.0 tem demonstrado que a digitalização é essencial para o futuro da manufatura, especialmente em contextos como o PIM, onde a concorrência global é intensa. O uso da plataforma PIMM 4.0 oferece uma base estratégica para que as empresas avaliem sua maturidade digital e desenvolvam planos de ação direcionados. Embora existam desafios significativos, como a necessidade de capacitação e altos custos de investimento, os benefícios da transformação digital são claros e podem consolidar a posição das empresas brasileiras no mercado internacional.

3. Metodologia

O presente estudo utilizou um estudo de caso exploratório para investigar a implementação e o nível de maturidade da Indústria 4.0 em uma empresa do setor termoplástico no Polo Industrial de Manaus (PIM). Para garantir maior confiabilidade na análise e na coleta de dados, foi utilizada a plataforma PIIM 4.0 como fonte principal de informações sobre o processo de digitalização. O PIIM 4.0 (Projeto de Implementação da Indústria 4.0 no PIM) é uma iniciativa colaborativa que oferece ferramentas e diretrizes para empresas locais realizarem a transformação digital, facilitando a coleta e a padronização de dados sobre maturidade digital e eficiência operacional (CNI, 2022).

Dados Coletados

1. Dados coletados da base de dados do PIMM 4.0. de forma sigilosa e ética, respeitando a privacidade dos profissionais entrevistados.

O PIMM 4.0 forneceu um roteiro padronizado para conduzir as entrevistas, garantindo que as questões abordassem aspectos críticos da maturidade digital e estivessem alinhadas às melhores práticas internacionais (Schumacher et al., 2016).

O PIMM 4.0 forneceu ferramentas de monitoramento em tempo real, como dashboards de desempenho, que permitiram validar os dados observados durante as visitas.

Modelo de Avaliação de Maturidade

Para avaliar o estágio atual de digitalização, foi utilizado o Modelo de Maturidade da Indústria 4.0 adotado pelo PIIM 4.0. Esse modelo é baseado na classificação proposta por Schumacher, Erol e Sihn (2016), que define cinco níveis principais de maturidade:

1. Inicial: A digitalização é inexistente ou limitada; os processos são manuais e não integrados.
2. Conectado: Introdução de sensores e dispositivos IoT, mas com baixa integração entre sistemas.
3. Integrado: Sistemas conectados e comunicação eficiente entre setores, com dados disponíveis em tempo real.
4. Otimizado: Operações otimizadas por meio de IA e big data, melhorando a eficiência e a tomada de decisões.
5. Autônomo: A produção é autônoma e adaptativa, com uso de IA e autoaprendizagem para gestão em tempo real.

O PIIM 4.0 disponibilizou uma ferramenta de avaliação padronizada para verificar o nível de maturidade da empresa, o que possibilitou identificar o estágio atual e definir estratégias para alcançar níveis mais avançados de automação e eficiência.

A abordagem metodológica combinou dados primários (entrevistas e observação direta) com dados secundários fornecidos pela plataforma PIIM 4.0, garantindo maior robustez e consistência na análise. A triangulação desses dados permitiu uma visão integrada das operações da empresa e das lacunas existentes no processo de transformação digital. O uso do PIIM 4.0 foi essencial para padronizar as informações coletadas e compará-las com benchmarks de mercado, fornecendo insights valiosos sobre como a digitalização pode ser aprimorada no setor termoplástico.

4.Resultados

Localizada no Polo Industrial de Manaus, a empresa de termoplásticos em questão representa um caso exemplar para a análise da maturidade da Indústria 4.0 no setor. Ao concentrar-se na dimensão de manufatura e operações do PIMM4.0, este estudo busca contribuir para a compreensão dos desafios e oportunidades enfrentados pelas empresas brasileiras na busca pela excelência operacional e inovação tecnológica.

Tabela 1 – Descrição das variáveis Manufaturas e Operações.

