

Sandro Breval Santiago
(Organizador)

Maturidade e Prontidão da Indústria 4.0:

Casos Práticos no Brasil



AYA EDITORA
2026

Maturidade e Prontidão da Indústria 4.0:

Casos Práticos no Brasil



Cloud Computing



Big Data

Sandro Breval Santiago
(Organizador)

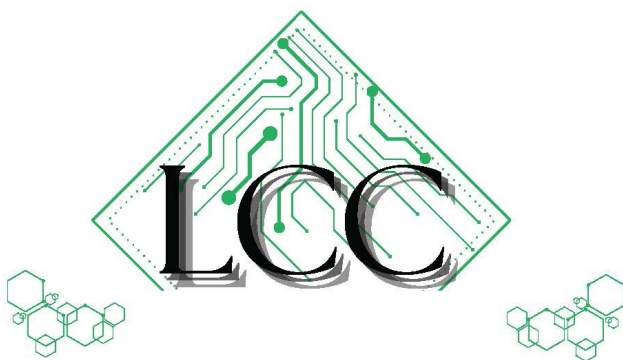
Maturidade e Prontidão da Indústria 4.0:

Casos Práticos no Brasil



AYA EDITORA
2026

A Pós-Graduação em Processos Produtivos Inteligentes (PPI) foi objeto de um projeto (P&D) desenvolvido pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), financiado pelo (CTIS) por meio de convênio celebrado com a Universidade (UEA) e desenvolvido no Centro Superior de Parintins (CESP).



Laboratório de
Computação Científica

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Dr. Sandro Breval Santiago

Coordenador do Curso

Prof.º Dr. Elton Márcio da Silva Santos

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Capa

AYA Editora©

Área do Conhecimento

Engenharias

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva (UNIDAVI)

Prof.ª Dr.ª Adriana Almeida Lima (UEA)

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza (UCPEL)

Prof.º Dr. Alaerte Antonio Martelli Contini (UFGD)

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos (IFAP)

Prof.º Dr. Carlos Eduardo Ferreira Costa (UNITINS)

Prof.º Dr. Carlos López Noriega (USP)

Prof.ª Dr.ª Claudia Flores Rodrigues (PUCRS)

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chioli (UTFPR)

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota (IFPI)

Prof.ª Dr.ª Déa Nunes Fernandes (IFMA)

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis (UEMG)

Prof.º Dr. Denison Melo de Aguiar (UEA)

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos (UNIFAP)

Prof.º Dr. Gilberto Zammar (UTFPR)

Prof.º Dr. Gustavo de Souza Preussler (UFGD)

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota (IF Baiano)

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza (UFS)

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso (UNISC)

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão (UFPE)

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR)

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior (UFRR)

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra (IFCE)

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho (UFRPE)

Prof.^a Dr.^a Maralice Cunha Verciano (CEDEUAM-Unisalento -Lecce - Itália)
Prof.^a Dr.^a Marcia Cristina Nery da Fonseca Rocha Medina (UEA)
Prof.^a Dr.^a Maria Gardênia Sousa Batista (UESPI)
Prof.^o Dr. Myller Augusto Santos Gomes (UTFPR)
Prof.^o Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda (UEPG)
Prof.^o Dr. Rafael da Silva Fernandes (UFRA)
Prof.^o Dr. Raimundo Santos de Castro (IFMA)
Prof.^a Dr.^a Regina Negri Pagani (UTFPR)
Prof.^o Dr. Ricardo dos Santos Pereira (IFAC)
Prof.^o Dr. Rômulo Damasclin Chaves dos Santos (ITA)
Prof.^a Dr.^a Silvia Gaia (UTFPR)
Prof.^a Dr.^a Tânia do Carmo (UFPR)
Prof.^o Dr. Ygor Felipe Távora da Silva (UEA)

Conselho Científico

Prof.º Me. Abraão Lucas Ferreira Guimarães
Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz (UniCesumar)
Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva (UFRGS)
Prof.ª Ma. Denise Pereira (FASU)
Prof.º Dr. Diogo Luiz Cordeiro Rodrigues (UFPR)
Prof.º Me. Ednan Galvão Santos (IF Baiano)
Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig (UFPR)
Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva (HONPAR)
Prof.º Dr. Gilberto Sousa Silva (FAESF)
Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues (FASF)
Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti (UFPR)
Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim (FASF)
Prof.ª Dr.ª Lucimara Glap (FCSA)
Prof.ª Dr.ª Maria Auxiliadora de Souza Ruiz (UNIDA)
Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa (UniOPET)
Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch (FASF)
Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail (CESCAGE)
Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens (FASF)
Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares (UFPI)
Prof.ª Dr.ª Sílvia Aparecida Medeiros Rodrigues (FASF)
Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda Santos (UTFPR)
Prof.ª Dr.ª Tássia Patricia Silva do Nascimento (UEA)
Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues (IFSC)

© 2026 - **AYA Editora** - O conteúdo deste livro foi enviado pelo autor para publicação em acesso aberto, sob os termos da Licença Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esta obra, incluindo textos, imagens, análises e opiniões nela contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva do autor, que assume total responsabilidade pelo conteúdo apresentado. As interpretações e posicionamentos expressos neste livro representam exclusivamente as opiniões do autor, não refletindo, necessariamente, a visão da editora, de seus conselhos editoriais ou de instituições citadas. A AYA Editora atuou de forma estritamente técnica, prestando serviços de diagramação, produção e registro, sem interferência editorial sobre o conteúdo. Esta publicação é fruto de pesquisa e reflexão acadêmica, elaborada com base em fontes históricas, dados públicos e liberdade de expressão intelectual garantida pela Constituição Federal (art. 5º, incisos IV, IX e XIV). Personagens históricos, autoridades, entidades e figuras públicas eventualmente mencionadas são citados com base em registros oficiais e noticiosos, sem intenção de ofensa, injúria ou difamação. Reforça-se que quaisquer dúvidas, críticas ou questionamentos decorrentes do conteúdo devem ser encaminhados exclusivamente ao autor da obra.

M445 Maturidade e prontidão da indústria 4.0: casos práticos no Brasil [recurso eletrônico]. / Sandro Breval Santiago (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2026. 92 p.

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-930-1

DOI: 10.47573/aya.5379.2.509

1. Revolução industrial. 2. Automação industrial. 3. Inovações tecnológicas - Aspectos sociais. 4. Tecnologia e civilização. I. Santiago, Sandro Breval. II. Título

CDD: 658

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
84.071-150

*Ao Senhor Jesus
À minha esposa e filhos
À minha família
E todos aqueles que fazem parte de minha vida!*

*“A ideia de progresso nos afastou do presente
e nos exilou num futuro que nunca chega.”*

— Ailton Krenak

PREFÁCIO

A Indústria 4.0 representa um pilar de competitividade para o Brasil e, em especial, para o Polo Industrial de Manaus (PIM). Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), 58% das empresas industriais brasileiras reconhecem a importância das tecnologias digitais para sua competitividade, mas menos da metade as utiliza efetivamente, o que evidencia um hiato entre conhecimento e aplicação prática. No contexto do PIM, caracterizado pela presença marcante dos setores eletroeletrônico, de bens de informática e termoplástico, essa lacuna pode comprometer o desempenho regional e nacional.

No setor eletroeletrônico, a incorporação de sensores inteligentes, automação avançada e integração em tempo real dos processos não apenas reduz custos de produção como também antecipa demandas, elevando a capacidade de resposta às oscilações de mercado. Já na fabricação de bens de informática, a adoção de sistemas de automação e análise de dados permite ciclos de desenvolvimento mais curtos e produtos alinhados às necessidades dos consumidores.

No segmento termoplástico, processos ciberfísicos e manutenção preditiva viabilizam a transformação do plástico bruto em produtos de alto valor agregado. O mercado brasileiro de Indústria 4.0 atingiu US\$ 1,77 bilhão em 2022, com previsão de alcançar US\$ 5,62 bilhões até 2028, demonstrando uma taxa de crescimento anual composta de 18,8% entre 2017 e 2022 e estimativa de 21% de 2023 a 2028..

A realidade do PIM reflete desafios típicos do Brasil: apenas 23,5% das empresas industriais brasileiras são consideradas digitalizadas em relação ao uso ou adoção de novas tecnologias, conforme metas da CNI para a “Missão 4” do programa Nova Indústria Brasil. No entanto, o PIM concentra empresas de grande porte e, portanto, possui potencial de acelerar essa digitalização por meio de políticas de incentivo, capacitação técnica e investimento em infraestrutura digital. A aplicação do modelo PIM4.0 para diagnóstico de maturidade e prontidão torna-se essencial para revelar lacunas, orientar investimentos e garantir que as empresas do Polo acompanhem as diretrizes nacionais.

Diagnosticar de forma sistemática o grau de maturidade e prontidão para a Indústria 4.0 no PIM não é apenas uma etapa de avaliação: é o ponto de partida para um plano de ações que garanta a competitividade tanto regional quanto nacional. A CNI enfatiza que menos da metade das indústrias brasileiras fazem uso efetivo das tecnologias digitais, apesar de reconhecerem sua importância.

Assim, ao empregar o PIM4.0 em diversos segmentos – eletroeletrônico, bens de informática e termoplástico – o Polo Industrial de Manaus poderá alinhar-se aos objetivos da “Missão 4” da CNI, que busca transformar digitalmente 90% das empresas industriais brasileiras, impulsionando o desenvolvimento sustentável e tecnológico do País.

SUMÁRIO

Prefácio XI

ApresentaçãoXV

01

Avaliação da Maturidade na Indústria 4.0: Uma Análise Multidimensional de um Fabricante de Eletroeletrônicos no Polo Industrial de Manaus 1

José Ruan Marques Reis

Josiel Viana e Viana

João Santos da Silva Filho

Sandro Breval Santiago

DOI: 10.47573/aya.5379.2.509.1

02

Maturidade na Indústria 4.0: Estudo de Caso Em Uma Empresa do Setor Termoplástico do Polo Industrial de Manaus -AM 11

Kamila Mendonça de Souza

Elisandra Maria Farias da Cruz

Bruna da Silva Simas

Keila Mendonça de Souza

Sandro Breval Santiago

Orlem Pinheiro de Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.509.2

03

Avaliação da Maturidade na Indústria 4.0: Impactos na Gestão de Estoques em Tempo Real em Uma Empresa do Segmento Eletroeletrônico no Polo Industrial de Manaus.....23

Vinícius de Lima Lopes

Fabício Rodrigues Nunes

John Dalton Costa Pimentel

Franciane Souza Meireles

Sandro Breval Santiago

DOI: 10.47573/aya.5379.2.509.3

04

Estudo de Caso com Base na Análise Estratégica: Preparação para a Indústria 4.0 E Melhoria de Processos em uma Empresa Termoplástica.....43

Cleiviane Aparecida Nogueira Santos

Dulcineves Ferreira Pacheco

Ananda Katharyne Bentes Ferreira

Daniela Carneiro Gonçalves

Mauricio Lima de Menezes

Sandro Breval Santiago

DOI: 10.47573/aya.5379.2.509.4

05

Análise do Nível de Maturidade de uma Fábrica do Segmento Eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus: Estudo de Caso56

Jocinete Batalha de Souza
Regiane Prata de Matos
Sarah Helena Assis Dos Santos
Sandro Breval Santiago

DOI: 10.47573/aya.5379.2.509.5

Organizador69

Índice Remissivo70

APRESENTAÇÃO

A adoção da Indústria 4.0 e das suas tecnologias habilitadoras pelas empresas é uma longa, complexa e constante jornada de melhoria contínua. Modelos de maturidade vêm sendo largamente utilizados como instrumentos práticos de ajuda para as empresas identificarem seus pontos fracos e fortes sob variadas perspectivas e, a partir disso, apoiarem na elaboração de um plano de ação na forma de um roteiro viável e globalmente coerente e consistente de Indústria 4.0 e transformação digital. Por outro lado, tal adoção varia de empresa para empresa, conforme seus tipos de produtos, sistemas de produção, maturidade digital, entre outros aspectos.

Neste sentido, esta obra mostra uma coletânea de artigos com exemplos práticos de como aplicar modelos de maturidade em diferentes empresas e processos. Utilizando-se do modelo de medição de maturidade e prontidão PIMM4.0® (Plataforma Integrada de Medição da Maturidade e Prontidão da Indústria 4.0), os artigos demonstram o como a sua aplicação desse modelo auxilia de forma muito concreta as empresas em termos de diagnósticos e direcionamentos futuros na jornada da Indústria 4.0.

Essa coletânea foi produzida pelo Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Processos Produtivos Inteligentes da Universidade Estadual do Amazonas (UEA), município de Parintins. Representa o resultado de um esforço de discentes e docentes que, a partir de pesquisas e reflexões críticas, buscaram compreender e aplicar conceitos fundamentais de maturidade e prontidão da Indústria 4.0 através do modelo PIMM4.0. Mas, mais do que isso, mostra de forma ímpar o protagonismo dos alunos oriundos do interior do Amazonas em termos da importância da descentralização do conhecimento e da valorização das potencialidades regionais.

O primeiro artigo, intitulado “Avaliação da Maturidade na Indústria 4.0: uma análise multidimensional de um fabricante de eletroeletrônicos”, traz uma visão abrangente sobre a importância do investimento em aspectos relacionados à cultura organizacional e à gestão de pessoas bem como na otimização dos processos de manufatura e operações.

O segundo artigo, “Maturidade na Indústria 4.0: estudo de caso em uma empresa do setor termoplástico”, destaca as particularidades desse segmento e evidencia oportunidades de avanço em automação e integração de processos, sobremaneira na perspectiva “Modelo de Negócio”.

O terceiro artigo, “Avaliação da Maturidade na Indústria 4.0: impactos na gestão de estoques em tempo real em uma empresa do segmento eletroeletrônico”, analisa os ganhos de eficiência e controle operacional proporcionados pela adoção de práticas digitais com foco em gestão de estoques em tempo real e seu impacto da cadeia de suprimentos.

O quarto artigo, “Estudo de caso com base na análise estratégica: preparação para a Indústria 4.0 e melhoria de processos em uma empresa termoplástica”, destaca a importância da maturidade organizacional, logística, automação e IoT para as indústrias de termoplásticos na Indústria 4.0, além da utilização de estratégias para otimizar estoques e reduzir custos.

Por fim, o quinto artigo, “Análise do nível de maturidade de uma fábrica do segmento eletroeletrônico: estudo de caso”, reforça a importância da mensuração prática para orientar decisões e consolidar estratégias de transformação digital com um foco em “Produtos e Serviços”.

A relevância desta obra está não apenas no tema abordado, de caráter estratégico para a transformação digital da indústria brasileira. Mostra igualmente os excepcionais resultados que uma ação conjunta entre academia e indústria podem gerar, de como a ciência e a prática podem caminhar juntas na construção de um futuro industrial mais competitivo, eficiente e integrado, enaltecendo-se a sua grande relevância no contexto do Polo Industrial de Manaus.

Prof. Ricardo J. Rabelo



Avaliação da Maturidade na Indústria 4.0: Uma Análise Multidimensional de um Fabricante de Eletroeletrônicos no Polo Industrial de Manaus

José Ruan Marques Reis

Josiel Viana e Viana

João Santos da Silva Filho

Sandro Breval Santiago

Resumo: Objetivo: Analisar a influência das dimensões Pessoas e Cultura e Manufatura e Operações sobre a subdimensão Sistemas, pertencente à dimensão Interoperabilidade, no contexto da maturidade organizacional de uma empresa do setor eletroeletrônico no Polo Industrial de Manaus. Referencial Teórico: Este estudo apresenta conceitos relacionados à maturidade organizacional e à Indústria 4.0, com ênfase nas dimensões de Interoperabilidade, Pessoas e Cultura, e Manufatura e Operações. Ademais, destaca-se o contexto do Polo Industrial de Manaus, local de coleta dos dados. Método: A metodologia adotada é quantitativa e descritiva, utilizando uma matriz de avaliação que contempla as dimensões de Interoperabilidade, Pessoas e Cultura, e Manufatura e Operações. A coleta de dados foi realizada em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, com análise estatística conduzida por meio das ferramentas JASP e Excel. Esse procedimento permitiu identificar relações entre variáveis e mensurar os níveis de maturidade organizacional, proporcionando uma visão abrangente do impacto das dimensões analisadas. Resultados e Discussões: Os resultados indicam uma influência significativa das dimensões Pessoas e Cultura e Manufatura e Operações sobre a subdimensão Sistemas, pertencente à dimensão Interoperabilidade. Esses achados evidenciam o papel crítico dessas dimensões na promoção da maturidade organizacional, especialmente no contexto da Indústria 4.0. A discussão dos resultados é realizada com base no referencial teórico, destacando a relevância dessas dimensões para o aprimoramento dos processos organizacionais e para o desenvolvimento de estratégias voltadas à inovação tecnológica. Implicações e Pesquisas: As implicações desta pesquisa são relevantes tanto para a prática organizacional quanto para o campo acadêmico. Para as organizações, os resultados oferecem esclarecimentos sobre a importância do investimento em aspectos relacionados à cultura organizacional e à gestão de pessoas, bem como na otimização dos processos de manufatura e operações. Do ponto de vista acadêmico, o estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a inter-relação entre diferentes dimensões da maturidade organizacional e a adoção de práticas da Indústria 4.0, servindo de base para futuras investigações na área. Originalidade/Valor: Este estudo se destaca pela abordagem integrada das dimensões Pessoas e Cultura, Manufatura e Operações, e Interoperabilidade, explorando suas influências mútuas em um contexto industrial específico e de relevância econômica, como o Polo Industrial de Manaus. A originalidade da pesquisa reside na análise da subdimensão Sistemas sob a perspectiva da maturidade organizacional, contribuindo com uma visão inovadora sobre como fatores humanos e operacionais impactam o processo de digitalização e a eficácia dos sistemas em ambientes industriais complexos.

Palavras-chave: Indústria 4.0; polo industrial de Manaus; maturidade.

INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 tem se destacado como um marco na transformação digital das empresas, impulsionando uma nova era de inovação e eficiência operacional. Segundo Koch *et al.* (2014), a Indústria 4.0 destaca-se pelo uso de produtos e processos mais autônomos e eficientes, além do fato de prover soluções customizadas para a produção, logística e clientes. Nesse sentido, a quarta revolução industrial está profundamente enraizada em tecnologias digitais avançadas, como a manufatura inteligente, a interoperabilidade de sistemas e a coleta massiva de dados, promovendo uma integração vertical e horizontal dos processos produtivos.

A Indústria 4.0 impulsiona as empresas para um ambiente mais eficiente, flexível e sustentável, permitindo a possibilidade de personalização em massa; melhorar os níveis de produtividade através de um maior foco na qualidade e produzir com mais eficiência. Tal alavancagem utiliza tecnologias avançadas de comunicação e informação e sistemas em processos de produção e cadeia de suprimentos trazendo o conceito de fábrica inteligente (Duarte; Cruz-Machado, 2018).

A transição bem-sucedida para a Indústria 4.0 requer a convergência de diversas dimensões, sendo a manufatura avançada e a interoperabilidade dos sistemas fatores cruciais. A capacidade de integrar máquinas, sistemas e pessoas, através de plataformas digitais, garante que os processos sejam mais flexíveis, eficientes e personalizados. Nesse contexto, a formação de uma força de trabalho capaz de operar e inovar com essas novas tecnologias se torna um pilar estratégico.

A capacitação contínua dos colaboradores, associada à mudança cultural dentro das empresas, é fundamental para enfrentar os desafios impostos por essa transformação digital. Assim, este artigo tem como objetivo apresentar uma análise detalhada da maturidade de uma organização no Polo Industrial de Manaus em transição para a Indústria 4.0, a partir de uma matriz de avaliação que engloba múltiplos fatores, como produtos e serviços, manufatura e operações, estratégia organizacional e interoperabilidade, exploram-se as áreas de maior desenvolvimento e os desafios ainda presentes. Essa avaliação criteriosa é essencial para identificar os aspectos que demandam maior atenção e para traçar estratégias eficazes que garantam a sustentabilidade e o sucesso na implementação completa dos princípios da Indústria 4.0.

REFERENCIAL TEÓRICO

Indústria 4.0

O termo “Indústria 4.0” surgiu pela primeira vez em 2011, na feira de Hannover (Alemanha), e em 2013 foi publicado um trabalho completo sobre a criação e o desenvolvimento da Indústria 4.0, um dos maiores eventos do mundo direcionado ao setor industrial, desde então, tem sido considerado um tema relevante para

a academia e de grande importância mundial para a indústria e sociedade, os impactos trazidos pela era da Quarta Revolução Industrial (Costa, 2017).

A indústria 4.0 é motivada pelas tendências de conectividade, no qual promove a interação entre o real e o virtual de forma integrada, permitindo a coleta, a análise de dados e fornecimento de informações em tempo real. Porém, essa transformação é um desafio para as organizações, pois é necessário ajustar as plantas e formas de produção para incorporar novas capacidades de TI no ambiente de fabricação, visando facilitar melhorias nos processos industriais.

Na Indústria 4.0, a Internet das Coisas (IoT) é incorporada ao ambiente de fabricação, possibilitando que as empresas se comuniquem com o hardware e o software. Desta forma, toda a cadeia deve estar preparada para compor de forma integrada, sendo necessária a elaboração de modelos de referência que possam conduzir toda a indústria (Stevan Jr, *et al.*, 2019). O desenvolvimento do fluxo informacional favorece as indústrias e organizações a se tornarem mais competitivas no segmento ao oferecer mudanças na fabricação do produto. Com otimização na fabricação, influenciados pelos avanços tecnológicos e por pressões que são exercidas com o mercado cada vez mais competitivo (Santos, *et al.*, 2018).

Maturidade na Indústria

A medição da maturidade e prontidão é uma ferramenta essencial para entender a posição atual da gestão, dos processos e da tecnologia existente, bem como os níveis em relação à Indústria 4.0. Ela é caracterizada como um instrumento que permite a avaliação da indústria, utilizando recursos como modelos matemáticos, ferramentas descritivas e comparativas (Azevedo; Santiago, 2019; Barros *et al.*, 2022; Itikawa; Santiago, 2021). O desenvolvimento de um modelo de maturidade 4.0 é a chave para as indústrias buscarem sua evolução tecnológica e digital.

Contudo, é uma forma dos gestores entenderem as oportunidades da evolução tecnológica a partir de atributos como agilidade, adaptabilidade, flexibilidade, qualidade e sustentabilidade de gestão automatizada. (Felch *et al.*, 2019). Santos (2018) indica que um modelo de maturidade pode ser formalizado por vários elementos ou condições que estabelecem a maturidade, a partir de uma futura perspectiva que almeja alcançar.

Com base no nível de maturidade determinado pelo modelo, pode-se definir procedimentos e estratégias a serem implementadas, visando tornar os processos dentro de um estado mais maduros ao longo do tempo. Já Souza e Gomes (2015) apontam que um nível de maturidade se atribui a partir do desenvolvimento e da utilização de práticas gerais e específicas, baseadas em uma classe de processos que denominam o resultado geral de uma organização ou de uma atividade em especial. Por fim, a análise da maturidade permite a identificação de gaps e áreas de melhoria, orientando ações estratégicas para que as indústrias evoluam no caminho da digitalização, da eficiência e da interoperabilidade, mantendo-se competitivas em um cenário global cada vez mais dinâmico e tecnológico.

Polo Industrial de Manaus

A Zona Franca de Manaus (ZFM) foi criada por meio da Lei n. 3.173, de 6 de junho de 1957, e reformulada pelo Decreto-Lei nº 288, de 28 de fevereiro de 1967, cuja finalidade está descrita no artigo 1º do referido decreto a saber:

Art. 1º A Zona Franca de Manaus é uma área de livre comércio de importação e exportação e de incentivos fiscais especiais, estabelecida com a finalidade de criar no interior da Amazônia um 3 de 9 centro industrial, comercial e agropecuário dotado de condições econômicas que permitam seu desenvolvimento, em face dos fatores locais e da grande distância, a que se encontram, os centros consumidores de seus produtos (Brasil, 1967, n.p.).

O Polo Industrial de Manaus (PIM), uma das mais importantes zonas de desenvolvimento econômico e tecnológico do Brasil, vem desempenhando um papel estratégico no cenário industrial e na economia nacional. O PIM possui empresas de diversos segmentos, entre eles, destacam-se: eletroeletrônico, duas rodas, informática e entre outros. Por se tratar de uma autarquia (pessoa jurídica de direito público), não possui fins lucrativos. A SUFRAMA possui o Conselho de Administração da Suframa (CAS) e este é o órgão de deliberação da autarquia, constituído por representantes de vários Ministérios e dos Governos de toda a Amazônia Ocidental, dentre outros membros.

Ao Conselho, cabe a aprovação de normas e regimentos e projetos técnicos-econômicos das empresas instaladas no Polo Industrial de Manaus (PIM) (SUFRAMA, 2016). Segundo Bomfim e Botelho (2009), os resultados econômicos da ZFM foram muito além do que se poderia prever em arrecadação tributária e empregos. Os investimentos realizados na ZFM mudaram o cenário de Manaus que, praticamente, incluindo população não residente, tem cerca de dois milhões de habitantes. Ou seja, a população foi multiplicada por dez ou um fator maior ainda, pois depende da maneira como se faz essa medida. Manaus, que dependia do comércio com o interior do Amazonas, ganhou tal dimensão econômica que o interior é que passou a depender de Manaus, que concentra 90% da economia amazonense.

No contexto da Indústria 4.0, o Polo Industrial de Manaus enfrenta desafios e oportunidades específicas. Por ser uma área consolidada de manufatura, a transição para um modelo de produção mais digitalizado e conectado pode aumentar significativamente a competitividade das empresas que ali operam. A adoção de tecnologias de automação, big data, inteligência artificial e Internet das Coisas se faz necessária para que o PIM mantenha sua relevância no cenário industrial global, respondendo às pressões de competitividade internacional e às exigências de eficiência e inovação. De acordo com Prado (2018), a Indústria 4.0 traz a interconexão de sistemas, fazendo com que a produção seja automatizada, o que afere nos reajustes de processo e recursos sem atraso e com diminuição dos erros, com identificação de falhas antes de que haja a produção final. As empresas

localizadas no PIM precisam não apenas adotar novas tecnologias, mas também investir em iniciativas de interoperabilidade e transformação cultural para garantir que suas operações se ajustem aos padrões globais de manufatura avançada.

Nesse sentido, a avaliação da maturidade organizacional na transição para a Indústria 4.0 torna-se um fator crítico para compreender como o PIM pode potencializar sua transformação digital e garantir um crescimento sustentável e competitivo na era da digitalização industrial. Ao analisar a maturidade das empresas do PIM, com foco em variáveis como interoperabilidade e pessoas e cultura, este estudo busca trazer insights sobre como o Polo está se adaptando à quarta revolução industrial e quais são os principais obstáculos e facilitadores nessa transição.

METODOLOGIA

A pesquisa empregada neste artigo foi de natureza quantitativa e descritiva, onde enquadram-se a leitura de dados quantitativos, utilizando o método na construção dos dados a serem estudados. O estudo de caso foi o procedimento adotado devido a coleta de dados de uma empresa, do segmento eletroeletrônico, situada em Manaus/AM. Para esses fins, vale ressaltar que o estudo de caso, segundo Goldenberg (2011, p. 33), “não é apenas uma técnica específica, mas uma análise holística, [...] que considera a unidade social estudada como um todo [...]”. Essa vertente deve “permitir a compreensão do objeto de pesquisa a partir da análise de variáveis que permeiam a situação analisada por completo a partir do seu contexto” (Jesus; Lima, p. 56).

O método de análise utilizado neste estudo é a regressão linear, de natureza estatística de fundamental importância. É comumente empregado para investigação e modelação entre duas ou mais variáveis, sendo uma variável dependente e as outras variáveis independentes. De acordo com as ideias de Chein (2019, p. 9), “na análise de regressão, a preocupação é sempre com a dependência estatística entre variáveis. Trabalha-se com variáveis aleatórias, que têm uma distribuição de probabilidade”. Com isso, podemos destacar que seu principal objetivo é identificar as mudanças nas variáveis explicativas que influenciam a variável de interesse no estudo, pois possibilita algumas previsões e entendimentos profundos sobre os fenômenos observados.

Adicionalmente, foi adotado o método backward, que segundo Walpole (2009), diferentemente do método forward que consiste na inclusão incremental de variáveis, o método backward adota uma abordagem oposta, iniciando com todas as variáveis no modelo e eliminando-as progressivamente. Essa diferença permite ao backward partir de uma estrutura completa, refinando o modelo ao excluir variáveis que não contribuem significativamente.

A próxima etapa deste estudo consistiu na seleção das variáveis que baseiam-se na relação intrínseca entre os processos produtivos e a capacidade dos colaboradores de se adaptarem às novas tecnologias e processos, elementos essenciais para a eficiência organizacional. Esses fatores exercem influência

significativa sobre a dimensão de Interoperabilidade, que abrange a habilidade dos sistemas, tecnologias e processos de uma organização para interagirem de maneira integrada e eficiente. Nesse contexto, considerando o método de regressão linear, a subdimensão Sistemas foi escolhida como variável dependente, enquanto as demais variáveis foram empregadas como independentes, dada sua relevância para o entendimento das dinâmicas de maturidade organizacional na Indústria 4.0.

Para a análise dos dados, foram empregadas as ferramentas JASP e Excel, que apresentam funcionalidades complementares. O JASP foi utilizado predominantemente para realizar análises estatísticas avançadas e modelagens complexas, enquanto o Excel auxiliou na organização e manipulação inicial dos dados, além de facilitar a visualização de tendências por meio de gráficos e tabelas. Por meio desta abordagem foi possível realizar uma análise detalhada, permitindo extrair entendimentos acerca do comportamento dos dados e facilitando a interpretação das variâncias e padrões identificados ao longo da investigação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise das Variáveis Observadas

Neste estudo foram analisadas três dimensões para avaliar a maturidade organizacional na Indústria 4.0: a interoperabilidade, Pessoas e cultura e Manufatura e Operações. Essas variáveis foram escolhidas pela capacidade de determinar como as dimensões Pessoas e Cultura e Manufatura e Operações influenciam a adoção ou o desempenho desses sistemas. A Interoperabilidade refere-se à capacidade dos sistemas, tecnologias e processos dentro de uma organização de interagir de maneira eficiente e integrada. Na Indústria 4.0, esse conceito ganha centralidade, pois a troca fluida de informações entre diferentes plataformas e a integração de dados em tempo real são essenciais para a automação e otimização dos processos produtivos.

Pessoas e Cultura representam a capacidade de adaptação e a mentalidade dos colaboradores em relação às novas tecnologias e processos. A transformação digital não depende apenas de inovações tecnológicas, mas também de um alinhamento cultural que permita a absorção dessas inovações de forma produtiva.

Manufatura e Operações envolve os processos produtivos e a gestão de recursos dentro de uma organização. Na Indústria 4.0, inclui a automação e o uso de tecnologias avançadas, como IoT e análise de dados em tempo real, para otimizar a produção, aumentar a flexibilidade e reduzir custos. Isso permite uma resposta ágil às mudanças de demanda e maior personalização de produtos, tornando a produção mais inteligente e adaptável às exigências de um mercado dinâmico.

A adoção de novas tecnologias exige uma cultura organizacional que incentive a capacitação contínua, a inovação e a colaboração, além de equipes que estejam preparadas para lidar com as mudanças. Sem uma força de trabalho treinada e uma cultura favorável, as melhores soluções tecnológicas podem não ser implementadas de forma eficaz.

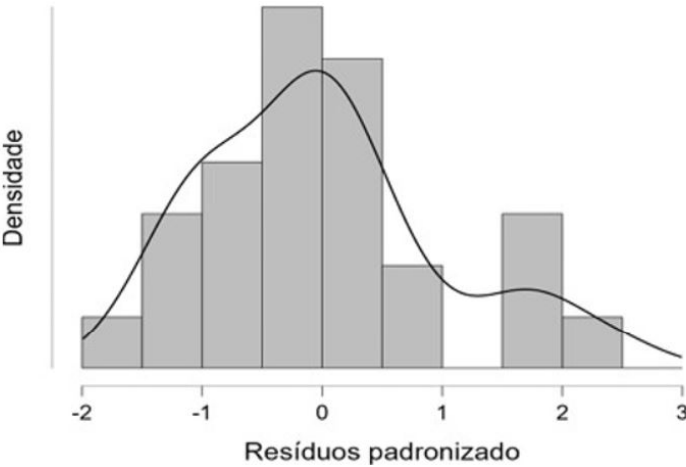
Ao observar essas duas variáveis, o estudo buscou entender como a maturidade em interoperabilidade afeta ou é afetada pela capacidade das pessoas e pela cultura organizacional, propondo uma análise da inter-relação entre esses dois fatores críticos na transição para a Indústria 4.0.

Tabela 1 - Resultados obtidos após aplicação da regressão linear.

Resumo do modelo								
Modelo	R	R ²	R ² ajustado	RSMEA	R ² de mudança	gl1	gl2	p
M1	0.997	0.993	0.979	0.140	-0.001	1	8	1.00

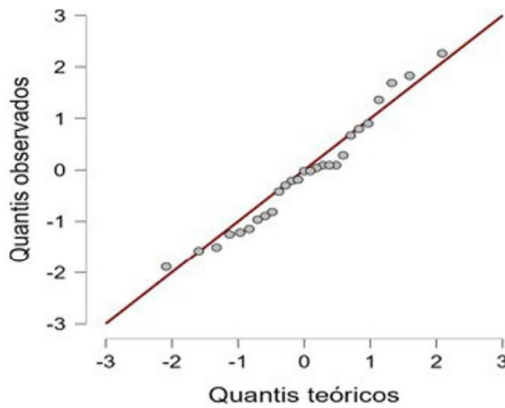
Por meio da tabela, é possível destacarmos a relevância dos seguintes dados: R² e R² ajustado. Para um bom modelo de regressão linear, o R² deve estar acima de 0,70, indicando que o modelo explica pelo menos 70% da variação nos dados. Um valor de 0,8 ou mais é considerado muito bom, especialmente em áreas onde a variabilidade dos dados é alta. Por outro lado, o R² ajustado é uma versão modificada do R², e ele é especialmente útil em modelos com muitas variáveis independentes, pois penaliza a adição de variáveis que não contribuem significativamente para a explicação do modelo.

Figura 1 - Histograma de resíduos padronizados.



Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

A normalidade dos resíduos é importante para que os intervalos de confiança e testes de significância sejam válidos. O histograma ideal deve mostrar uma distribuição simétrica e em forma de sino, como uma curva normal.

Figura 2 - Gráfico Q-Q dos resíduos.*Gráfico Q-Q dos resíduos***Fonte: elaborado pelos autores, 2024.**

No gráfico Q-Q, os resíduos ideais devem se alinhar de forma próxima à linha reta, indicando que eles seguem uma distribuição normal. Desvios significativos dessa linha podem indicar problemas de normalidade, o que pode afetar a confiabilidade das inferências estatísticas do modelo.

Avaliação da Maturidade

No modelo PIMM4.0®, a empresa é avaliada na escala que compreende os valores de 1 a 4, onde os valores mais altos apontam prontidão da empresa à maturidade. Portanto, com base nas análises realizadas, é possível destacar que as variáveis independentes exercem forte influência no nível de maturidade da subdimensão Sistemas, da dimensão Interoperabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo realiza uma análise multidimensional da maturidade organizacional em uma fabricante de eletroeletrônicos no Polo Industrial de Manaus, com o objetivo de mensurar o grau de maturidade em alinhamento aos padrões da Indústria 4.0. Utilizando uma abordagem quantitativa descritiva, foram aplicadas ferramentas estatísticas como o JASP e o Excel para análise dos dados. A metodologia empregou regressão linear múltipla, revelando que as dimensões “Manufatura e Operações” e “Pessoas e Cultura” exercem grande influência sobre a subdimensão “Sistemas”, que integra a dimensão “Interoperabilidade”. Os resultados indicam um impacto positivo substancial, com a subdimensão “Sistemas” apresentando uma tendência ao nível 3 e 4 na escala de maturidade (de 1 a 4), o que denota um elevado grau de maturidade organizacional. Este estudo contribui para a literatura sobre maturidade organizacional, oferecendo entendimentos relevantes para o avanço das pesquisas

relacionadas ao grau de preparação das empresas do setor eletroeletrônico para a Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A.; SANTIAGO, S. B. **Design of an Assessment Industry 4.0 Maturity Model: An application to manufacturing company.** In: Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Toronto, ON, Canada. 2019. p. 23- 25.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº 288, de 28 de fevereiro de 1967.** Presidência da República. Brasília, 28 fev. 1967.
- BRITO, J. M. M.; SILVA, M. P.; SANTIAGO, E.; ALMEIDA, E. R. **Aplicação de veículo guiado automaticamente nas diversas áreas de produção da indústria: revisão sistemática da literatura.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 2, p. 9486-9502, 2020.
- CARNEIRO C. J. M.; COSTA, R. S.; JARDIM, L. S.; VIANA, A. L.; SANTOS, R. M. S. **Proposed use of Lean Office in reducing call time on products of the project analysis of polo industrial Manaus.** Revista Espacios.
- CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas.** Brasília: Enap, 2019.
- COSTA, C. **Indústria 4.0: o futuro da indústria nacional.** v. 1, n. 4, p. 5-14, 2017. Disponível em: 82-Texto do artigo-595-1-10-20170814.pdf. Acesso em: 10 de out. de 2024.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- DUARTE, S.; CRUZ-MACHADO, V. (2018). **Exploring Linkages Between Lean and Green Supply Chain and the Industry 4.0.** In: International Conference on Management Science and Management, Anais: Springer. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-59280-0_103. Acesso em: 02 de out. de 2024.
- FELCH, V.; ASDECKER, B.; SUCKY, E. **Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business.** Practice Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. 2019.
- FERREIRA, S. M. P.; BOTELHO, L. **O emprego industrial na Região Norte: o caso do Polo Industrial de Manaus.** Estudos Avançados, v. 28, n. 81, p. 141–154, ago. 2014.
- GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar.** 12. ed. Rio de Janeiro: Record, 2011.

ITIKAWA, M.; SANTIAGO, S. B. **A Systematic Review on Industry 4.0 Maturity Metrics In the Manaus Free Trade Zone**. International journal of advanced engineering research and science, v. 8, p. 1, 2021.

JESUS, W. S.; LIMA, J. P. M. **O estudo de caso**.

KOCH, V.; KUGE, S.; GEISSBAUER, R.; SCHRAUF, S. **Industry 4.0: opportunities and challenges of the industrial internet**. Stratety and Company, 2014.

PRADO, M. A. **Qualidade e a indústria 4.0**. 2018.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. **Indústria 4.0: desafios e oportunidades**. Revista Produção e Desenvolvimento. 4 (1), 2018, p.111 124.

SANTOS, R. C. **Proposta de modelo de avaliação de maturidade da Indústria 4.0**. Coimbra, Portugal, 2018. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

SOUZA, T. F.; GOMES, C. F. S. **Assessment of Maturity in Project Management: A Bibliometric Study of Main Models**. Procedia Computer Science, vol. 55, p. 92-101, 2015.

STEVAN JR, S. L.; LEME, M. O.; SANTOS, M. D. **Indústria 4.0: fundamentos, perspectivas e aplicações**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2019.

SUFRAMA. **Modelo da Zona Franca de Manaus**.

WALPOLE, R. E. **Probabilidade & Estatística para engenharia e ciências**. São Paulo: Person Prentisse Hall, 2009.



Maturidade na Indústria 4.0: Estudo de Caso Em Uma Empresa do Setor Termoplástico do Polo Industrial de Manaus -AM

Kamila Mendonça de Souza

Elisandra Maria Farias da Cruz

Bruna da Silva Simas

Keila Mendonça de Souza

Sandro Breval Santiago

Orlem Pinheiro de Lima

Resumo: Objetivo: O objetivo deste estudo é avaliar a maturidade da Indústria 4.0 em uma empresa do setor termoplástico, identificando os desafios e avanços no desenvolvimento tecnológico por meio do sistema PIMM 4.0®. Referencial Teórico: Neste item, são abordados os conceitos da Indústria 4.0, a relevância dos modelos de maturidade e o contexto do Polo Industrial de Manaus (PIM), essenciais para a análise dos desafios e oportunidades da transformação digital na região. Método: O estudo de caso abordado destaca o cenário real vivenciado pelos colaboradores da empresa estudada, visando avaliar a maturidade da indústria 4.0, por meio do sistema PIMM 4.0® onde é analisada uma dimensão da empresa, sendo o “Modelo de Negócio” e suas 6 (seis) respectivas sub dimensões. Foram utilizados métodos quantitativos descritivo para a coleta de dados, incluindo um modelo de questionário estruturado do sistema PIMM 4.0®. Resultados e Discussão: Os resultados presentes nesse estudo indicam a correlação das sub dimensões abordadas, mostrando que somente três podem ser diretamente ligados quando se trata de desenvolvimento tecnológico. Implicações da Pesquisa: Quanto maior esse aprimoramento, melhor as pontuações das três respectivamente e para análise dos resultados obtidos utilizou-se gráficos de média e amplitude para confirmar a estabilidade do estudo. Originalidade/Valor: Dessa forma essa pesquisa evidencia alguns desafios enfrentados pela empresa na preparação para a era da indústria 4.0, com estimativa de uma trajetória promissora a ser seguida.

Palavras-chave: Indústria 4.0; PIMM 4.0; manufatura e operações; modelo de negócio.

INTRODUÇÃO

A primeira “revolução industrial”, começou no reino Unido no final do século XVIII e terminou em meados do século XIX. Representou a mudança de uma economia agrária, à base de artesanato, para uma economia liderada pela indústria e pela fabricação de máquinas com a introdução de métodos de produção mecânica e a aplicação de energia a vapor (Schlaepfer, 2015).