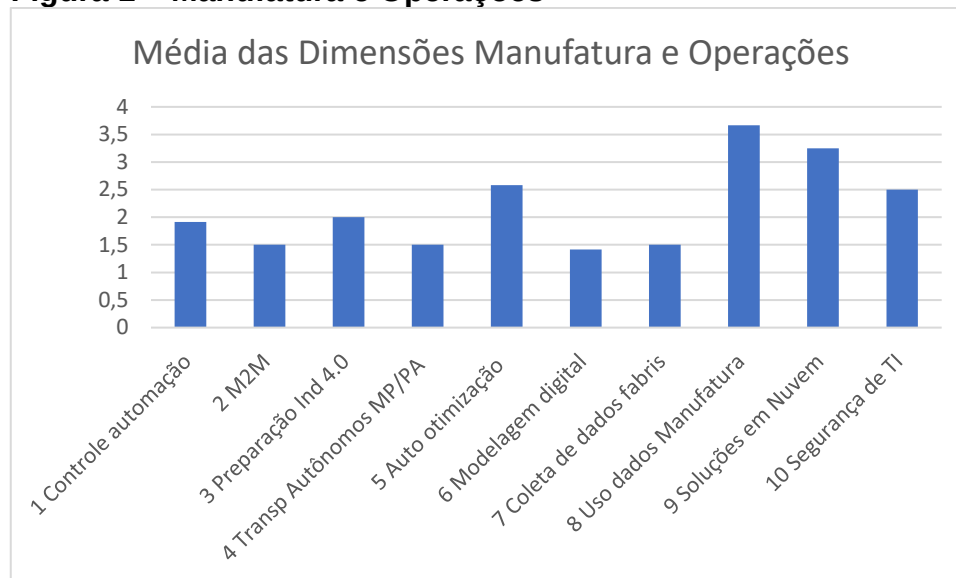
Manufaturas e Operações	
Subdimensões	Descrição
Controle via automação	Indica a presença do controle – via automação – na infraestrutura, equipamentos e sistemas no processo de produção
Machine-to-Machine (M2M)	Indica a integração quanto à comunicação, entre o parque de máquinas, na planta fabril
Preparação para a Indústria 4.0	Indica o grau de preparação da organização quanto à preparação para a indústria 4.0 (gestão, processo e tecnologias inerentes)
Transporte autônomo de MP/PA	Indica o uso de transportes autônomos (matéria-prima ou partes e peças) no âmbito da planta fabril.
Auto otimização	Indica o grau de auto otimização das operações de manufatura, contemplando capacidade preditiva e ajustamento automático dos processos
Modelagem Digital	Indica o grau de utilização da modelagem digital no âmbito da manufatura e processos adjacentes, considerando aspectos de digital twin.
Coleta de Dados fabris	Indica a sistemática de coleta de dados fabris – shop floor – considerando a tipologia de coleta, tecnologias e o alcance sistêmico.
Utilização dos dados da Manufatura	Indica a finalidade quanto ao uso dos dados da manufatura, se os mesmos são utilizados para melhoria contínua.
Sistemas em Nuvem	Indica as soluções utilizadas - via sistema em nuvem – para processamento de dados e suporte para migração de on-line para in-line.
Segurança de Ti	Indica a utilização de soluções de segurança em Ti nos processos de produção, manufatura e operações, bem como sua estrutura tecnológica.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 1 apresenta as subdimensões de manufatura e operações destacando que o controle via automação avalia o uso de sistemas automatizados no processo produtivo a integração M2M mede a comunicação entre máquinas a preparação para a Indústria 4.0 analisa a prontidão em gestão processos e tecnologia o transporte autônomo verifica o uso de veículos automáticos para movimentação interna a auto-otimização avalia ajustes automáticos nos processos a modelagem digital indica a aplicação de gêmeos digitais a coleta de dados fabris mede como e com que alcance os dados são capturados o uso dos dados avalia se são aplicados para melhoria contínua sistemas em nuvem

analisam a aplicação de soluções cloud e a segurança de TI verifica a proteção dos processos e dados produtivos

Figura 1 – Manufatura e Operações



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 1 apresenta dados sobre manufatura e operações distribuídos por subdimensões com níveis de satisfação de 1 a 4. No controle via automação, a empresa apresenta nível 3, indicando boa automatização, mas ainda com áreas manuais. A integração M2M está em nível 2, sugerindo comunicação parcial entre máquinas e necessidade de maior integração. A preparação para a Indústria 4.0 está em nível 3, mostrando progresso na gestão e nos processos, mas com lacunas na capacitação da equipe. O transporte autônomo tem nível 1, apontando uso inicial e espaço para ampliação significativa. A auto-otimização e a modelagem digital estão em nível 2, indicando aplicação limitada de IA e digital twins. A coleta de dados fabris está em nível 3, sendo eficiente, mas com potencial para integração mais ampla em tempo real. A utilização dos dados também está em nível 3, mas focada em análises periódicas. Os sistemas em nuvem têm nível 2, refletindo a necessidade de maior migração para operações in-line. A segurança de TI encontra-se em nível 3, com boas práticas implementadas, mas precisando acompanhar a crescente digitalização.