O segundo período teve início no princípio do século XX. Foi marcado pela era da produção industrial em massa, na qual princípios da linha de montagem eram voltados para a criação de produtos de consumo em massa. A introdução da energia elétrica auxiliou o conjunto de mudanças (Schlaepfer, 2015). A terceira revolução iniciada na década de 70 é marcada pela automatização dos processos de

produção com a implantação de produtos eletrônicos e TI em processos industriais (Schlaepfer, 2015).

A quarta revolução industrial deu-se início a uma era de produção “descentralizada”. O uso de tecnologia de sensores, interconectividade e análise de dados permitem a fusão dos mundos reais e virtuais na produção (Schlaepfer, 2015).

O termo “Indústria 4.0” que vem sendo disseminado mundialmente e também conhecida como a 4ª revolução industrial (Hermann, 2015). Já que, assim como as três primeiras revoluções na manufatura mundial, é marcada pelo conjunto de mudanças nos processos de manufatura, design, produto, operações e sistemas relacionados à produção, aumentando o valor na cadeia organizacional e em todo o ciclo de vida do produto. O termo “4.0”, deriva da quarta versão, onde os mundos virtuais e físicos se fundem através da internet. Em outras palavras, “tudo dentro e ao redor de uma planta operacional (fornecedores, distribuidores, unidades fabris, e até o produto) são conectados digitalmente, proporcionando uma cadeia de valor altamente integrada” (Davies 2015).

Observa-se que a informatização da manufatura e o advento da Indústria 4.0 representa uma transformação significativa nas indústrias, caracterizada pela interligação de tecnologias avançadas e automação dos processos produtivos, as quais oferecem benefícios para melhorar a eficiência, a qualidade, e a competitividade no mercado. No Amazonas, o Polo Industrial de Manaus (PIM) é um dos principais centros de produção industrial, onde o setor termoplástico desempenha um papel importante na economia local, principalmente na produção de matérias-primas e seus derivados, desenvolvendo materiais para outros segmentos.

Este artigo busca analisar o nível de maturidade da Indústria 4.0 nesse setor, avaliando como uma empresa do setor termoplástico do polo industrial de Manaus está adotando e integrando essas novas tecnologias em suas operações, delimitando esse estudo sob variável Modelo de Negócio, com o objetivo de correlacionar suas sub variáveis e entender como elas se comportam dentro do sistema.

REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão bibliográfica abordará conceitos da Indústria 4.0, abrangendo os principais pilares tecnológicos com ênfase na aplicação dessas tecnologias no setor termoplástico, assim como será abordado sobre os desafios e oportunidades específicos do PIM, para contextualizar o cenário do estudo.

Indústria 4.0

De acordo, Sacomano (2018) a Indústria 4.0 pode ser definida como um sistema de produção integrado por computador e dispositivos móveis conectados à internet ou à intranet. Esse sistema possibilita a programação, administração, controle, colaboração e interação com o processo produtivo a partir de qualquer local do mundo onde possui acesso à internet ou à conexão dessas tecnologias,

segundo recomendado pelos alemães, tem a habilidade de viabilizar as chamadas Indústrias Inteligentes, que conseguem produzir itens de maneira mais eficiente através da comunicação e da integração entre máquinas, pessoas e recursos (Kagermann *et al.*, 2022).

A inserção das tecnologias da Internet na indústria pode ser vista como a grande base tecnológica para a Indústria 4.0; apesar de que a maior parte das tecnologias que possibilitam o acontecimento da Indústria 4.0 esteja disponível, as quais são utilizadas em outras áreas (Drath & Horch, 2014). A Indústria 4.0 sugere a combinação entre os humanos e máquinas, independentemente das distâncias geográficas, criando extensas redes e oferecendo produtos e serviços de maneira autônoma (Silva *et al.*, 2015).

A finalidade é a otimização do sistema quanto toda a sua rede de valor, empresa, abrangendo fornecedores, clientes, sócios, parceiros, colaboradores e outros interessados. O advento da Indústria 4.0 modificou os processos industriais através da utilização de automação sofisticada e digitalização (Du *et al.*, 2021).

Deste modo, a Indústria 4.0 tem a capacidade de agregar valor à toda a cadeia organizacional por meio de transformações que impactarão vários níveis dos processos produtivos, incluindo manufatura, design, produtos, operações e outros sistemas associados à produção (Pereira, 2018).

Maturidade

A maturidade é uma ferramenta crucial para que as empresas possam conceituar e medir a prontidão de seus processos em relação à Indústria 4.0. Além de auxiliar na compreensão dos níveis de desenvolvimento, ela permite a avaliação da indústria por meio de modelos temáticos e ferramentas descritivas e comparativas (Azevedo & Santiago, 2019). Modelos de maturidade tem sido proposto como guias que identificam os níveis atuais de prontidão tecnológicas e direcionam ações de mudança rumo à Indústria 4.0 (Sousa *et al.*, 2021). Esses modelos fornecem uma base estruturada para entender e acompanhar o progresso dos processos empresariais, facilitando a tomada de decisões estratégicas.

Os modelos de maturidade são compostos por parte que definem tanto o desenvolvimento quanto a maturidade das empresas. Eles medem e combinam capacidades essenciais, permitindo que as organizações alcancem o status desejado dentro da Indústria 4.0. Essas estruturas normalmente são divididas em dimensões e níveis, baseadas na ideia de que processos, áreas funcionais, pessoas e organizações avançam por meio de um ciclo contínuo de desenvolvimento (Santiago *et al.*, 2022; Santos & Martinho, 2020). A análise da maturidade em determinados setores, como o Polo Industrial de Manaus, revelou desafios significativos na transição para a Indústria 4.0, especialmente em termos de interoperabilidade e visibilidade (Lima *et al.*, 2022). Além disso, as mudanças rápidas trazidas pela revolução industriais 4.0 tem causados tensões tanto na indústria quando na sociedade, impactadas pelas novas tecnologias e transformações no mercado de trabalho (De Souza *et al.*, 2020).

A maturidade e a prontidão são usadas para medir o progresso dos processos, fornecem métricas específicas da Indústria 4.0. Isso permite às empresas entenderem melhor como está evoluindo em relação e seis operacionais (Itikawa & Santiago, 2022). Dessa forma, elas podem ajustar seus processos e otimizar recursos, garantido um desenvolvimento contínuo e sustentável. Por meio dessa análise, as empresas são capazes de diagnosticar deficiências e corrigi-las antes avançarem para estágios mais maduros de seus processos (Dikhanbayeva *et al.*, 2020).

PIM - Polo Industrial de Manaus

A Zona Franca de Manaus (ZFM), criada em 1957 pela Lei n.3.173, de 6 de julho de 1957, a princípio com a finalidade de realizar o armazenamento, a guarda, a conservação, o beneficiamento e retirada de mercadorias, produtos e artigos de qualquer tipo, que chegavam do exterior e destinados ao consumo na Amazônia, bem como para os países vizinhos ao Brasil, ou que estejam situados nas bacias hidrográficas do Rio Amazonas (Ferreira e Botelho, 2014). O Polo Industrial de Manaus (PIM) é um dos centros industriais e tecnológicos mais modernos da América Latina. Neste Polo há indústrias de ponta em diversos setores, abrangendo eletroeletrônica, veículos de duas rodas, produtos ópticos, informática e indústria química, entre outros (Suframa, 2015).

Conforme Bomfim e Botelho (2009), os resultados econômicos da Zona Franca de Manaus (ZFM) excederam as expectativas em termos de arrecadação tributária e criação de empregos. Os investimentos na ZFM transformaram expressivamente o cenário de Manaus, cuja população, incluindo residentes não permanentes, é de aproximadamente dois milhões de habitantes.

Segundo dados da Suframa (2015) em torno de 95% da produção do PIM é voltada para o suprimento do mercado nacional. Devidos às etapas de industrialização que seguem os Processos Produtivos Básicos (PPBs), o Polo tem uma cadeia produtiva consistente e é responsável pela criação de produtos que proporcionam elevado valor agregado. De acordo com (Ferreira e Botelho, 2014), o PIM produz um aumento nos lucros e oferece oportunidades de trabalho para milhões de pessoas. O cenário do mercado no Polo Industrial de Manaus é muito diversificado, com cerca de seiscentas empresas, sendo que os setores principais são o de motocicletas e eletroeletrônicos. A extensa cadeia de fontes de partes, peças e componentes que chegam ou são fabricados em Manaus, para a produção de bens de consumo proporciona às empresas, e ao governo, um impulso competitivo adicional, além dos incentivos fiscais, que são os custos acessíveis da mão de obra local para operários das fábricas.

METODOLOGIA

O objeto do estudo é avaliar uma empresa do Polo Industrial de Manaus (PIM), do setor termoplástico. Este estudo utilizará o método de pesquisa quantitativa-

descritiva. A coleta de dados foi realizada por meio do modelo de questionários estruturados utilizado o sistema PIMM4.0, com o objetivo de avaliar o nível de adoção das tecnologias da Indústria 4.0 e a percepção dos profissionais sobre os benefícios e desafios enfrentados. Os dados coletados serão analisados para identificar padrões e relações entre a maturidade tecnológica e o desempenho operacional, com o objetivo de avaliar o nível de maturidade das empresas conforme a indústria 4.0.

Dessa forma uma pesquisa-quantitativa utiliza dados para confirmar uma hipótese, estudando uma amostra de forma sistemática empregando mecanismos quantitativos. Pode-se utilizar técnicas de formulário, entrevistas, questionários, etc. adotando também procedimentos de amostragem, como a adotada na pesquisa de estudar a relações das variáveis, para descobrir determinada relevância entre as variáveis (Marconi & Lakatos, 2017).

A PIMM 4.0® é representada por oito dimensões nas quais aplica-se a mensuração da maturidade e prontidão da Indústria 4.0 no contexto industrial brasileiro em cima dos seguintes itens: Produtos, Modelo de Negócio, Manufatura, Interoperabilidade, Estratégia, Pessoas e Cultura, Logística e Sustentabilidade.

No estudo foi utilizada somente uma dimensão, sendo Modelo de Negócio, a qual é composta por seis subdimensões. As notas atribuídas em cada sub dimensão, variam entre 1 (um) e 4 (quatro), indicando o nível de maturidade e prontidão dessas variáveis, (Azevedo & Santiago, 2019). Quanto maior a nota, melhor o seu nível de maturidade, como é descrito a seguir:

1. Nível 1 – Digital, de baixo alcance organizacional em integração de cadeia produtiva com sistemas tecnológicos e interligação de processos verticais e horizontais digitais;
2. Nível 2 – Tecnológico, com a presença de sistemas integrando algumas das linhas organizacionais, com a presença da automação em produção, apresentando baixa visibilidade do modelo 4.0 e sem integração total;
3. Nível 3 – Transição, aqui é possível notar a elevada integração dos sistemas possibilitando a visibilidade com importantes iniciativas em automação, e;
4. Nível 4 – Avançado, indica alta otimização dos respectivos processos, além da interoperabilidade integrada nos demais níveis da organização.

Para realizar a análise dos dados se utilizou o software JASP, dentro dele foi trabalhadas as dimensões escolhidas, desenvolvendo os dados através de uma aplicação de correlação, proporcionando o uso da estatística para assim termos resultados mais assertivos e confiáveis. O banco de dados a ser explorado seguirá alguns passos, primeiro é necessário realizar o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para apurar a normalidade desses dados. Esse teste se baseia no pressuposto de que se o valor de desvio de normalidade for menor que 0,05, será aplicado o coeficiente de correlação de Spearman (ρ), por permitir que as relações das variáveis não sejam lineares, ou se for maior o mais adequado é o coeficiente de correlação de Pearson (r), exigindo que as variáveis sejam lineares entre si. (Silva, 2023).

O segundo passo após realizar a correlação entre as sub dimensões é identificar o coeficiente de correlação, ele é capaz de informar se determinada correlação é forte ou fraca quando correlacionadas umas com as outras. Baba (2014), apresenta quais os graus de variações esse coeficiente pode apresentar e determina qual designação a ser seguida, como mostra na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Graus de variação de coeficiente de correlação.

Coeficiente de Correlação	
>0,9	Muito forte
0,7 a 0,89	Forte
0,4 a 0,69	Moderado
0,2 a 0,39	Fraco
0,0 a 0,19	Muito fraco

Fonte: Baba, 2014.

Visando confirmar e analisar os resultados obtidos utilizou-se gráficos de média e amplitude que permitem aferir a estabilidade dos resultados encontrados na correlação, apresentando de forma visual o quão o procedimento está dentro do controle (Soriano, 2020). Os tipos de gráficos utilizados procuram caracterizar as limitações (superiores e inferiores) conforme parâmetros estatísticos relacionados aos dados analisados, construindo-os com três linhas paralelas: a central (LC), a superior (LSC), e a inferior (LIC) (Oliveira, 2022). Conforme Ribeiro e Caten (2012), pode-se conceituar os limites como:

- Linha Central (LC): representa o valor médio em monitoramento. Quando os valores das amostras analisadas se encontram próximos a ela, indica que o método está sob controle e apenas causas aleatórias se fazem presentes;
- Limite Inferior de Controle (LIC): representa o valor mínimo aceitável para o processo em análise. Se as amostras se encontram abaixo desse limite, o método não está sob controle estatístico;
- Limite Superior de Controle (LSC): representa o valor máximo aceitável para o processo em análise. Se as amostras se encontram acima desse limite, o método não está sob controle estatístico.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir se baseiam em uma análise de correlação, onde se utiliza a estatística para avaliar qual a intensidade os pares de variáveis estão associados. Ou seja, se uma variável é diretamente ligada a outra ou não. E para fortalecer os resultados também se aplicou o controle de média e de amplitude no estudo, representado na discussão.

Para fazer essa correlação é necessário utilizar o coeficiente de correlação, nessa pesquisa o mais adequado a ser aplicado é o rho (ρ) de Spearman (Tabela 2), pois a partir do teste de normalidade (Shapiro-Wilk) identificou-se que os dados não

são significativos ($p < 0,05$), ou seja, a distribuição dos dados se difere de maneira significativamente estatístico de uma distribuição normal.

Tabela 2 - Teste Shapiro-Wilk para Normalidade Multivariada (Modelo de Negócio).

Shapiro-Wilk	p
0.897	0.023

Fonte: JASP.

A tabela 3 apresenta o resultado do coeficiente de correlação, e o valor p representa se as correlações são significativas ou não.

Tabela 3 - Correlação Modelo de Negócio.

Variável	Áreas Temáticas	1 Orientação a Serviço	2 Decisão com base em dados	3 Ciclo de Vida PLM	4 Manutenção Preditiva	5 Canal de MKT	6 Negócio apoio TI
1. 1 Orientação a Serviço	Spearman's rho	—					
	p-value	—					
2. 2 Decisão com base em dados	Spearman's rho	0.526	—				
	p-value	0.079	—				
3. 3 Ciclo de Vida PLM	Spearman's rho	0.653*	0.754**	—			
	p-value	0.021	0.005	—			
4. 4 Manutenção Preditiva	Spearman's rho	0.410	0.354	0.502	—		
	p-value	0.186	0.259	0.096	—		
5. 5 Canal de MKT	Spearman's rho	-0.067	0.031	-0.064	0.488	—	
	p-value	0.837	0.924	0.844	0.108	—	
6. 6 Negócio apoio TI	Spearman's rho	0.214	0.510	0.240	0.000	-0.233	—
	p-value	0.503	0.090	0.452	1.000	0.467	—

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Fonte: JASP.

Os valores mais significativamente estatísticos são apresentados na tabela 3 onde ($p < 0,05$) estão destacados e marcados com *, para uma melhor identificação. Dessa forma, como os outros valores não foram tão significativos, só será avaliado a correlação do “Ciclo de Vida PLM” com “Orientação a Serviço” e “Ciclo de Vida PLM” com “Decisão com Base em Dados”. Após a identificação é necessário observar o valor de coeficiente de correlação representado por Spearman's rho onde o Ciclo de Vida PLM correlacionado com Orientação a Serviço resultou em 0,653

(correlação moderada) e Ciclo de Vida PLM correlacionado Decisão com Base em dados resultou em 0,754 (correlação forte), por ser um valor positivo são variáveis diretamente proporcionais, ou seja, existe uma relação de proporcionalidade entre as variáveis, assim como, uma relação inversamente proporcional entre as mesmas.

Para uma melhor visualização elaborou-se gráficos, que indicam os dados já mencionados, indicando que quanto mais inclinada a reta próximo do ângulo de 45°, mais forte é a relação, observa-se também que existe uma inclinação ascendente das retas, confirmando a informação que são valores positivos. Conforme figuras 1 e 2 abaixo:

Figura 1 - Gráfico de correlação (Ciclo de Vida x Orientação a Serviço).

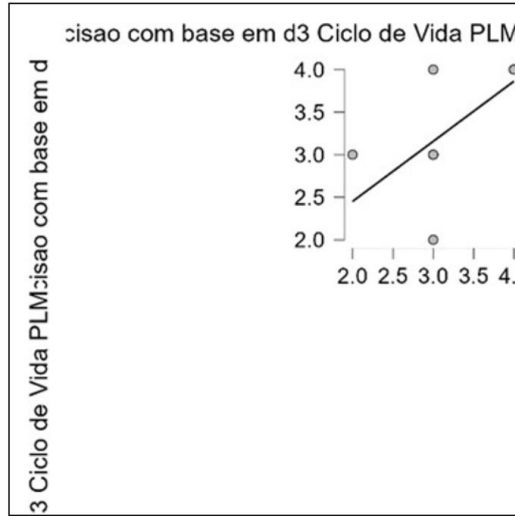
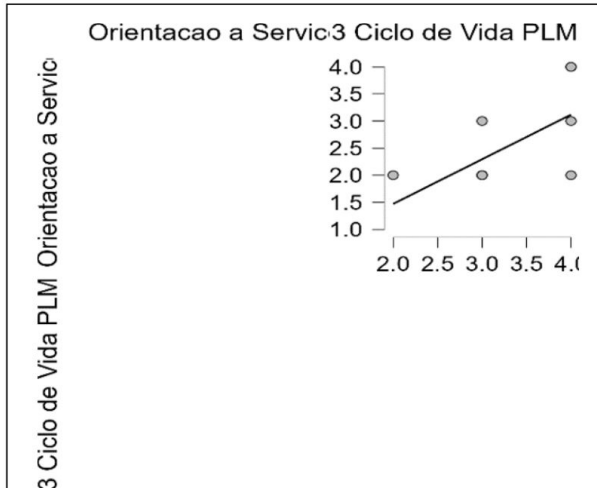


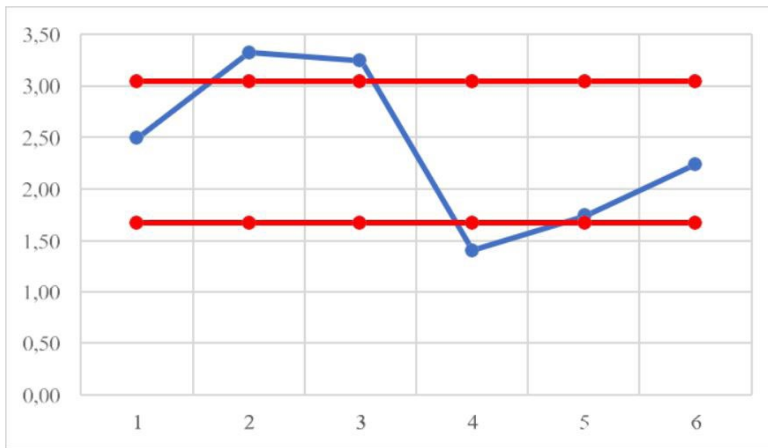
Figura 2 - Gráfico de correlação (Ciclo de Vida x Decisão com base de dados).



Os resultados apresentados demonstram que a matriz de correlação demonstrou uma relação positiva e significativas entre as sub dimensões ciclo de vida PLM e orientação a serviço ($r = 0,653$; $p < 0,001$) e orientação a serviço e ciclo de vida PLM com decisão com base em dados ($r = 0,754$; $p < 0,001$). Também se identificou associações negativas entre canal de MKT e ciclo de vida PLM ($r = -0,064$; $p < 0,001$) e negócio apoio TI e canal de MKT ($r = -0,233$; $p < 0,001$) (Silva, 2023).

Para confirmação dos resultados, foram elaborados gráficos de média e amplitude (Figura 3) visando demonstrar a correlação entre as sub variáveis consideradas, como é visto abaixo:

Figura 3 - Média das variáveis.



A figura 3 apresentada demonstra que a média das notas atribuídas ao item 1 - Orientação a Serviço, 2 - Decisão com base em dados e 3 - Ciclo de Vida PLM, estão bem próximas, confirmando a análise de correlação obtidas. Dessa forma as notas atribuídas aos itens foram realmente bem próximas umas das outras. Além dessa análise é possível identificar que existem valores fora do limite superior e inferior, ou seja, a análise não estar sob controle estatisticamente (Costa, 2023). Representando que as notas atribuídas a cada sub dimensão foram muito distintas, podendo mostrar que a empresa estudada não investe de forma equilibrada na dimensão analisada, ou seja enquanto as 3 (três) primeira sub dimensões estão com a média de notas elevadas proporcionalmente, as 3 (três) últimas decaem.

E para avaliar a variabilidade das amostras (Figura 4), onde constata-se o quanto essas variáveis estão dispersas de acordo com a sua amplitude.

Figura 4 - Amplitude das variáveis.



Na figura 4 é possível identificar que a análise está controlada estatisticamente, levando em consideração a ausência de pontos fora dos LSC e LIC (Costa, 2023), indicando que as notas atribuídas se mantiveram constantes, sem apresentar variações significativas. Dessa forma as variáveis abordadas 1 - Orientação a Serviço, 2 - Decisão com base em dados e 3 - Ciclo de Vida PLM, estão em uma linha contínua representando que a variância entre elas não existiu, enfatizando que todas as análises feitas estão corretas. Portanto, o estudo mostra que as três sub dimensões estudadas nessa pesquisa se correlacionam entre si.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise de correlação os resultados demonstram que o Ciclo de Vida do Produto dentro da cadeia de valor é diretamente ligado a forma que a empresa estar voltada a sua prestação de serviço e suas tomadas de decisões com base nos seus dados, sendo possível identificar que a maturidade da empresa estudada em nível de indústria 4.0, pode melhorar ou decair dentro da dimensão modelo de negócio em 50%, visto que dentro dela só existem 6 (seis) sub dimensões e 3 (três) delas se correlacionam.

As discussões atribuídas enriqueceram os resultados comprovando as correlações entre Orientação a Serviço, Decisão com base em dados e Ciclo de Vida PLM, são realmente existentes, mostrando também que a organização precisa ajustar seus investimentos na variável, para que ocorra um crescimento por igual.

Analisando da forma metodológica descrita, a empresa chegou na média de maturidade 2, já que foi evidenciada a presença de automação em suas linhas, contudo com baixa integração entre elas.

Dessa forma esse estudo sugere investigar outras dimensões que não foram abordadas, de forma a ser desenvolver um estudo comparativo. E por fim, a aplicação da metodologia utilizada foi adequada para alcançar os objetivos propostos, validando os resultados alcançados.

REFERÊNCIAS

- Azevedo, A., Santiago, S. B. (2019). Design of an Assessment Industry 4.0 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Toronto, ON, Canadá, p. 23-25.
- Baba, R. K., Vaz, M. S. M. Gomes, C. J. (2014). Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, p. 515-526.
- Costa, C. E. S, da *et al.* (2023). Aplicação das Ferramentas de Qualidade-Control e Estatísticos de Processos e Diagrama de Ishikawa na determinação da Qualidade de um processo produtivo de Limão. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 5, p. 1794- 1819.
- Davies, R. (2015). Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth.
- De Souza, S. S., *et al.* (2020). Metanálisis de los modelos de madurez de la indústria 4.0. *Interciencia*, v. 45, n. 8, p. 397-400.
- Dikhanbayeva D., Shaikholla, S., SULEIMAN, Z., Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. *Sustainability*, v. 12, n. 23, p. 9927.
- Drath, R., Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, v. 8, n. 2, p. 56-58.
- Du, P. Li, Dan; Wang, A., Shen, S., Ma, Z., Li, X. (2021). A systematic review and meta-analysis of risk factors associated with severity and death in COVID-19 patients. *Journal canadien des maladies infectieuses et de la microbiologie medicale [The Canadian journal of infectious diseases & medical microbiology]*, v. 2021, p. 1–12.
- Ferreira, S. M. P., Botelho, L. (2014). O emprego industrial na Região Norte: o caso do Polo Industrial de Manaus. *Estudos avançados*, v. 28, p. 141-154.
- Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 escenarios. In: 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). p. 3928-3937, IEEE.
- Itikawa, M. (2022). Diagnóstico da maturidade de empresa do Polo Industrial de Manaus sob métricas da indústria 4.0: estudo de caso comparativo sob a perspectiva da Lei de Informática.
- Kagermann, H., Wahlster, W. (2022). Ten years of Industrie 4.0. *Sci*, v. 4, n. 3, p. 26.
- Lima, G. de S., Santiago, S. B., De Oliveira Júnior, M. C. (2024). Análise da Maturidade na Indústria 4.0: Um Estudo de Caso no Polo Industrial de Manaus utilizando o sistema PIMM4. 0.Org.br.Disponívelem:<https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/arquivos/09282022_120933_6_3346f29b8e32.pdf>. Acesso em: 7 set.

Marconi, M. de A., Laka.tos, E. M. (2017). Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas.

Oliveira, T. C. T. de., Silva, A. C. G. C., Santos, P., V., S. (2023). Aplicação do Controle Estatístico de Processo: estudo aplicado em fabricante de chapas de gesso Drywall. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 8, n. 1, p. 59-66.

Pereira, A., De Oliveira Simonetto, E. (2018). Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 16, n. 1.

Ribeiro, J. L. D., Caten, C. (2012). Série Monográfica Qualidade–Controle Estatístico do Processo. Porto Alegre: Feeng/UFRGS.

Sacomano, J. B. *et al.* (2018). Indústria 4.0. Editora Blucher.

Sakurai, R., Zuchi, J. D. (2018). As revoluções industriais até a indústria 4.0. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 2, p. 480-491.

Santiago, S. B., De Souza Júnior, A. A. (2022). Maturity and readiness of the Manaus industrial pole: case study of the television product. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 39543-39556.

Santos, B. P. *et al.* (2018). Indústria 4.0: desafios e oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, p. 111-124.

Santos, R. C., Martinho, J. L. (2020). An Industry 4.0 maturity model proposal. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 31, n. 5, p. 1023-1043.

Schlaepfer, Dr R. C., Koc, M. (2015). Deloitte AG, Industry 4.0: Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies, Audit, Tax, Consulting. Corporate Finance.

Silva, E. G. *et al.* (2023). Análises estatísticas JASP: um guia introdutório.

SILVA, R. M., Santos Filho, D. J., Miyagi, P. E. (2015). Modelagem de Sistema de Controle da Indústria 4.0 Baseada Em Holon, Agente, Rede de Petri e Arquitetura Orientada a Serviços. Conference: XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI).

Soriano, F. R., Oprime, P. C., Lizarelli, F. L. (2020). Os fatores que devem ser considerados para uma efetiva implantação do controle estatístico de processo (CEP): uma revisão de literatura. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, v. 15, n. 1, p. 71-71.

Sousa, E. E. M. (2024). Avaliação de modelos de maturidade da indústria 4.0 baseada em princípiosdedesign. Disponível em <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_359_1849_42596.pdf>. Acesso em: 7 set.

Suframa. (2024). Zona Franca de Manaus - ZFM. Disponível em: <<https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm>>. Acesso em: 8 set. 2024.

Xu, X. *et al.* (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. Journal of manufacturing systems, v. 61, p. 530-535.



Avaliação da Maturidade na Indústria 4.0: Impactos na Gestão de Estoques em Tempo Real em Uma Empresa do Segmento Eletroeletrônico no Polo Industrial de Manaus

Vinícius de Lima Lopes

Fabício Rodrigues Nunes

John Dalton Costa Pimentel

Franciane Souza Meireles

Sandro Breval Santiago

Resumo: Objetivo: Avaliar a maturidade da gestão de estoques em tempo real em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, analisando os impactos da Indústria 4.0 no segmento de cadeia de suprimentos por meio do modelo PIMM 4.0. Referencial Teórico: A Indústria 4.0 integra tecnologias como IoT, Big Data e sistemas ciberfísicos, que promovem automação e eficiência. No contexto do Polo Industrial de Manaus, incentivos fiscais estimularam o desenvolvimento tecnológico, mas desafios como capacitação permanecem. Método: Um estudo de caso utilizou o modelo PIMM 4.0 para coletar dados e aplicar regressão linear múltipla via Excel, verificando pressupostos estatísticos. O método Forward identificou variáveis-chave no monitoramento de estoques. Resultados e Discussão: A implementação da Indústria 4.0 mostrou impacto positivo nos estoques em tempo real, enquanto a preparação foi menos significativa. Apesar de o modelo explicar apenas 10% da variabilidade, a relevância das tecnologias é evidenciada, apontando lacunas na maturidade organizacional. Implicações da Pesquisa: Os resultados reforçam a importância de estratégias de transformação digital alinhadas à Indústria 4.0 para otimizar estoques, fornecendo insights práticos para gestores industriais. Originalidade/Valor: Este estudo oferece uma análise específica do Polo Industrial de Manaus, destacando o uso do modelo PIMM 4.0 e as contribuições da Indústria 4.0 para a gestão eficiente de estoques em um ambiente de alta competitividade.

Palavras-chave: Indústria 4.0; maturidade organizacional; gestão de estoques; regressão linear múltipla; seleção de variáveis Forward.

INTRODUÇÃO

O conceito de Indústria 4.0 abrange um espectro de tecnologias, incluindo a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Computação em Nuvem, Manufatura Aditiva, Robótica Avançada e Big Data. Essas tecnologias estão transformando as fábricas em ambientes altamente digitalizados e conectados, onde máquinas se comunicam e cooperam uns com as outras de forma autônoma. Tal avanço, está permitindo não apenas a automação dos processos, mas também a personalização dos produtos sem perder a essência de produção em massa e reduzindo os custos operacionais, melhorando a qualidade e a flexibilidade na produção (Lasi *et al.*, 2014, Kagermann *et al.*, 2013). Nesse contexto de inovações, criado na década de 1960, é um dos maiores complexos industriais da América Latina, o Polo Industrial de Manaus, historicamente, tem se destacado na produção

de eletroeletrônicos, motocicletas e entre outros produtos. Com a transição para indústria 4.0, desempenha um papel vital para ambientação digital das fabricas.

Com a transição para indústria 4.0, um dos principais obstáculos, segundo Gonçalves *et al.* (2021), é a necessidade de capacitação de mão de obra. A Indústria 4.0 exige habilidades e conhecimentos específicos em áreas como tecnologia da informação, engenharia de automação, análise de dados e inteligência artificial. Portanto, o que proporciona investimentos em programas de qualificação e requalificação de trabalhadores, para adaptar-se às novas demandas do mercado de trabalho.

O que torna um período magnífico para o desenvolvimento de novas tecnologias, novos métodos e processos que possam impulsionar o crescimento de empresas. Para demonstrar tal inovação, Itikawa e Santiago (2021) afirmam que para medir a maturidade e a prontidão das empresas, é essencial definir um plano para alcançar a transformação digital com êxito, com essa afirmação, este artigo vem apresentar uma avaliação dos processos de uma fabricante de televisores e eletroeletrônicos, localizada no Polo industrial de Manaus, fornecendo informações que se relacionam com o grau de maturidade e o que pode ser explorado para uma avaliação mais precisa, oferecendo insights e interpretações para entender melhor esse aspecto e como a inclusão da indústria 4.0, impacta nesses processos. Para isso, focando em três seguimentos, preparação a indústria 4.0, implementação da indústria 4.0 e estoque em tempo real, das dimensões manufatura e operações, estratégia e organização e cadeia de suprimentos. O material e o método utilizado para o estudo de avaliação de maturidade, foram coletados e baseado no sistema PIMM4.0, desenvolvido por Itikawa e Santiago (2021), que realiza uma digitalização das cadeias produtivas, que permite a coleta e análise de dados em tempo real, proporcionando maior controle e otimização dos processos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Indústria 4.0

A Indústria tem demonstrado a assimilação de uma revolução iminente, impulsionada pela latente competitividade do mercado. As empresas estão em uma corrida cada vez mais intensa, buscando soluções que permitam aumentar a produtividade ao menor custo possível. Esse movimento é sustentado pela operação conjunta e pela integração entre diversas tecnologias, que juntas formam a base dessa nova era industrial (Souza *et al.*, 2020).

Na quarta revolução industrial consiste na utilidade dos sistemas ciberfísicos, na qual sensores captam estímulos e acionam ações no sistema, transmitindo dados para armazenamento e processamento via Big Data. A IoT conecta dispositivos à internet, permitindo a troca de informações entre eles (Lima & Gomes, 2020). Esses sistemas permitem que redes inteligentes nas empresas controlem autonomamente módulos de produção e monitorem em tempo real informações sobre o estoque

e a Cadeia de Suprimentos. Essa integração aprimora a eficiência operacional, permitindo uma gestão mais precisa e ágil dos recursos e processos industriais.

Maturidade da indústria 4.0 e Polo Industrial de Manaus (PIM)

Através da Lei nº 8.387/91, criada para minimizar os impactos da Lei nº 8.248/91, que estendeu incentivos fiscais a outras regiões do Brasil, a Zona Franca de Manaus (ZFM) assimilou uma grande parcela de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) e da Indústria

4.0. A Lei nº 8.387 garantiu isenções do IPI e reduções no Imposto de Importação, permitindo que empresas do Polo Industrial de Manaus (PIM) permanecessem competitivas. Esses incentivos estimularam o desenvolvimento de tecnologia da informação e comunicação, além de impulsionar a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 na região (Rey, 2019).

A Indústria 4.0 representa uma evolução tecnológica, caracterizado pela automação avançada, sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT) e integração digital completa em processos industriais. No Polo Industrial de Manaus (PIM), a adoção dessas tecnologias tem sido um desafio contínuo, com as organizações apresentando dificuldades em desenvolver metodologias eficazes para implementar a Quarta Revolução Industrial. Essas dificuldades afetam diretamente a capacidade de melhorar os processos organizacionais e a maturidade tecnológica do setor (Sonntag, 2022).

Modelos de maturidade têm sido amplamente utilizados para avaliar esse progresso (Schumacher *et al.*, 2016). A maturidade da Indústria 4.0 depende da capacidade das indústrias de integrarem novas tecnologias em suas operações diárias, tais condições tendem a pressionar para que as empresas do PIM se adaptem às novas demandas do mercado. A globalização e o aumento da competitividade fazem com que as organizações busquem, continuamente, formas de manter o crescimento sustentável, implementando tecnologias que otimizem a produção e reduzam custos operacionais.

A maturidade da Indústria 4.0 é definida pela capacidade das empresas de se integrarem completamente às novas tecnologias, criando uma cadeia de produção altamente automatizada e interconectada (Itikawa; Santiago, 2021). No caso do PIM, isso implica em desenvolver estratégias de planejamento que alinhem as metas de produtividade com os avanços tecnológicos nesse sentido, a Indústria 4.0 oferece uma solução para lidar com a escassez de recursos e aumentar a competitividade industrial com menor desperdício. No atual cenário o caminho para a maturidade plena ainda é longo, mas os esforços conjuntos entre governo, empresas e academia podem acelerar esse processo e posicionar o PIM como um polo de referência na Indústria 4.0.

METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a maturidade de empresa do segmento eletroeletrônico/bens de informática do PIM, relativamente à variável “Estoque em tempo real” da dimensão cadeia de suprimentos em relação aos requisitos da Indústria 4.0, utilizando um estudo de caso como método de pesquisa. Essa abordagem foi escolhida por permitir uma análise contextualizada e aprofundada das operações da empresa, fornecendo uma compreensão detalhada das variáveis envolvidas.

As tecnologias da Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial e sistemas ciberfísicos, estão transformando os processos industriais, promovendo maior conectividade, automação e controle em tempo real. No Polo Industrial de Manaus, essa evolução é crucial para sustentar a competitividade e eficiência das empresas. Este estudo avalia especificamente o impacto da preparação e implementação dessas tecnologias na gestão de estoques em tempo real, com base em dados coletados e processados por sistemas digitais integrados.

A seguir, detalham-se as principais etapas metodológicas seguidas no estudo.

Coleta de Dados

Os dados foram obtidos diretamente do sistema PIMM 4.0®, um modelo de maturidade voltado para a digitalização e monitoramento em tempo real das cadeias produtivas. Esse sistema permite capturar informações detalhadas sobre os processos de manufatura, operações, estratégia organizacional e cadeia de suprimentos, possibilitando a avaliação da preparação e implementação das tecnologias da Indústria 4.0.

Avaliação de Maturidade

Para fins de levantamento e análise foi utilizada uma amostra dimensional da cadeia de suprimentos da variável estoque em tempo real. O modelo PIMM4.0® fornece uma estrutura robusta para medir o nível de digitalização, permitindo uma análise abrangente da integração de processos industriais e da aplicação das tecnologias da Indústria 4.0. A avaliação ajudou a identificar as lacunas existentes entre a prática atual da empresa e os padrões de excelência exigidos pela Indústria 4.0.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o Microsoft Excel, ferramenta amplamente utilizada para o tratamento de dados e análise quantitativa. O Excel foi empregado para organizar, processar e analisar os dados coletados, aplicando o método de regressão linear múltipla com o método de seleção de variáveis Forward (seleção progressiva). Esse método permite a inclusão gradual de variáveis no modelo, começando com a variável mais significativa e adicionando outras variáveis

conforme o critério de significância estatística (p- valor) até que não haja mais variáveis significativas a serem inseridas.

O procedimento de seleção de variáveis Forward foi implementado utilizando o recurso de regressão do Excel, a seleção Forward é baseada na noção de que as variáveis devem ser inseridas uma por vez, até que uma equação de regressão satisfatória seja obtida (Ronald E. Walpole... [*et al.*], 2009, p.307). Em cada passo, a inclusão de novas variáveis no modelo foi testada com base no seu valor-p. A inclusão continuou até que nenhuma variável adicional tivesse um valor-p abaixo do nível de significância definido ($p < 0,05$).

A equação de regressão linear múltipla (equação 1) resultante foi:

$$YY = \beta\beta_0 + xx_1 * \beta\beta_1 + xx_2 * \beta\beta_2 \quad (1)$$

Onde:

Y representa o valor previsto do estoque em tempo real;

$\beta\beta_0$ é o coeficiente de interseção;

$\beta\beta_1$ e $\beta\beta_2$ são os coeficientes das variáveis independentes xx_1 (preparação da Indústria 4.0) e xx_2 (implementação da Indústria 4.0), selecionadas por meio do método Forward.

Os dados foram inseridos no Excel, onde foram realizados os cálculos dos coeficientes e a análise de variância (ANOVA). Além disso, o Excel foi utilizado para gerar os gráficos necessários à interpretação dos resíduos e da qualidade do ajuste do modelo.

Pressupostos da Regressão Linear Múltipla

Para garantir a validade do modelo de regressão linear múltipla, foram verificados os seguintes pressupostos:

Linearidade: Pressupõe-se que a relação entre as variáveis independentes (preparação e implementação da Indústria 4.0) e a variável dependente (estoque em tempo real) seja linear. A linearidade foi verificada por meio da análise gráfica no Excel, utilizando gráficos de dispersão entre as variáveis independentes e o estoque em tempo real.

Independência dos Erros (Independência Residual): Os resíduos do modelo (diferença entre os valores previstos e os valores observados) devem ser independentes. Para testar esse pressuposto, foi utilizado o teste de Durbin-Watson, que verifica a correlação serial entre os resíduos.

Homoscedasticidade: Os resíduos devem apresentar variância constante ao longo dos valores previstos. A homoscedasticidade foi analisada visualmente por meio do gráfico de dispersão dos resíduos gerado no Excel, verificando-se se os resíduos estavam distribuídos de forma uniforme ao longo do intervalo de valores previstos.

Normalidade dos Erros: Os resíduos devem seguir uma distribuição normal. Para verificar esse pressuposto, foi utilizado o histograma dos resíduos gerado no Excel, além da análise da normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk.

Esses pressupostos foram cuidadosamente analisados para assegurar que o modelo de regressão linear múltipla fosse adequado e que os resultados fossem robustos.

Teste de Hipóteses

Os testes de hipóteses foram conduzidos para avaliar a significância dos coeficientes da regressão. As hipóteses formuladas foram as seguintes:

Hipótese nula (HH_0): $\beta\beta_1 = \beta\beta_2 = 0$, indicando que a preparação e implementação da Indústria 4.0 não têm impacto significativo sobre o estoque em tempo real.

Hipótese alternativa (HH_{aa}): $\beta\beta_1 \neq 0$ ou $\beta\beta_1 = 0$ ou $\beta\beta_2 \neq 0$ ou $\beta\beta_2 = 0$, sugerindo que pelo menos uma das variáveis independentes influencia significativamente o estoque em tempo real. Os testes de hipóteses foram realizados no Excel, utilizando o teste F para determinar a significância global do modelo, com um nível de significância de $p < 0,05$. A ferramenta de análise de dados do Excel foi fundamental para automatizar o cálculo desses valores e facilitar a interpretação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos coeficientes calculados pelo método Forward, a equação de regressão mostra que tanto a preparação quanto a implementação da Indústria 4.0 impactam positivamente o monitoramento do estoque em tempo real, ainda que em magnitudes diferentes. A análise dos resíduos foi realizada no Excel, por meio de gráficos de dispersão que permitiram verificar a homoscedasticidade e linearidade dos dados, confirmando a adequação do modelo. Os valores-p calculados no Excel foram usados para validar a significância dos coeficientes, garantindo a robustez estatística das conclusões obtidas. Os gráficos de resíduos gerados no Excel também demonstraram que o modelo atende aos pressupostos necessários, validando assim a qualidade das previsões.

Tabela 1 - Resumo estatístico do cálculo da base de dados pela regressão linear múltipla.