5.Conclusão

A empresa apresentou avanços significativos em automação e coleta de dados, refletindo um compromisso inicial com a modernização de seus processos. No entanto, para que esses esforços se traduzam em eficiência operacional real, é fundamental intensificar a integração de sistemas. Essa integração permitirá a criação de um ecossistema digital coeso, onde diferentes tecnologias e plataformas possam trabalhar em harmonia, otimizando fluxos de trabalho e minimizando redundâncias. Investir na capacitação contínua dos colaboradores é igualmente crucial. À medida que a tecnologia avança, a força de trabalho deve se adaptar, adquirindo novas habilidades e conhecimentos. A adoção de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, pode elevar a organização a níveis mais avançados de maturidade digital, permitindo que a empresa não apenas automatize processos, mas também faça previsões e análises que antes eram impossíveis. Isso cria uma cultura de inovação e adaptabilidade que é vital em um ambiente de negócios em rápida evolução.

Além disso, a utilização eficaz de dados e a migração para a nuvem necessitam de melhorias substanciais. A nuvem não é apenas um repositório de dados, mas uma plataforma que possibilita acesso em tempo real a informações cruciais, impulsionando a tomada de decisões e a agilidade organizacional. Portanto, a empresa deve priorizar a análise de dados e a segurança da informação como partes integrantes de sua estratégia de transformação digital. A empresa vem trilhando um caminho promissor, a empresa ainda enfrenta desafios significativos que precisam ser superados. Para se consolidar na Indústria 4.0, é imprescindível que feche essas lacunas e amplie seus investimentos em tecnologias de ponta.

A integração de sistemas, o desenvolvimento de competências internas e a adoção de soluções baseadas em inteligência artificial são passos críticos que, se executados com determinação, poderão posicionar a empresa como um líder inovador no cenário industrial contemporâneo. Com uma estratégia clara e um foco na transformação digital, a empresa não apenas acompanhará a evolução da Indústria 4.0, mas poderá se destacar como um modelo a ser seguido, criando um impacto positivo em sua cadeia de valor e no mercado como um todo. Com isso foi possível perceber que a visão não é apenas uma meta, mas uma necessidade estratégica para prosperar em um futuro cada vez mais digital e conectado.

Referências

CNI. **Indústria 4.0 e transformação digital no Brasil**: relatório de competitividade industrial. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2022.

_____. **Indústria 4.0 e transformação digital no Brasil**: relatório de competitividade industrial. Brasília: CNI, 2022.

A. G Frank.; Mendes, G. H. S.; Ayala, N. F.; Ghezzi, A. **Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: a business model innovation perspective**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 141, p. 341-351, 2019.

KAGERMANN, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013.

_____, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**: final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: Acatech, 2013.

S. A. R Khan,., Y Zhang.;A Kumar. **Sustainable Industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives**. *Journal of Cleaner Production*, v. 358, p. 131723, 2022.

LASI, H.; Fettke, P.; KEMPER, H. G.; FELD, T.; Hoffmann, M. **Industry 4.0**. *Business & Information Systems Engineering*, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LERMAN, S.; Kerga, E. **Digital manufacturing in the polymer industry**: challenges and solutions. *Journal of Operations Management*, 2022.

ROSSI, M.; Taschek, R. **A adoção da Indústria 4.0 em mercados emergentes**. *Revista de Gestão e Inovação*, 2021.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. **A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises**. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 161-166, 2016.

SUFRAMA. **Programa PIMM 4.0**: transformação digital no Polo Industrial de Manaus. Manaus: Superintendência da Zona Franca de Manaus, 2023.

Yin, R. K. **Case study research: design and methods**. 5. ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2015.