Estatística de Regressão		
R-múltiplo	0,31	É o coeficiente de correlação entre o valor de estoque observado com o valor de estoque estimado.
R-Quadrado	0,10	Coeficiente de determinação.
R-Quadrado ajustado	0,07	Coeficiente de determinação ajustado.
Erro padrão	0,85	Erro obtido pela equação em unidade pela média.
Observações	85,00	Quantidade de dados posto em colunas.

R-múltiplo = coeficiente de correlação; R-quadrado = coeficiente de determinação; R-quadrado ajustado = Coeficiente de determinação ajustado.

O valor de R-quadrado (Tabela 1) determina a porcentagem de 10% do quanto a Preparação e Implementação da Indústria 4.0 influenciam em Estoque Tempo Real desta empresa do segmento eletroeletrônico no Polo Industrial de Manaus. Este valor de 10% indica baixa efetividade destas subdimensões ao monitoramento de estoque tempo real, logo significando que outras variáveis da base de dados têm maior impacto para descrevê-la, correspondendo a 90%.

Esta porcentagem de R-quadrado mostra a quantidade de variação no estoque tempo real (variável dependente) sendo explicada por preparação e implementação da indústria 4.0 (variáveis independentes), mantendo-se no intervalo de 0 a 1. À medida que R-quadrado aumenta, mais a variação nos dados é explicada pelo modelo e melhor a previsão destacando a importância destas subdimensões para a empresa. Um R-quadrado baixo indica que o modelo não se ajusta bem aos dados, e que a preparação e implementação da indústria 4.0 não explicam bem o estoque tempo real, ou seja, o valor destas informações indica peso mínimo para a tomada de decisão. Uma observação pertinente, é analisar no gráfico de resíduos, para que o R-quadrado não possa determinar se as estimativas e previsões dos coeficientes da regressão sejam tendenciosas, como mostra a seção discussão deste artigo.

A base de dados representada pelos grupos amostrais foi obtida pelo PIMM 4.0®, com a finalidade de construir a análise de variância (Tabela 2) das variáveis para interpretar os resultados do modelo de regressão linear múltipla, através da soma de quadrados para cada fonte de variação do modelo e verificar o teste F (teste de hipótese). As informações geradas na análise de variância estão resumidas na tabela abaixo. Nela são apresentados os graus de liberdade calculados pela quantidade de variáveis independentes, a soma de quadrados mede a variação dos dados, o quadrado médio estima a variação total dos dados e por fim o teste F de significância.

Tabela 2 - Análise de variância dos dados calculada pelo modelo de regressão linear múltipla.

ANOVA	GL	SQ	QM	F	F de significação
Regressão	2	6,26	3,13	4,35	0,02
Resíduo	82	58,97	0,72		
Total	84	65,22			

GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = teste f; F de significação = intervalo de confiabilidade.

A formulação do teste de hipótese precisa responder ao quanto a preparação e implementação da indústria 4.0 impactam no monitoramento de estoque tempo real, e o quanto é visto nesta empresa?

No decorrer de toda a análise, estes requisitos devem atender aos pressupostos de validação do modelo, a suposição de linearidade, independência residual, igualdade das variâncias e normalidade, começamos pelo teste de hipótese, como mostra as equações 2 e 3 para a hipótese nula HH_0 e alternativa HH_{aa} respectivamente:

$$HH_0: \beta\beta_1 = \beta\beta_2 = 0 \quad (2)$$

Pelos valores nulos dos coeficientes da regressão a hipótese nula deixa claro que não há correlação das variáveis independentes, implementação e preparação da indústria 4.0 que especifique o monitoramento de estoque em tempo real nesta empresa. Caso a hipótese nula seja rejeitada utilizamos a hipótese alternativa, no qual somente uma variável independente, a preparação da indústria 4.0 ou a implementação da indústria 4.0 correlaciona com o estoque tempo real.

$$HH_{aa}: \text{não } HH_0 \quad (3)$$

O pressuposto para a validação de significância do modelo de regressão linear múltipla aplicado aos dados, o teste F, com o nível F de significação = 0.02 (valor calculado pela ANOVA na tabela 2) em comparação com o valor de $p = 0.05$ (temos 5% de significância, corresponde ao intervalo de confiança de 95%), como F significação da Anova é menor que o nível de significância p da regressão, revela que o modelo como um todo é significativo, apontando que um dos coeficientes $\beta\beta_1$ ou $\beta\beta_2$ é diferente de zero, rejeitando a hipótese nula, ou seja, o método aplicado ao estudo de caso desta empresa do segmento eletroeletrônico justifica-se como válido para a análise.

Tabela 3 - Calculada pelo modelo de regressão linear múltipla.

	Coefficien- tes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	1,50	0,29	5,12	0,000002	0,92	2,09	0,92	2,09
Preparação Indústria 4.0	0,11	0,12	0,90	0,37	-0,13	0,34	-0,13	0,34
Implemen- tação Indús- tria 4.0	0,31	0,12	2,50	0,01	0,06	0,56	0,06	0,56

Coefficientes = valores numéricos relacionados as inclinações e intersecção da regressão; erro padrão = distância média calculada em relação a reta de regressão; Stat t = determina se a inclinação da linha de regressão é significativamente diferente de zero.

A hipótese alternativa é aceita, portanto uma comparação torna-se pertinente do valor- p dos coeficientes preparação indústria 4.0 e implementação indústria 4.0 calculado na tabela 3 com o valor- p de significância do modelo, assim averiguar a proporção dos 10% obtida pelo R- quadrado para analisar as duas variáveis independentes em qual exerce o maior impacto em estoque tempo real. Novamente o teste de hipótese é necessário, enfatizando desta vez uma variável independente por vez, a rejeição de HH_0 implica que a equação de regressão difere de uma constante. Ou seja, pelo menos uma variável regressora é importante (Ronald E. Walpole... [et al.], 2009, p.292).

Começemos por preparação indústria 4.0 utilizando o teste de hipótese nula HH_0 (equação 4) e alternativa HH_{aa} (equação 5) da seguinte maneira:

$$HH_0: \beta\beta_1 = 0 \quad (4)$$

$$HH_{aa}: \beta\beta_1 \neq 0 \quad (5)$$

O valor- p para a preparação indústria 4.0 é igual a 0.37, indicado na tabela 3, sendo maior que o nível de significância 0.05 do modelo de regressão, logo, a hipótese nula é aceita, sendo assim, expressa que esta variável não possui importância para o estudo de caso realizado nesta empresa do segmento eletroeletrônico.

O teste de hipótese nula HH_0 e alternativa HH_{aa} em implementação indústria 4.0, é aplicado como mostra as equações 6 e 7 respectivamente:

$$HH_0: \beta\beta_2 = 0 \quad (6)$$

$$HH_{aa}: \beta\beta_2 \neq 0 \quad (7)$$

A implementação a indústria 4.0, possui valor- p igual a 0.01, como mostra a tabela 3, este valor é menor que valor- p de significância, 0.05 da regressão, ou seja, a hipótese nula é rejeitada, portanto a implementação indústria 4.0 explica o monitoramento de estoque tempo real desta análise. Deve-se salientar que o diagnóstico estatístico leva em consideração que a preparação indústria 4.0 é um fator de relevância para o escopo da análise, devido ao método Forward de escolha de variáveis e, portanto, a decisão de mantê-la no modelo de regressão faz-se pertinente.

Esta verificação permite destacar como os coeficientes $\beta\beta_1$ e $\beta\beta_2$ (Tabela 3) relacionam-se com preparação indústria 4.0 e implementação indústria 4.0 respectivamente, concerne a equação 8 utilizar os dados para gerar resultados preditivos e critérios da análise. O valor- p para os coeficientes das variáveis independentes, fornecem a probabilidade de obter uma amostra mais próxima aquela utilizada para derivar a equação de regressão, ou seja, verificar a inclinação da reta de regressão, se possui um valor nulo ou se os coeficientes são próximos aos valores calculados. Um valor- p baixo indica 95% de confiança, a inclinação da linha de regressão não é nula e portanto, existe uma relação linear significativa entre a preparação e implementação da indústria 4.0 com o estoque tempo real. Um valor- p maior que 0.05 indica que a inclinação da linha de regressão pode ser nula e não há evidências suficientes, ao nível de confiança 95%, da existência de uma relação linear significativa entre a preparação da indústria 4.0 e implementação da indústria 4.0 com estoque tempo real.

A regressão linear múltipla permitiu realizar previsões para o monitoramento de estoque tempo real (YY) utilizando os valores de $\beta\beta_0 = 1.50$, $\beta\beta_1 = 0.10$ e $\beta\beta_2 = 0.31$, estes dois últimos coeficientes retirados da tabela 3 relacionam-se respectivamente com a preparação da indústria 4.0 (xx_1) e implementação da indústria 4.0 (xx_2) como mostra a equação 8.

$$YY = 1.50 + xx_1 * 0.10 + xx_2 * 0.31 \quad (8)$$

Os valores previstos pelo modelo de regressão estão calculados com seus respectivos resíduos para cada valor das 85 amostras e organizados na tabela 4.

Tabela 4 - Valores previstos pela equação 7 ao estoque tempo real com seus resíduos.

Observação	Previsto Estoque em Tempo Real	Resíduos	Resíduos padrão
1,00	2,76	0,24	0,29
2,00	2,03	-1,03	-1,23
3,00	2,03	-1,03	-1,23
4,00	2,44	-1,44	-1,72
5,00	1,92	0,08	0,09
6,00	2,86	1,14	1,36
7,00	2,23	-0,23	-0,28
8,00	2,34	0,66	0,79
9,00	2,44	-0,44	-0,53
10,00	2,13	0,87	1,04
11,00	2,23	-0,23	-0,28
12,00	2,65	0,35	0,42
13,00	2,23	0,77	0,91
14,00	2,23	-0,23	-0,28
15,00	2,34	-0,34	-0,40
16,00	2,03	-1,03	-1,23
17,00	1,92	-0,92	-1,10
18,00	2,03	0,97	1,16
19,00	1,92	-0,92	-1,10
20,00	2,76	-1,76	-2,10
21,00	2,03	-1,03	-1,23
22,00	2,34	0,66	0,79
23,00	1,92	0,08	0,09
24,00	2,44	0,56	0,66
25,00	2,44	0,56	0,66
26,00	1,92	1,08	1,29
27,00	2,34	-0,34	-0,40
28,00	2,76	0,24	0,29
29,00	2,76	1,24	1,48
30,00	2,44	-0,44	-0,53
31,00	2,55	-1,55	-1,85
32,00	2,23	-0,23	-0,28
33,00	2,44	-1,44	-1,72
34,00	1,92	-0,92	-1,10

Observação	Previsto Estoque em Tempo Real	Resíduos	Resíduos padrão
35,00	1,92	1,08	1,29
36,00	1,92	1,08	1,29
37,00	1,92	0,08	0,09
38,00	1,92	0,08	0,09
39,00	2,23	0,77	0,91
40,00	2,65	-0,65	-0,78
41,00	2,23	-0,23	-0,28
42,00	2,34	-0,34	-0,40
43,00	2,23	-1,23	-1,47
44,00	1,92	-0,92	-1,10
45,00	2,34	-0,34	-0,40
46,00	2,34	-1,34	-1,60
47,00	2,34	0,66	0,79
48,00	2,34	0,66	0,79
49,00	2,03	-1,03	-1,23
50,00	2,03	-0,03	-0,03
51,00	2,65	-0,65	-0,78
52,00	2,44	0,56	0,66
53,00	2,34	-0,34	-0,40
54,00	2,34	-0,34	-0,40
55,00	2,76	0,24	0,29
56,00	2,55	0,45	0,54
57,00	2,44	1,56	1,86
58,00	2,03	-0,03	-0,03
59,00	2,76	0,24	0,29
60,00	2,03	-0,03	-0,03
61,00	2,34	-0,34	-0,40
62,00	2,03	-0,03	-0,03
63,00	2,23	-0,23	-0,28
64,00	2,23	-0,23	-0,28
65,00	2,34	-0,34	-0,40
66,00	2,23	0,77	0,91
67,00	2,13	0,87	1,04
68,00	2,24	0,76	0,91
69,00	2,23	-0,23	-0,28

Observação	Previsto Estoque em Tempo Real	Resíduos	Resíduos padrão
70,00	2,03	-0,03	-0,03
71,00	2,86	1,14	1,36
72,00	1,92	1,08	1,29
73,00	2,03	1,97	2,36
74,00	2,65	-0,65	-0,78
75,00	2,65	1,35	1,61
76,00	2,65	-0,65	-0,78
77,00	1,92	0,08	0,09
78,00	1,92	2,08	2,48
79,00	2,13	-1,13	-1,35
80,00	2,03	-0,03	-0,03
81,00	2,44	-1,44	-1,72
82,00	2,76	0,24	0,29
83,00	2,34	0,66	0,79
84,00	2,23	0,77	0,91
85,00	2,34	-0,34	-0,40

Observação = número de amostras; Previsto Estoque em Tempo Real = valores calculados pela equação de regressão; Resíduos = diferença entre os valores coletados em relação aos gerados pela equação de regressão.

O estoque tempo real mede a mudança no valor médio associado a variações unitárias de preparação da indústria 4.0 e implementação da indústria 4.0 correspondentes, mantendo as outras variáveis constantes. Os resíduos da tabela 4, calcula a diferença entre o valor real da base de dados com valor previsto do modelo de regressão (equação 8), ou seja, destaca o desvio calculado pelo modelo em relação ao valor original da base de dados. A saída residual dos valores da preparação indústria 4.0 e implementação indústria 4.0 para cada ponto dos dados é apresenta nas figuras 1 e figura 2.

Figura 1 - Implementação Indústria 4.0, plotagem de resíduos.

Implementação Indústria 4.0, plotagem de resíduos.

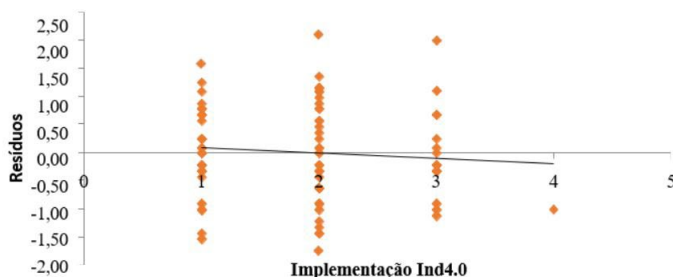
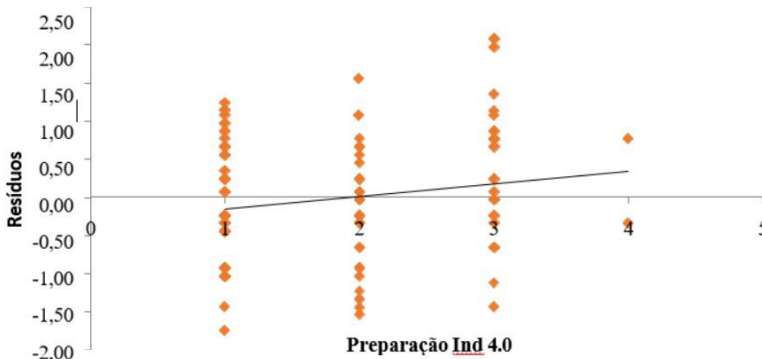


Figura 2 - Preparação Indústria 4.0, plotagem de resíduos.

As figuras 1 e 2 nos mostram a distribuição aleatória dos resíduos ao redor da linha de tendência, isso sugere que o modelo está bem ajustado para a preparação indústria 4.0 e implementação indústria 4.0, respeitando as suposições de homoscedasticidade e linearidade. A coluna de resíduo padrão mostra o desvio estimado do erro da equação 8 de regressão, sendo uma boa medida de acurácia da reta de regressão.

A verificação dos pressupostos de interesse para modelo de regressão linear múltipla aplicado ao estudo de caso da empresa do segmento eletroeletrônico do polo industrial de Manaus.

A suposição de linearidade refere-se à de relação entre as variáveis independentes (as preditoras preparação indústria 4.0 e implementação indústria 4.0) e variável dependente (resposta estoque tempo real) é linear, ou seja, efeito de cada variável independente sobre a variável dependente é proporcional e constante. A verificação do pressuposto de linearidade é efetuada pela plotagem de cada variável independente utilizada no modelo com a variável dependente em gráfico de dispersão para observar a distribuição dos dados, como apresenta as figuras 3, 4 e 5.

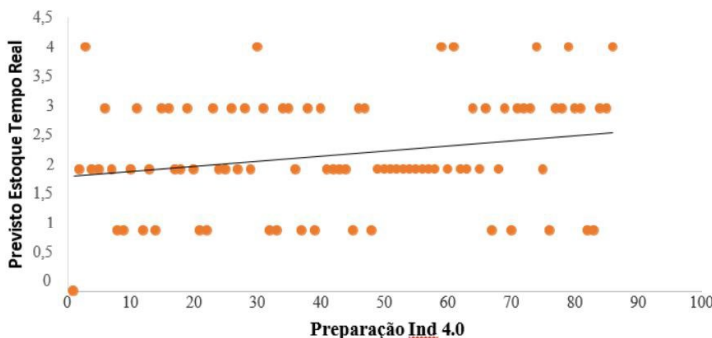
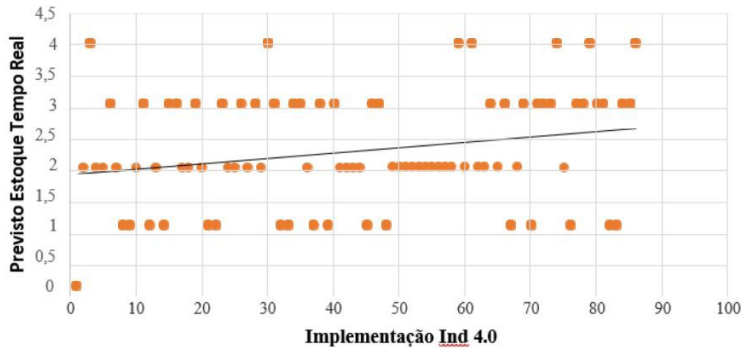
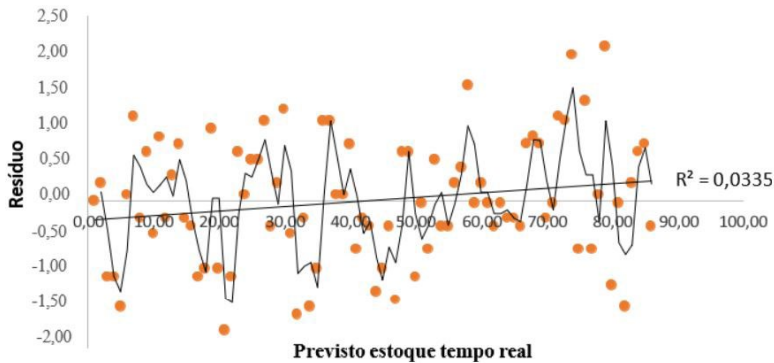
Figura 3 - Plotagem da distribuição dos dados para Estoque Tempo Real em relação a Preparação Indústria 4.0.

Figura 4 - Plotagem da distribuição dos dados para Estoque Tempo Real em relação Implementação Indústria 4.0.



A inspeção feita na figura 5 fica evidente que a distribuição dos dados calculados pelo modelo de regressão é aleatória tendo como referência o eixo horizontal. A reta que atravessa a dispersão dos dados é chamada de tendência, deixa clara a baixa efetividade de apenas 10% do R-quadrado das variáveis preparação e implementação da indústria 4.0 pela análise do modelo para o estoque em tempo real.

Figura 5 - Distribuição dos resíduos calculados com o Previsto Estoque Tempo Real.



Apesar das relações individuais apresentadas nas figuras 3 e 4 entre previsto estoque tempo real com a preparação indústria 4.0 e implementação indústria 4.0 não parecerem perfeitamente lineares, no entanto a figura 5, indica que o modelo de regressão linear múltipla captura bem a relação linear combinada. Isso sugere que a suposição de linearidade do modelo é atendida.

A suposição de independência é utilizar a estatística do teste d de Durbin-Watson que varia no valor de 0 a 4. O cálculo do valor d é dada pela equação 9, neste teste há três condições de comparação para o valor de d que indicam detectar a presença de autocorrelação nos resíduos no modelo de regressão. A autocorrelação ocorre quando os resíduos do modelo não são independentes entre si, ou seja, o erro calculado pela equação 9, verifica o acúmulo ou não de erros que se propagam por todo o resultado calculado pelo modelo de regressão.

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{e}_t - \hat{e}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n} \hat{e}_t^2} \quad (9)$$

$d \approx 2$ sugere que não há autocorrelação.

$d < 2$ sugere autocorrelação positiva.

$d > 2$ sugere autocorrelação negativa

Os valores calculados para o teste d é apresentado na tabela 5, utilizando os resíduos da tabela 4 mostrada anteriormente, logo abaixo da tabela.

Tabela 5 - Valores calculados pela equação 8 dos seus resíduos para o teste Durbin-Watson.

Resíduos	$\hat{e}_{tt} - \hat{e}_{tt-11}$	$(\hat{e}_{tt} - \hat{e}_{tt-11})^2$	\hat{e}_{tt}^2	$\sum_{tt=22}^{tt=nn} (\hat{e}_{tt} - \hat{e}_{tt-11})^2$	$\sum_{tt=11}^{tt=nn} \hat{e}_{tt}^2$
0,24	-1,27	1,61	0,06	103,73	58,97
-1,03	0,00	0,00	1,05		
-1,03	-0,42	0,17	1,05		
-1,44	1,52	2,32	2,09		
0,08	1,06	1,13	0,01		
1,14	-1,38	1,89	1,30		
-0,23	0,89	0,80	0,05		
0,66	-1,11	1,22	0,44		
-0,44	1,31	1,72	0,20		
0,87	-1,10	1,21	0,75		
-0,23	0,58	0,34	0,05		
0,35	0,42	0,17	0,12		
0,77	-1,00	1,00	0,59		
-0,23	-0,11	0,01	0,05		
-0,34	-0,69	0,47	0,11		
-1,03	0,11	0,01	1,05		
-0,92	1,89	3,59	0,85		
0,97	-1,89	3,59	0,95		
-0,92	-0,84	0,70	0,85		
-1,76	0,73	0,53	3,08		
-1,03	1,69	2,85	1,05		

Resíduos	$eee_{tt} - eee_{tt-11}$	$(eee_{tt} - eee_{tt-11})^{22}$	eee_{tt}^{22}	$\sum_{tt=22}^{tt=nn} (eee_{tt} - eee_{tt-11})^{22}$	$\sum_{tt=11}^{tt=nn} eee_{tt}^{22}$
0,66	-0,58	0,34	0,44		
0,08	0,48	0,23	0,01		
0,56	0,00	0,00	0,31		
0,56	0,52	0,27	0,31		
1,08	-1,42	2,01	1,16		
-0,34	0,58	0,34	0,11		
0,24	1,00	1,00	0,06		
1,24	-1,69	2,85	1,55		
-0,44	-1,10	1,21	0,20		
-1,55	1,31	1,72	2,39		
-0,23	-1,21	1,47	0,05		
-1,44	0,52	0,27	2,09		
-0,92	2,00	4,00	0,85		
1,08	0,00	0,00	1,16		
1,08	-1,00	1,00	1,16		
0,08	0,00	0,00	0,01		
0,08	0,69	0,47	0,01		
0,77	-1,42	2,01	0,59		
-0,65	0,42	0,17	0,42		
-0,23	-0,11	0,01	0,05		
-0,34	-0,89	0,80	0,11		
-1,23	0,31	0,10	1,52		
-0,92	0,58	0,34	0,85		
-0,34	-1,00	1,00	0,11		
-1,34	2,00	4,00	1,79		
0,66	0,00	0,00	0,44		
0,66	-1,69	2,85	0,44		
-1,03	1,00	1,00	1,05		
-0,03	-0,62	0,39	0,00		
-0,65	1,21	1,46	0,42		
0,56	-0,89	0,80	0,31		
-0,34	0,00	0,00	0,11		
-0,34	0,58	0,34	0,11		

Resíduos	$eee_{tt} - eee_{tt-11}$	$(eee_{tt} - eee_{tt-11})^{22}$	eee_{tt}^{22}	$\sum_{tt=22}^{tt=nn} (eee_{tt} - eee_{tt-11})^{22}$	$\sum_{tt=11}^{tt=nn} eee_{tt}^{22}$
0,24	0,21	0,04	0,06		
0,45	1,10	1,21	0,21		
1,56	-1,58	2,50	2,42		
-0,03	0,27	0,07	0,00		
0,24	-0,27	0,07	0,06		
-0,03	-0,31	0,10	0,00		
-0,34	0,31	0,10	0,11		
-0,03	-0,21	0,04	0,00		
-0,23	0,00	0,00	0,05		
-0,23	-0,11	0,01	0,05		
-0,34	1,11	1,22	0,11		
0,77	0,10	0,01	0,59		
0,87	-0,11	0,01	0,75		
0,76	-1,00	0,99	0,58		
-0,23	0,21	0,04	0,05		
-0,03	1,16	1,36	0,00		
1,14	-0,06	0,00	1,30		
1,08	0,89	0,80	1,16		
1,97	-2,62	6,89	3,90		
-0,65	2,00	4,00	0,42		
1,35	-2,00	4,00	1,82		
-0,65	0,73	0,53	0,42		
0,08	2,00	4,00	0,01		
2,08	-3,21	10,31	4,32		
-1,13	1,11	1,22	1,28		
-0,03	-1,42	2,01	0,00		
-1,44	1,69	2,85	2,09		
0,24	0,42	0,17	0,06		
0,66	0,11	0,01	0,44		
0,77	-1,11	1,22	0,59		
-0,34	0,34	0,11	0,11		

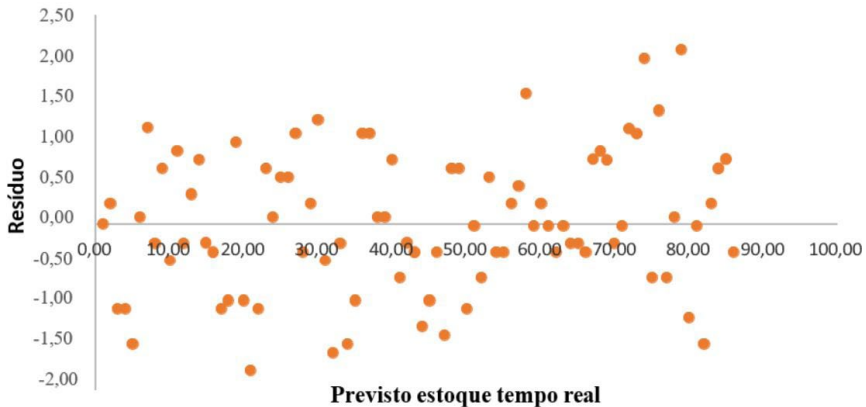
O teste d é para analisar a independência residual do modelo, é calculado pelo somatório do quadrado da diferença dos resíduos em razão do somatório do quadrado dos resíduos (equação 9), como mostra as duas colunas da direita na tabela 5.

$$dd = \frac{\sum_{tt=2}^{tt=m} \left(\frac{ee_{tt} - \bar{ee}}{\sum_{tt=1}^{tt=m} ee_{tt}^2} \right)^2}{\sum_{tt=1}^{tt=m} ee_{tt}^2} = \frac{103,73}{58,97} \quad (10)$$

$$d \approx 2 \quad (11)$$

Os resíduos do modelo em diferentes períodos ou observações não apresentam padrões de dependências ou autocorrelação destacado pela equação 11, sugerido pela primeira condição do teste de Durbin-Watson para o valor $d \approx 2$. Isso quer dizer que o valor de um erro não influencia o valor de erros subsequentes. A ausência de autocorrelação nos resíduos sugere que o modelo de regressão foi corretamente especificado, levando em consideração as variáveis apropriadas e capturando corretamente os dados, isso também significa que os testes estatísticos, como o teste t e o teste F, são válidos e confiáveis.

Figura 6 - Plotagem da distribuição dos resíduos calculados com o Previsto Estoque Tempo Real, o gráfico acima verifica a homoscedasticidade do modelo de regressão.

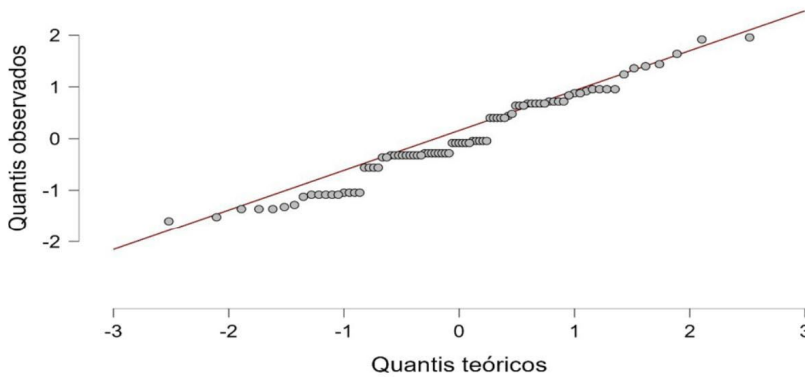


A suposição de igualdade das variâncias, mostrada pela figura 6 não apresenta qualquer distribuição concentrada dos dados, sendo totalmente aleatória. Esta constatação evidencia comprova a homoscedasticidade, refere-se à hipótese de que as variâncias dos erros ou resíduos de um modelo estatístico são constantes em todos os níveis das variáveis independentes.

Os dados no gráfico 7, chamado de Q-Q (Quantil-Quantil), compara os quantis dos dados com os quantis esperados de uma distribuição normal, mostrou-se bastante ajustado ao redor da linha de tendência, os dados estão sobre a reta em vermelho ou muito próximos a ela. Se os dados forem normais, os pontos se alinharão aproximadamente em uma linha reta, é que acontece neste estudo de caso. A suposição de normalidade segue uma distribuição gaussiana como é exibido pela figura, é caracterizada por uma curva em formato de sino, simétrica em torno da média, onde a maioria dos valores concentram-se ao redor da média e há uma

diminuição gradual à medida que os valores se afastam dela, como é apresentado no caso estudado.

Figura 7 - Diagrama Q-Q, relação dos quantis observados pelos dados com os quantis teóricos calculados pelo modelo de regressão.



Todos os pressupostos utilizados para a avaliação de validar o modelo de regressão linear múltipla foram testados nos resultados obtidos, esboçado cada característica dos testes que justificaram desde a escolha das variáveis até a interpretação das tabelas e gráficos aqui apresentados, deixando a importância do diagnóstico ao estudo de caso para a empresa do segmento eletroeletrônico do polo industrial de Manaus-AM.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da análise indicam que o modelo de regressão linear múltipla utilizado, é estatisticamente significativo, há evidências suficientes para afirmar que a relação entre as variáveis independentes (preparação e implementação da indústria 4.0) e a variável dependente (estoque em tempo real), tem uma relevância em todo processo fabril. No entanto, com um “poder” modesto sobre os outros segmentos, com apenas 10% da variabilidade do estoque em tempo real. Isso sugere que o modelo, na sua capacidade, tem um potencial em prever e entender o comportamento do estoque, indicando que a outros fatores importantes que moldam o fluxo desses processos, que ao todo, tem uma influência de 90% no estoque total.

A análise também revelou que a implementação da Indústria 4.0, tem um impacto considerável no gerenciamento do estoque em tempo real, no entanto, a ausência da preparação para a Indústria 4.0 constada no teste de hipótese, que embora a empresa esteja se preparando para adotar tecnologias avançadas, a maturidade no gerenciamento do estoque ainda não foi alcançada. Sugerindo que a simples preparação, não é suficiente para melhorar o controle de estoque, indicando baixa efetividade da empresa.

O modelo de regressão se mostrou adequado em termos de linearidade e independência dos resíduos, indicando que em termos estatísticos, a relação entre as variáveis é consistente e as suposições do modelo foram satisfeitas. O método

aplicado, tornou-se um medidor do grau de maturidade, oferecendo interpretações das informações do estoque em tempo real. Portanto, com o auxílio do PIMM4.0, foi confirmado a hipótese de que as tecnologias e práticas associadas à Indústria 4.0, como automação, internet das coisas (IoT) e sistemas de informação avançados, são eficazes para melhorar a precisão e a eficiência na gestão de estoques.

REFERÊNCIAS

- De Souza, Stanley Soares *et al.* Metanálisis de los modelos de madurez de la industria 4.0. *Interciencia*, v.45, n.8, p.397-400, 2020.
- Gonçalves, v., Mendonça, J. M., Leão, C., & Silva, m. A. (2021). Desafios para a implantação da indústria 4.0: um estudo em empresas do Polo Industrial de Manaus. *Revista Produção Online*, 21, e20212028.
- Itikawa, M.; Santiago, S. B. A Systematic Review on Industry 4.0 Maturity Metrics In the Manaus Free Trade Zone. *International journal of advanced engineering research and science*, v. 8, p. 1, 2021.
- Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. Frankfurt, 2013.
- Lasi, H. *et al.* Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*. Springer, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.
- Lima, F. R., & Gomes, R. (2020). Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica. *Revista Brasileira de Inovação*. ISSN 2178-2822.
- Probabilidade e Estatística para engenharia e ciências / Ronald E. Walpole... [et al.]; [tradução Luciane F. Pauleti Vianna]. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- Rey, Kamyle Medina Monte – A Zona Franca de Manaus pós Constituição Federal de 1988: 30 anos de desafios para a reinvenção do modelo de desenvolvimento da Amazônia 2019. 188f. Dissertação (Mestrado) - Governança e Desenvolvimento, Escola Nacional de Administração Pública – ENAP, Brasília, 2019.
- Schumacher, A.; Erol, S.; Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 161-166.
- Sonntag, U. H. (2022). Desenvolvimento de modelo de maturidade da indústria 4.0 fundamentado no lean manufacturing. Universidade Federal do Paraná.



Estudo de Caso com Base na Análise Estratégica: Preparação para a Indústria 4.0 E Melhoria de Processos em uma Empresa Termoplástica

Cleiviane Aparecida Nogueira Santos

Dulcineves Ferreira Pacheco

Ananda Katharyne Bentes Ferreira

Daniela Carneiro Gonçalves

Mauricio Lima de Menezes

Sandro Breval Santiago

Resumo: Objetivo: Este estudo analisa como a preparação para a Indústria 4.0 e melhorias de processos afetam uma empresa termoplástica no Polo Industrial de Manaus. Foca na relação entre “Manufatura e Operações” e “Cadeia de Suprimentos”. O objetivo é avaliar seu impacto na eficiência operacional. Referencial Teórico: O referencial teórico destaca a importância da maturidade organizacional, logística, automação e IoT para as indústrias de termoplásticos na Indústria 4.0, além da utilização de estratégias como QRM e PCP para otimizar estoques e reduzir custos. Referencial Teórico: O referencial teórico destaca a importância da maturidade organizacional, logística, automação e IoT para as indústrias de termoplásticos na Indústria 4.0, além da utilização de estratégias como QRM e PCP para otimizar estoques e reduzir custos. Método: O estudo utilizou uma abordagem mista e descritiva, além da triangulação para análise. Os dados foram coletados do sistema PIMM 4.0 e analisados com o software Jasp. Resultados e Discussão: Os resultados da análise indicam que a variável “Indústria 4.0” pode ter um impacto mais significativo na eficiência operacional em relação com as outras variáveis, em comparação com ‘uso de dados na manufatura’, ‘estoque em tempo real’ e ‘lead time’, os resultados não foram suficientes para determinar com clareza a eficiência operacional. Implicações da Pesquisa: O estudo mostrou que a preparação para a Indústria 4.0 e variáveis operacionais, isoladamente, não impactam significativamente a eficiência da indústria termoplástica. Ressalta a necessidade de estratégias integradas para superar os desafios da adoção tecnológica. Originalidade/Valor: O estudo examina a preparação da Indústria 4.0 no setor termoplástico, empregando metodologia mista e Regressão Linear Múltipla com Stepwise. Destaca a relevância de fatores contextuais e abordagens integradas no planejamento estratégico.

Palavras-chave: Indústria 4.0; termoplástica; correlação; método stepwise.

INTRODUÇÃO

A produtividade industrial vem crescendo cada vez mais desde a Revolução Industrial (século XVIII), inovação, criatividade, implementação de tecnologias e outros fatores, são provas de que mudanças significativas surtiram efeitos, nos dias atuais, a exemplo disso o setor industrial faz parte desse quadro, por buscar utilizar como matéria prima o termoplástico (são polímeros, que ao serem submetidos a uma determinada temperatura, tornam-se maleáveis e podem ser moldados em diversas formas), material conhecido pela sua maleabilidade na criação de produtos

e peças. No setor da manufatura vem sendo trabalhado pelas indústrias no Estado do Amazonas, gerando emprego e renda, entretanto, questiona-se, nesse estudo, por meio de duas dimensões e suas variáveis com base no sistema PIMM 4.0®, pois segundo Jorge e Santiago (2022) é um sistema que mede a maturidade industrial nas dimensões: Produtos, Modelo de Negócio, Manufatura, Interoperabilidade, Estratégia, Pessoas e Cultura, Logística e Sustentabilidade, presentes em muitas indústrias do Brasil. A primeira é a dimensão Manufatura e Operações, com duas variáveis “preparação para a indústria 4.0” conforme Bahrin *et al.* (2016), também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, refere-se à integração de tecnologias avançadas no processo de manufatura e operações, também, “uso dados manufatura”; a segunda é a Dimensão Cadeia de Suprimentos, referentes as variáveis “estoque tempo Real” e “lead times”.

As duas dimensões e seus sub tópicos podem ser trabalhados buscando uma correlação, conforme Sampson (2020) “A correlação é uma técnica estatística que pode ser usada para determinar se, e com que intensidade, pares de variáveis estão associados”. Nesta pesquisa, apresentamos como objetivo geral compreender por meio do estudo de caso com base na análise estratégica a preparação para a indústria 4.0 as melhorias de processos em uma empresa termoplástica em Manaus, utilizaremos o programa Jasp, segundo Silva *et al.* (2023) é “[...] um programa de código aberto gratuito que inclui técnicas estatísticas padrão e mais avançadas com ênfase no fornecimento de uma interface de usuário simples e intuitiva para obter informações inerentes as correlações entre as dimensões e suas sub dimensões.

Neste estudo, apresentamos como variável dependente a Indústria 4.0, segundo Martins (2023), a indústria 4.0, é um conceito inerente a quarta revolução industrial, onde a produção vem sendo fortalecida cada vez mais pela implementação da digitalização e automação, seus benefícios são caracterizados pela aumento da eficiência, redução de custos e melhoria na qualidade de produtos e serviços, no entanto enfrenta desafios como por exemplo, investimentos na infraestrutura ao submeter a utilização de tecnologias, capacitação de mão de obra especializada e proteção do ambiente para garantir a segurança cibernética. Devido a isto, a indústria 4.0 é fundamental no processo de modernização dos processos produtivos, em se tratando de uma Indústria Termoplástica no Polo Industrial de Manaus. Assim, propomos como objetivos específicos a) descrever como as indústrias de Manaus buscam a preparação da indústria 4.0; b) analisar o uso dados manufatura quanto ao gerenciamento das operações de forma hábil e seus impactos na produção de termoplástico; c) mostrar a importância da logística no processo de monitoramento do estoque em tempo real; d) Identificar como o lead times é fundamental para o monitoramento em tempo real em curto prazo para a tomada de decisões na produção de termoplástico.

Neste estudo desenvolvemos uma pesquisa sob estudo de caso, com base na pesquisa mista, de caráter descritiva, para a construção de dados foram realizadas pesquisas bibliográficas, quanto a análise a utilização da triangulação concomitante.

REFERENCIAL TEÓRICO

Maturidade Organizacional nas Indústrias de Termoplástico e as Adaptações na Perspectiva da Indústria 4.0

A maturidade organizacional nas indústrias de termoplásticos tem sido um fator crucial para sua adaptação e sucesso na era da indústria 4.0. Com a introdução de tecnologias avançadas, como a automação, a Internet das Coisas (IoT) e a análise de big data, essas indústrias estão aprimorando seus processos produtivos, melhorando a eficiência e reduzindo desperdícios. Neste contexto Bores (2019) enfatiza a importância de analisar as etapas de maturidade do modelo de negócios, considerando suas diversas dimensões, essa análise é crucial para identificar as ações prioritárias e os investimentos necessários, visando a consolidação de oportunidades por meio da inovação.

Empresas que alcançam um alto grau de maturidade organizacional são capazes de integrar essas tecnologias de forma eficaz, otimizando a produção e contribuindo para um modelo de negócios mais sustentável e competitivo. Conforme Gabriel (2022), as indústrias de termoplásticos não apenas se beneficiam dessas inovações, mas também desempenham um papel vital na promoção de soluções sustentáveis, alinhando-se às demandas das indústrias e às exigências ambientais. Essa integração entre maturidade organizacional e a adaptação tecnológica é o que permite às empresas se manterem competitivas em um mercado global em constante evolução.

Concernente a indústria organizacional, refere-se ao estudo das estruturas, práticas e processos que regem a organização e operação das empresas dentro de uma indústria. Envolve a análise de como as empresas se estruturam para produzir bens e serviços, maximizando a eficiência, a qualidade e a capacidade de adaptação às mudanças no ambiente de negócios. Senna e Ribeiro (2023) defendem que as empresas precisam se reinventar, com o conhecimento como base para o sucesso dessa mudança cultural. A indústria organizacional aborda aspectos como a gestão de recursos, a organização do trabalho, a integração de tecnologias e a interação entre os diversos atores e setores envolvidos na cadeia produtiva.

Na indústria do setor de Termoplásticos, a implantação da indústria 4.0 é especialmente relevante, pois essa indústria depende fortemente de processos de produção eficientes, inovação constante em materiais e a capacidade de atender as demandas de personalização e sustentabilidade dos clientes. A Indústria 4.0 permite que a produção de termoplástico seja mais automatizada, utilizando robótica avançada para tarefas como moldagem por injeção, extrusão e termoformagem. Na indústria 4.0, há uma crescente adoção de produtos e processos que são cada vez mais autônomos e eficientes, possibilitando soluções personalizadas tanto para a produção quanto para a logística e o atendimento ao cliente (Koch *et al.*, 2014).

Uso dados manufatura no gerenciamento das operações e impactos na produção de termoplástico na perspectiva da maturidade organizacional

De acordo com Oliveira e Santiago (2024), a adoção de tecnologias inteligentes e a transição para a manufatura avançada são fenômenos que vêm ganhando destaque em setores específicos das instalações fabris, refletindo na forma como os processos produtivos são conduzidos. A automação da linha de produção, por exemplo, não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também possibilita um controle mais preciso sobre as variáveis do processo, resultando em produtos de maior qualidade e consistência. Na perspectiva da maturidade organizacional, a adoção de tecnologias inteligentes e a transição para a manufatura avançada são passos críticos que refletem o nível de sofisticação e institucionalização das práticas dentro da empresa, pois organizações com um elevado grau de maturidade são capazes de integrar essas tecnologias de forma mais eficaz, não apenas automatizando processos e otimizando a cadeia logística, mas também promovendo uma cultura de melhoria contínua e inovação.

A análise da maturidade organizacional na indústria de termoplástico, é fundamental para assegurar que as práticas não sejam apenas eventuais, mas integradas de forma sustentável e consistente a longo prazo. Tal análise nos mostra a necessidade de considerar a especificidade das práticas adotadas, o que implica enfatizar que a avaliação da maturidade deve ser detalhada e contextualizada, levando em conta as particularidades de cada organização (Jorge & Santiago, 2022). Em suma, entender e medir a maturidade dos processos é fundamental para a evolução organizacional, pois permite identificar lacunas e oportunidades de melhoria, além de assegurar que as práticas eficazes sejam mantidas e aprimoradas ao longo do tempo.

A Importância da Logística no Processo de Monitoramento de Estoque em Tempo Real com Base na Manufatura Organizacional

No âmbito comercial e industrial, a logística é fundamental para a diminuição de custos, o que, consequentemente, eleva os lucros. Além disso, ela se configura como uma ferramenta vital para aumentar a competitividade, pois melhora a eficiência no atendimento ao cliente, promove um bom relacionamento tanto com clientes internos quanto externos e serve como alicerce para o crescimento da empresa, impulsionada pela rápida evolução da tecnologia da informação (França *et al.*, 2018).

A logística desempenha um papel crucial no processo de monitoramento de estoque em tempo real, especialmente na indústria de termoplásticos, onde a eficiência operacional e a agilidade são fundamentais para atender à demanda do mercado.

O monitoramento em tempo real permite que as empresas tenham uma visão precisa e atualizada de seus níveis de estoque, o que é essencial para minimizar

desperdícios e evitar faltas ou excessos de produtos. Na manufatura organizacional, a logística atua como um elo entre a produção e o atendimento ao cliente. Um sistema logístico bem estruturado garante que as matérias-primas necessárias para a fabricação de produtos termoplásticos sejam recebidas no momento certo, evitando atrasos na produção.

Moreira (2008) destaca que há duas áreas principais na gestão de estoques que precisam receber atenção especial: a financeira e a operacional de uma organização. Sob a perspectiva financeira, os estoques representam uma parte significativa do capital da empresa. Já no aspecto operacional, sua função é auxiliar no controle do planejamento da produção (Martins & Alt, 2009).

Além disso, a logística eficiente contribui para uma melhor gestão dos recursos, permitindo que as indústrias ajustem suas operações com base em dados analíticos sobre o consumo e o giro dos estoques. Isso resulta em uma redução significativa nos custos operacionais, já que as empresas podem planejar melhor suas compras e evitar a imobilização de capital em estoques excessivos.

A integração entre sistemas logísticos e ferramentas de monitoramento em tempo real também possibilita uma resposta rápida às flutuações da demanda do mercado, garantindo que os produtos certos estejam disponíveis nas quantidades necessárias. Assim, a logística não apenas otimiza o fluxo de materiais e produtos acabados, mas também fortalece a capacidade da empresa em se adaptar rapidamente às mudanças do mercado, contribuindo para sua competitividade e sustentabilidade no setor de termoplásticos. Essa sinergia entre logística e monitoramento em tempo real é vital para garantir que as operações sejam ágeis e eficientes, promovendo não apenas a satisfação do cliente, mas também um ciclo produtivo mais sustentável e lucrativo.

Lead Times no monitoramento do tempo real na tomada de decisões na produção de termoplástico

Na dimensão Cadeia de Suprimentos o lead times é uma técnica, de acordo com Ferreira *et al.* (2016), é a mensuração do tempo entre uma operação e outra, pode estar relacionada a entrega de produtos, e leva-se em consideração qual produto e processo de cadeia estão sendo manipulados, além disso são empregadas estratégias para a redução do lead time.

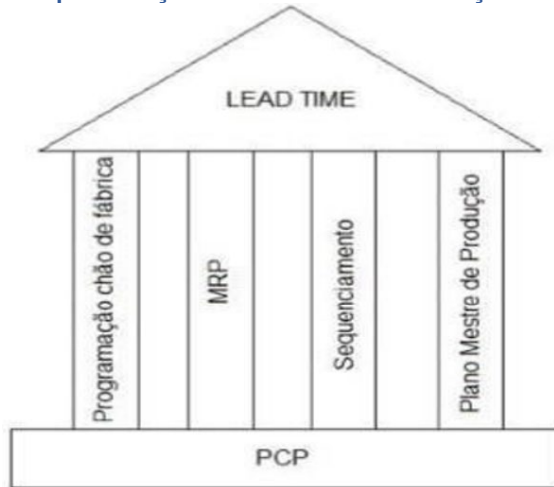
Na Indústria Termoplástica, o que nos interessa, são as operações internas, em relação ao lead time, pode ser utilizado estratégias para a produção interna, segundo Souza e Carvalho (2020), ressalta:

“O Quick Response Manufacturing (QRM) é uma estratégia para a redução do lead time do processo produtivo em Organizações com fabricação de produtos customizados, com baixo volume de produção e alta variedade de produtos”.

Na Indústria termoplástico pode ser aplicado a QRM, mas também outra estratégia, Simões (2016) defende que o PCP (Planejamento, Programação e

controle de Produção), é a base que sustenta: a programação do chão de fábrica, o MRP (sigla em inglês que significa “Planejamento das Necessidades de Material”), sequenciamento e plano mestre de produção, são pilares que sustentam o Lead time, já que a falha de cada um o afeta. A figura a seguir mostra a representação dos pilares de sustentação do lead time.

Figura 1 - Representação dos Pilares de sustentação do lead time.



Fonte: Adaptado de SIMÕES, W. L. A Influência do PCP no Lead Time de Produção. I Simpósio de Redes de Suprimentos e Logística | SIMREDES – 2013.

O lead time é uma técnica, se as Indústrias Termoplásticas buscarem reduzi-la, geram resultados positivos para a produção.

METODOLOGIA

Neste estudo, a indústria termoplástica é o nosso objeto de estudo, com base na abordagem de pesquisa mista, conforme Creswell (2007), a coleta de dados é obtida tanto por informações numéricas quanto informações de texto. No delineamento da pesquisa trouxemos o escudo de caso, segundo Gil (2011), procura estudar de forma ampla e detalhada o objeto de estudo, também a pesquisa bibliográfica com acesso a livros, livros eletrônicos, revistas, artigos e TCCs. Quanto ao nível de pesquisa é do tipo descritiva, como defende Gil (2011), “também são pesquisas descritivas aquelas que visam descobrir a existência de associações entre variáveis [...]”, sendo o caso desta pesquisa ao fazer correlações entre as variáveis do segmentos Manufatura e Operações em relação a Cadeia de Suprimentos. Para procedimentos de métodos mistos, usamos a estratégia de triangulação concomitante, conforme Creswell (2007), utiliza-se do método misto para fazer comparações e chegar a respostas, afim de verificar pontos positivos e negativos, e integrar as vantagens da pesquisa para ter uma visão mais completa do fenômeno estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo de caso, foi aplicado a Regressão Linear Múltipla, com base na variável dependente preparação indústria 4.0, em relação as variáveis independentes: uso dados manufatura, estoque tempo real e lead times, sob a análise multivariada. Esse tipo de análise são importantes para este estudo, conforme Capp e Nienov (2020), destaca:

“A análise multivariada refere-se a modelos de regressão múltipla que buscam explicar uma variável desfecho com base em um conjunto de variáveis independentes. Em modelos estatísticos, denomina-se a variável dependente (desfecho) como aquela em que se tem interesse em analisar”.

O método Stepwise, como cita Capp e Nienov (2020), “[...] as variáveis são selecionadas automaticamente, sem o controle do pesquisador, tanto para inclusão quanto para exclusão, de uma maneira sequencial, baseada apenas em critérios estatísticos”; foi aplicado para analisar a eficiência operacional no ambiente de manufatura, seguindo o modo forward, descrita por Capp e Nienov (2020), como “as variáveis são adicionadas uma a uma ao modelo, sendo a primeira variável candidata aquela mais significativa e, assim sucessivamente”. Os resultados são apresentados abaixo, que resume os coeficientes estimados, erros padrão, estatísticas t, valores- P, e intervalos de confiança de 95% para cada uma das variáveis no modelo final. A tabela 1 a seguir apresenta os resultados da Regressão Linear Múltipla de Stepwise.

Tabela 1 - Resultados da Regressão Linear Múltipla de Stepwise.

Variáveis	Coeficientes	Erro Padrão	Start t	Val or- P	95% Inferior	95% Superior
Interseção	0,5409	1,4125	0,3829	0,7075	-2,4887	3,5704
Uso Dados na Manufatura	0,1666	0,3643	0,4573	0,6544	0,6148	0,9480
Estoque em Tempo Real	0,2314	0,375	0,6157	0,5480	0,5747	1,0375
Lead Times	0,1313	0,3530	0,3718	0,7156	-0,6259	0,8884

Coeficientes = Inclinações referentes a variáveis independentes e sua interseção; Erro Padrão = Medida da precisão dos coeficientes; Start t = Valor inicial do teste t; Valor-P = Probabilidade associada ao teste t; 95% Inferior = Limite inferior do intervalo de confiança de 95%; 95% Superior = Limite superior do intervalo de confiança de 95%.

A tabela mostra as variáveis como interseção (também conhecido por intercepto), uso dados manufatura, estoque em tempo real e lead times apresentam seus resultados obtidos pelo

Sistema PIMM 4.0®, sob a análise de dados pelo programa Jasp. Em relação aos coeficientes de constantes, conhecidos por interseção, segundo Sampson (2020), “mesmo que a ANOVA mostre que o modelo é significativo, nenhum dos coeficientes de regressão do preditor é significativo”, sendo a ANOVA, a análise

de variância oneway, (Capp & Nienov, 2020). Como apresenta-se na tabela, o coeficiente de interseção estimou que 0,509, com erro padrão de 1,41125. Enquanto que a estatística t de 0,3829 e valor-P de 0,7075 informam que a interseção não é significativa ao nível de 5%. Logo, a ausência das outras variáveis em questão, em relação a seus valores de eficiência operacional é incerto, de modo a chegar em valores negativos e positivos. A seguir as variáveis uso dados manufatura, estoque tempo real e lead times, sob a análise multivariada, descritas na tabela:

a) Uso de Dados Manufatura: O coeficiente estimado foi de 0,1666, com um erro padrão de 0,3643. A estatística t de 0,4573 e o valor-P de 0,6544 informam que essa variável não é significativa ao nível de 5%. Embora o coeficiente positivo sugira que o uso de dados na manufatura pode ter um impacto positivo na eficiência operacional, o intervalo de confiança, que varia de -0,6148 a 0,9480, mostra uma grande incerteza sobre a real magnitude desse efeito;

b) Estoque em Tempo Real: foi de 0,2314, com um erro padrão de 0,3758. Com uma estatística t de 0,6157 e um valor-P de 0,5480, informam que essa variável não é significativa ao nível de 5%. Apesar disso, o coeficiente positivo sugere uma possível contribuição para a eficiência operacional, embora, assim como na variável anterior, o intervalo de confiança (-0,5747 a 1,0375) mostre que a estimativa do efeito é amplamente incerta;

c) Lead Times: foi de 0,1313, com um erro padrão de 0,3530. A estatística t obtida é 0,3718, e o valor-P de 0,7156 sugere que esta variável é a menos significativa entre as três avaliadas. O intervalo de confiança de 95% (-0,6259 a 0,8884) confirma que o impacto de 'Lead Times' na eficiência operacional não é estatisticamente significativo.

A pesquisa mostra que esses resultados indicam que pode haver maior impacto na relação da variável dependente Indústria 4.0 com as outras variáveis, se comparadas com as variáveis “uso dados na manufatura”, “estoque em tempo real” e “lead time”, já que não houve resultados significativos para determinar a eficiência operacional ou que a relação entre essas variáveis e a eficiência pode ser não linear ou mediada por outras condições contextuais específicas do setor estudado.

Discussão com Base na Correlação de Pearson

Neste trabalho a análise de correção se deu por meio da correlação de Pearson (ou “r”), segundo Sampson (2020) “[...] Ele varia de -1,0 a +1,0. Quanto mais próximo r está de +1 ou - 1, mais intimamente as duas variáveis estão relacionadas. Se r for próximo de 0, não há relação entre as variáveis”. Por meio da utilização do acesso ao sistema PIMM 4.0 com base no programa jasp, obtemos os dados de correlação entre a variável dependente Preparação Indústria 4.0 em relação as variáveis independentes Uso Dados Manufatura, Estoque Tempo Real e Lead Times. A seguir, obtemos os seguintes resultados da análise de correlação de Pearson.

Tabela 2 - Correlação de Pearson.

		Pearson's r	p
Preparação Indústria 4.0	Uso Dados Manufatura	0.194	0.440
Preparação Indústria 4.0	Estoque Tempo Real	0.220	0.381
Preparação Indústria 4.0	Lead Times	0.202	0.423
Uso Dados Manufatura	Uso Dados Manufatura	0.178	0.480
Uso Dados Manufatura	Lead Times	0.366	0.135
Estoque Tempo Real	Lead Times	0.299	0.22

r = Correlação de Pearson; p = Valor de significância.

a) Preparação indústria 4.0 vs. Uso Dados Manufatura: Com a tabela acima, para os valores de Pearson's r temos 0.194, obtém-se que a Preparação Indústria 4.0 e Uso dados Manufatura, varia numa correlação fraca e positiva, indicando que a medida que uma aumenta a outra tende a acompanhar esse aumento. Para o p-valor temos 0.440, sendo maior que 0,05, o que indica menor relevância na correlação;

b) Preparação indústria 4.0 vs. Estoque Tempo Real: Para os valores de Pearson's r 0.220, a correlação é fraca e positiva, indicando que a medida que uma aumenta a outra tende a acompanhar esse aumento, assim como o resultado anterior, obtém-se uma relação fraca. Quanto ao p-valor temos 0.381, sendo maior que 0.05, o que indica não significância, devido à falta de evidências para fortalecer a correlação entre as duas variáveis;

c) Preparação Indústria 4.0 vs. Lead Times: Para os valores de Pearson's r 0.202, a correlação é fraca e positiva, com uma leve tendência do aumento das duas variáveis de forma simultânea, mas ainda assim, a relação é fraca. Quanto ao p-valor temos 0.423, sendo maior que 0.05, o que indica estatisticamente não significativa, logo, a correlação não é significativa;

d) Uso Dados Manufatura vs. Uso Dados Manufatura: Para os valores de Pearson's r o valor chega a ser 1, o que se espera de uma correlação quando comparada com ela mesma. Sendo o p-valor temos 0.480 a mesma situação do descrito da correlação ao analisar as mesmas variáveis resulta em incompatibilidade de análise;

e) Uso Dados Manufatura vs. Lead Times: Para os valores de Pearson's r tem-se 0.366, em que a correlação é moderada e positiva, o que significa o aumento de uma acompanha o aumento da outra, indicando uma relação moderada;

f) Estoque Tempo Real vs. Lead Times: Para os valores de Pearson's r tem-se 0.299, o que significa que a correlação é moderada e positiva, ao que indica o aumento de uma é correspondido pelo aumento de outra. Logo, o p-valor resulta em 0.05, sendo assim, a correlação não é significativa.

Os dados fornecidos pela análise da correlação de Pearson (r) indicam que valores de p acima de 0,5 não apresentam correlações estatisticamente significativas, conforme mostrado na notação abaixo:

$p > 0,05$ (1)

onde:

p = valor de significância

Logo as correlações não são suficientes para afirmar que diferem de zero. A notação que indica os níveis de significância pode ser apresentada como:

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, (2)

Existem métodos de entrada de dados conforme Sampson (2020), como entrada forçada (Enter), consiste na entrada dos preditores em ordem, obedecendo a caixa Covariates do programa jasp; a entrada hierárquica, em que o pesquisador com base nos conhecimentos prévios organiza em ordem de importância dos preditores, com base em estudos anteriores; Stepwise (Backward), consiste na entrada de todos os preditores e logo em seguida é calculada a contribuição de cada um; o método Stepwise, em que o modelo é adicionado e um teste de remoção se baseia no preditor menos útil; por fim, o que usamos em nosso trabalho como método de entrada no programa jasp, o método Stepwise (Forward), onde o resultado se dá pela correlação do preditor mais simples, no entanto mais alta, este método realiza comparações com as variáveis do resultado que são inseridas primeiro, e posteriormente os preditores subsequentes são avaliados com base na correlação semi-parcial em relação a variável dependente, segue repetindo várias vezes até os preditores serem incluídos no modelo, devido sua contribuição com a variância denominada única e significativa.

O método Stepwise e a correlação de Pearson são ferramentas relevantes na análise de dados. Enquanto a correlação de Pearson avalia relações lineares entre variáveis, o Stepwise contribui para a criação de modelos preditivos ao selecionar variáveis relevantes para um modelo de regressão.

No contexto da indústria termoplástica, especificamente no Polo Industrial de Manaus, não foi identificada uma correlação significativa entre a preparação para a Indústria 4.0 e variáveis como uso de dados na manufatura, estoque em tempo real e lead times. Isso indica que a simples adoção de tecnologias não garante eficiência operacional.

Os resultados apontam para a necessidade de uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas específicas do setor e a adoção de estratégias além da tecnologia para melhorar a eficiência. A ausência de efeitos significativos sugere que outros fatores precisam ser considerados para alcançar resultados relevantes, exigindo repensar práticas e melhorias no ambiente industrial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa indicam que, na indústria termoplástica, a gestão eficiente do lead time é fundamental para otimizar os processos produtivos e garantir a competitividade no mercado. O lead time, que mensura o tempo entre diferentes etapas de produção, é crucial para assegurar a entrega eficiente de

produtos, especialmente em um ambiente onde a customização e a diversidade de produtos são características predominantes. A aplicação de estratégias como o Quick Response Manufacturing (QRM) permite a redução significativa do lead time, especialmente em cenários de produção personalizada, onde a agilidade é um diferencial competitivo.

A análise da maturidade organizacional é fundamental, principalmente na área de termoplásticos, é importante que esta análise seja clara e contextualizada, levando-a em conta as especificidades de cada organização. Antes de garantir que práticas eficientes sejam mantidas e aprimoradas ao longo do tempo, é crucial para uma evolução organizacional compreender e medir a maturidade dos processos. Esse método permite detectar lacunas e oportunidades de melhoria. Essa abordagem não apenas fortalece a capacidade competitiva das empresas, mas também garante que elas estejam preparadas para enfrentar os desafios e as oportunidades que surgem em um ambiente de constante inovação tecnológica.

A Indústria 4.0 representa uma evolução transformadora no setor manufatureiro global, iniciada pela Alemanha com o objetivo de fortalecer sua posição competitiva através da incorporação de tecnologias avançadas. Esse movimento não apenas impulsionou a inovação nos processos de fabricação e na gestão das cadeias de suprimento, mas também redefiniu os modelos de negócios, levando a uma nova era de produção altamente digitalizada.

A metodologia adotada neste estudo da indústria termoplástica foi cuidadosamente estruturada para oferecer uma análise abrangente e detalhada do objeto de pesquisa, utilizando uma abordagem mista que combina dados quantitativos e qualitativos. A escolha do estudo de caso permitiu uma exploração profunda e contextualizada, essencial para compreender as especificidades do setor.

O estudo utilizou Regressão Linear Múltipla com o método Stepwise para analisar a relação entre a preparação para a Indústria 4.0 e variáveis como uso de dados na manufatura, estoque em tempo real e lead times. Os resultados não apresentaram significância estatística a um nível de 5%, indicando que essas variáveis, isoladamente, podem não impactar significativamente a eficiência operacional.

Embora os coeficientes positivos apontem para uma possível tendência de melhora, os amplos intervalos de confiança sugerem incertezas quanto à magnitude real dos efeitos. Isso pode indicar uma relação mais complexa, envolvendo interações não lineares ou fatores contextuais não capturados na análise.

A ausência de significância estatística sugere que a eficiência operacional na indústria termoplástica pode depender de um conjunto mais amplo de variáveis ainda não exploradas. O estudo reforça a necessidade de pesquisas futuras com modelos mais sofisticados para captar essas interações. Além disso, destaca a importância de estratégias abrangentes, além das tecnologias analisadas, para garantir uma transição eficaz para a Indústria 4.0 e promover um ambiente produtivo mais avançado e competitivo.

REFERÊNCIAS

- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal teknologi*, 78(6-13).
- Bores, P. (2019). *Transformação Digital na Era 4.0: Vantagem Competitiva para empresas de Serviços*. 1a ed. Curitiba: Arts.
- Capp, E., & Nienov, O. H. (2020). *Bioestatística quantitativa aplicada*.
- Creswell, J. W. (2007). *Projeto de Pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*.
- Tradução: Rocha, Luciana de Oliveira da. Porto Alegre: Artmed. de Melo, N. G. C. (2019). *Proposta de um Modelo Conceitual para a Implementação da Indústria 4.0* (Master's thesis, Universidade de Coimbra (Portugal)).
- De Souza, L. C. F., & de Carvalho, H. M. (2020). Mapeamento e Redução do Lead Time: Estudo de Caso do Planejamento da Manutenção de Plataformas de Produção. *Revista Femass*, (2).
- Ferreira, L., Carnacchioni, P. C. R., Vietro, C., & Franciscato, R. S. (2016). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos*. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional SA.
- França, R. L., Checheliski, A., & Paim, R. (2018). A logística baseada em performance e a logística militar do Exército Brasileiro. *Revista da Escola Superior de Guerra*, 33(69), 158- 173.
- GABRIEL, V. T. D. S., FERREIRA, D. P., OLIVEIRA, M. A. D., SILVA, J. F. D., VENÂNCIO, E. C. P., & MARCONDES, R. E. D. A. (2022). *Desenvolvimento econômico e empresarial: Valgroup MG indústria R-Pet Ltda. Projeto Integrado*.
- Gil, A. C. (2011). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. São Paulo: Editora Atlas S. A., 2011.
- Gomes, C. F. S., & Ribeiro, P. C. C. (2020). *Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação*. Editora Senac Rio.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937). IEEE.
- Itikawa, M., & Santiago, S. B. (2021). A Systematic Review on Industry 4.0 Maturity Metrics in the Manaus Free Trade Zone. *International journal of advanced engineering research and science*, 8, 1.
- Jorge, A. A; Santiago, S. B. (2022). Análise do nível de maturidade da dimensão modelo de negócio de uma indústria termoplástica: Um estudo de caso na visão da Indústria 4.0. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2022, [Online]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R., & Schrauf, S. (2014). Industry 4.0-Opportunities and challenges of the industrial internet. Strategy& Formerly Booz & Company, PwC, 13, 1– 51.

Martins, E. R (org.) (2023). Ciência, tecnologia e inovação experiências, desafios e perspectivas 3. Atena. Ponta Grossa - PR

Moreira, D. (2008). Administração da Produção e Operações. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning.

Oliveira, S. T. de; Santiago, S. B (2024). Avaliação da adoção da Indústria 4.0 em uma empresa termoplástica no Polo Industrial de Manaus - Estudo de Caso. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12, 2024, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Universidade.

ROSA, E. S. (2021). Rede de Soluções da Indústria 4.0 para Customização em Massa—O caso da Indústria de Equipamentos de Teste de Cablagem.

Sampson, M. A. G. (2020). Análise Estatística no Jasp: Um guia para Iniciantes.

Santos, B. P., Alberto, A., Lima, T. D. F. M., & Charrua-Santos, F. M. B. (2018). Indústria 4.0: desafios e oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, 4(1), 111-124.

Senna, D. A., & Ribeiro, J. S. D. A. N. (2023). A gestão do conhecimento na transformação digital para a Indústria 4.0: tecnologias digitais e suas aplicações em setores econômicos. Exacta, 21(1), 224-248.

Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2015). Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for Industrie 4.0. Procedia Computer Science, 60, 1146-1155.

Silva, E. G., Cleno, C., Melo, S. B., & Neiva, E. R. (2023). Análises estatísticas JASP: um guia introdutório.

Simões, W. A influência do PCP no lead time de produção.

Sonntag, Udo Hans. Desenvolvimento de modelo de maturidade da indústria 4.0 fundamentado no Lean manufacturing. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Curitiba, 2022.



Análise do Nível de Maturidade de uma Fábrica do Segmento Eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus: Estudo de Caso

Jocinete Batalha de Souza

Regiane Prata de Matos

Sarah Helena Assis Dos Santos

Sandro Breval Santiago

Resumo: Objetivo: O objetivo deste estudo é analisar o nível de maturidade 4.0 de duas variáveis da dimensão “Produtos e Serviços”, com o intuito de responder a seguinte hipótese, se a fábrica está avançando no sentido de implementar a indústria 4.0?. Referencial Teórico: Para Rodrigues *et al.* (2022) a Indústria 4.0 é de fato a Quarta Revolução Industrial, que abrange a transformação digital em curso nas indústrias e nas máquinas, ou seja, está diretamente ligada à automação dos processos de fabricação. A implementação da Indústria 4.0 requer mudanças significativas na cultura organizacional e nos processos de trabalho, Góes *et al.* (2023). Compreende-se que uma boa gestão é essencial nesse processo, visto que a forma como a empresa é conduzida, influencia diretamente nos resultados, sejam estes positivos ou negativos Góes *et al.* (2023). Por outro lado, Silva, Lucas e Oliveira (2021) destacam a Indústria 4.0 como um marco na evolução industrial, onde a integração da tecnologia digital com a internet revoluciona os processos produtivos. De acordo com Souza & Gomes (2015), a maturidade é alcançada por meio da consolidação de prática gerais e específicas relacionadas a um conjunto de processos predefinidos que visam aumentar a performance geral de uma empresa ou de um objetivo específico. Rozenfeld e colaboradores (2006) destacam que a maturidade pode ser medida pela quantidade de melhores práticas aplicadas consistentemente pela empresa. Método: Este estudo se configura quanto aos meios por uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso desenvolvendo subsídios para uma abordagem como uma pesquisa qualitativa com fins descritivos, obtidos no banco de dados produzidos pelo PIMM 4.0. A metodologia adotada aplicada nessa pesquisa, se dá de maneira qualitativa por requerer planejamento para avaliar o problema, métodos de coleta de dados e análise de resultados. Resultados e Discussão: Os resultados obtidos revelaram que embora a empresa tenha feito avanços significativos rumo à modernização de suas operações e ao atendimento de demandas do mercado, é essencial continuar investindo em inovação e na customização de produtos e serviços. A capacidade de compreender e atender as necessidades dos clientes de forma ágil e eficiente será determinante para alcançar a plena maturidade da Indústria 4.0. Na seção de discussão, esses resultados são contextualizados à luz do referencial teórico, destacando-se as implicações e relações identificadas. Possíveis discrepâncias e limitações do estudo também são consideradas nesta seção. Implicações da Pesquisa: As implicações práticas e teóricas desta pesquisa são discutidas, fornecendo insights sobre como os resultados podem ser aplicados ou influenciar práticas no campo de Administração de Operações e Logística (AOL). Essas implicações podem abranger as áreas de Gestão de Operações, Logística, Gestão de Projetos, Tecnologia da Informação Aplicada a Logística, Gestão Estratégica, Suprimento e Serviço de Atendimento ao Cliente. Originalidade/Valor: Este estudo contribui para a literatura ao focar em um segmento estratégico para a economia local, fornecendo dados que podem impactar positivamente a gestão e o desenvolvimento do setor no polo. Este setor é altamente dinâmico, demandando constantemente inovações tecnológicas e eficiência operacional. Uma análise detalhada do nível de maturidade desse segmento pode fornecer perspectivas inéditas sobre como essas

indústrias se adaptam às exigências do mercado. A relevância e o valor desta pesquisa são evidenciados por que poucas pesquisas abordam o tema da maturidade organizacional nesse contexto, principalmente no Brasil. Além de trazer originalidade ao adaptar e aplicar modelos teóricos de maturidade (como CMMI, MMOG/LE, ou outros frameworks) para um ambiente industrial específico, considerando variáveis locais e regionais. Os resultados podem abrir caminho para estudos futuros que ampliem a análise para outras empresas ou setores dentro do PIM.

Palavras-chave: PIMM 4.0, PIM; estudo de caso; regressão linear simples.

INTRODUÇÃO

Conhecida como a quarta Revolução Industrial ou a indústria 4.0, vem se destacando a partir da evolução tecnológica, em uma nova frente na organização na cadeia produtiva de suprimentos, na qual é caracterizada pela integração de tecnologias de última geração, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), e pôr fim a automação, tem se integrado ao desenvolvimento dos setores industriais. O termo “Indústria 4.0” surgiu pela primeira vez em abril de 2011, na Hannover Messe, a principal feira de automação industrial alemã. Na cerimônia de abertura do evento, o diretor e CEO do Centro Alemão de Pesquisa em Inteligência Artificial, Professor Wolfgang Wahlster, introduziu o conceito (Carrara, 2023, p. 17). A transição para a quarta revolução industrial marcou a expansão da globalização, acompanhada pelo desenvolvimento e impulso da difusão das inovações tecnológicas no Mundo. No panorama das grandes inovações tecnológicas, a indústria 4.0 vem estimulado com eficiência a gestão da manufatura avançada nos setores da indústria.

Santiago e Oliveira Júnior (2023, p. 03) destacam que, “essa evolução da indústria se baseia na integração de diferentes tecnologias, como Internet das Coisas (IoT), big data, inteligência artificial, impressão 3D, robótica, entre outras”. A Indústria 4.0 é caracterizada pela integração dessas tecnologias de última geração, que combinadas a automação, contribui de forma eficiente a gestão da manufatura avançada. No contexto da indústria eletrônica brasileira, o Polo Industrial de Manaus se destaca pela concentração de empresas multinacionais e nacionais que produzem em massa diversos equipamentos e dispositivos eletrônicos avançados. “No Brasil, especialmente em Manaus, a indústria de eletrônicos é um setor importante na economia, com destaque na produção de celulares, computadores e televisores” (Brasil, Santiago, Oliveira Júnior, 2023, p. 03).

Este estudo apresentará o estudo de caso o qual foi aplicado a ferramenta matemática PIMM 4.0®, na análise de maturidade, e abrangendo o modelo de análise de regressão linear simples, com dados das subdimensões de Produtos e Serviços de Eletroeletrônicos na fabricação de cabos e outros componentes. É caracterizando o nível de maturidade da empresa, a diversidade das operações e as peculiaridades das realidades industriais, permitindo medir o nível geral de maturidade. “Para tal, será calculado, de forma adaptada, o grau de cada uma das dimensões do modelo supracitado, sem considerar as relações entre essas variáveis, identificando quais

subdimensões estão afetando positivamente e negativamente os avanços” (Aguiar, Santiago, Oliveira Júnior, 2023, p. 04).

De acordo com os dados é possível calcular o grau de cada uma das dimensões, destacando o nível de maturidade e os entraves enfrentados pelas empresas presentes no setor eletroeletrônico. Para a empresa, a análise do grau de maturidade, é indispensável pois beneficia a gestão do sistema de produção, no qual demonstra os pontos positivos e os negativos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Indústria 4.0

Para Rodrigues *et al.* (2022) a Indústria 4.0 é de fato a Quarta Revolução Industrial, que abrange a transformação digital em curso nas indústrias e nas máquinas, ou seja, está diretamente ligada à automação dos processos de fabricação. O autor ressalta que a essência da Indústria 4.0, é constituída pela integração de tecnologias digitais nas operações industriais. Uma revolução caracterizada pelo uso avançado de sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e aprendizado de máquina, que juntos criam uma fábrica inteligente. A automação dos processos de fabricação não se limita apenas à eficiência produtiva, mas também engloba a personalização em massa, a flexibilidade e a capacidade de resposta rápida às demandas do mercado.

A implementação da Indústria 4.0 requer mudanças significativas na cultura organizacional e nos processos de trabalho, Góes *et al.* (2023). A transição para a Indústria 4.0 representa uma revolução na maneira como as empresas operam, introduzindo automação avançada, dados em grande escala e interconectividade. Essa mudança não é apenas tecnológica, mas também cultural e estrutural. A cultura organizacional deve evoluir para abraçar a inovação contínua e a aprendizagem, enquanto os processos de trabalho precisam ser redefinidos para integrar novas tecnologias e métodos de análise de dados. A gestão desempenha um papel crucial nesse processo, pois uma liderança eficaz pode facilitar a adaptação dos funcionários às novas ferramentas e processos, além de promover um ambiente que encoraja a experimentação e aceita o risco como parte do crescimento. Compreende-se que uma boa gestão é essencial nesse processo, visto que a forma como a empresa é conduzida, influencia diretamente nos resultados, sejam estes positivos ou negativos Góes *et al.* (2023).

Para Coelho & Souza (2021), a capacidade de liderar não é esperada apenas pelos gerentes e líderes, mas é uma necessidade que os capacita a se tornarem mais eficazes e eficientes em seu campo de especialização, isto combinado às habilidades, conhecimento e atitude. O autor, assim, ressalta a importância da capacidade de delegar como uma competência essencial para gerentes e líderes, não apenas como uma expectativa, mas como um meio de alcançar maior eficácia e eficiência. Isso implica que a liderança moderna exige uma combinação de

habilidades técnicas e interpessoais, conhecimento aprofundado e uma atitude positiva para capacitar equipes e otimizar o desempenho. Por outro lado, Silva, Lucas e Oliveira (2021) destacam a Indústria 4.0 como um marco na evolução industrial, onde a integração da tecnologia digital com a internet revoluciona os processos produtivos. Essa transformação não se limita à automação, mas engloba a comunicação e a análise de dados para criar sistemas de produção mais inteligentes e interconectados. Ambas as perspectivas enfatizam a necessidade de adaptação às mudanças tecnológicas e gerenciais para manter a competitividade e eficiência no cenário global atual.

Maturidade

De acordo com Souza & Gomes (2015), a maturidade é alcançada por meio da consolidação de prática gerais e específicas relacionadas a um conjunto de processos predefinidos que visam aumentar a performance geral de uma empresa ou de um objetivo específico. Conforme esse pensamento, a maturidade organizacional, é um estado desejável para as empresas que buscam aprimorar sua performance e alcançar objetivos específicos. Essa maturidade é atingida através da implementação e consolidação de práticas que são tanto gerais, aplicáveis a várias áreas da empresa, quanto específicas, direcionadas a processos particulares. A ideia central é que, ao seguir um conjunto de processos predefinidos, uma organização pode melhorar sistematicamente suas operações e resultados. Modelos de maturidade em gerenciamento de projetos, por exemplo, oferecem uma estrutura para avaliar e aprimorar a capacidade de uma organização em gerenciar seus projetos eficientemente. Estes modelos são compostos por estágios que descrevem a evolução da maturidade nas áreas de interesse e são fundamentais para o desenvolvimento organizacional.

A maturidade de um processo é um indicativo crucial da capacidade de uma organização de gerir e melhorar continuamente suas práticas. Rozenfeld e colaboradores (2006) destacam que a maturidade pode ser medida pela quantidade de melhores práticas aplicadas consistentemente pela empresa. Isso significa que quanto mais integradas e padronizadas forem as práticas, maior será o nível de maturidade. A frequência e estabilidade dessas práticas, como mencionado por Jucá Júnior e Amaral (2005), são também indicadores da maturidade, pois refletem a sofisticação e a consistência na aplicação das práticas, procedimentos e técnicas. Portanto, entender e avaliar o nível de maturidade de uma organização é essencial para garantir a eficácia e a eficiência dos processos empresariais, bem como para identificar áreas que necessitam de melhorias.

Polo Industrial de Manaus

De acordo com Oliveira & Santiago (2024), o Polo Industrial de Manaus (PIM), foi inaugurado em 1967, como um exemplo que ilustra como as revoluções industriais impactaram o Brasil. Surgido durante a Segunda Revolução Industrial, com ênfase na produção em larga escala de produtos eletroeletrônicos, o PIM se estabeleceu como um centro industrial crucial na região Norte do país. Este centro

industrial não apenas fortaleceu a economia local, mas também se tornou um pilar para o desenvolvimento tecnológico e econômico da região. Com o passar dos anos, o PIM evoluiu, adaptando-se às mudanças globais e tecnológicas, como evidenciado pela sua transição para a Indústria 4.0, que trouxe inovações como a automação e a robótica para as linhas de produção.

Partindo dessa visão, o Polo Industrial de Manaus (PIM) torna-se o principal agente na economia do Amazonas, composto por uma enorme variedade de peças e produtos que são produzidos para gerar bens de consumo às empresas, possui mais de 1100 empresas, de pequeno, médio e grande porte, abrangendo subsetores como: eletroeletrônico, químico, metalúrgico, duas rodas, termoplástico e computadores (Ferreira; Botelho, 2014; Azevedo; Santiago, 2019). De fato, o PIM é um dos pilares da economia na região do Amazonas, atuando como um motor de desenvolvimento regional. A diversidade de setores que compõem o PIM reflete a capacidade de adaptação e inovação necessárias para prosperar em um mercado globalizado. O PIM não apenas gera uma quantidade significativa de empregos, mas também contribui para a economia local através da produção de uma vasta gama de produtos, desde eletrônicos a bicicletas. Assim, o modelo de Zona Franca adotado pelo PIM oferece incentivos fiscais que atraem investimentos e promovem a competitividade das empresas instaladas na região. Essa estrutura tem sido fundamental para o crescimento econômico do Amazonas, apesar dos desafios logísticos e de infraestrutura que a região enfrenta.

PIMM 4.0

Para Itikawa & Santiago, (2022), o modelo PIMM4.0® é a metodologia utilizada que vem ajudando as empresas brasileiras a medir a maturidade de seus processos industriais, trazendo uma visão multinível e multidimensional. A plataforma tornou-se uma das principais ferramentas nos centros industriais do Brasil, promovendo os melhores resultados no entendimento das lacunas técnicas da quarta revolução industrial, pois PIMM4.0® é o único modelo brasileiro com bases matemáticas voltado para a realidade brasileira. O modelo PIMM4.0 representa um avanço significativo para a indústria brasileira, especialmente no contexto da Indústria 4.0, que é marcada pela integração de tecnologias digitais nos processos de produção.

A metodologia do PIMM4.0®, com sua abordagem multinível e multidimensional, oferece às empresas uma estrutura robusta para avaliar e melhorar sua maturidade digital. Isso é crucial, pois a transição para sistemas de produção mais avançados pode ser complexa e desafiadora. O modelo ajuda as empresas a identificar áreas de melhoria e a desenvolver estratégias para integrar tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data e computação em nuvem, que são fundamentais para a competitividade na nova era industrial. O PIMM4.0® é adaptado à realidade brasileira, o que é essencial para garantir que as soluções propostas sejam, relevantes e aplicáveis no contexto local. A adoção desse modelo pode levar a melhorias significativas em eficiência, qualidade e inovação, preparando as empresas brasileiras para serem líderes na revolução tecnológica global.

É uma ferramenta ou método criado para analisar e diagnosticar problemas em empresas que estão em transição para a indústria 4.0. Ela oferece uma visão multinível e multidimensional, ajudando a identificar gaps e priorizar ações para a transformação digital. Desde 2019 a metodologia PIMM4.0 vem sendo utilizada e testada por empresas industriais de manufatura nos segmentos eletroeletrônico, informática, metalmeccânico, termoplástico, químico e papel.

METODOLOGIA

Este estudo se configura quanto aos meios por uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso desenvolvendo subsídios para uma abordagem como uma pesquisa qualitativa com fins descritivos, obtidos no banco de dados produzidos pelo PIMM 4.0. A metodologia adotada aplicada nessa pesquisa, se dá de maneira qualitativa por requerer planejamento para avaliar o problema, métodos de coleta de dados e análise de resultados. O processo envolve ferramenta matemática PIMM 4.0, na análise de maturidade, e abrangendo o modelo de análise de regressão linear simples, com dados das subdimensões de Produtos e Serviços de Eletroeletrônicos na fabricação de cabos e outros componentes.

A coleta de dados foi realizada por meio do nível de maturidade da empresa, a diversidade das operações e as peculiaridades das realidades industriais, permitindo medir o nível geral de maturidade. “Para tal, será calculado, de forma adaptada, o grau de cada uma das dimensões do modelo supracitado, sem considerar as relações entre essas variáveis, identificando quais subdimensões estão afetando positivamente e negativamente os avanços” (Aguiar, Santiago, Oliveira Júnior, 2023, p. 04).

De acordo com os dados é possível calcular o grau de cada uma das dimensões, destacando o nível de maturidade e os entraves enfrentados pelas empresas presentes no setor eletroeletrônico. Para Itikawa *et al.* (2022), o modelo PIMM4.0 é a metodologia que vem ajudando as empresas brasileiras nos processos industriais, trazendo uma visão multinível e multidimensional na análise do grau de maturidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados do artigo foram obtidos pelo sistema PIMM 4.0, por meio de questionário respondido por dezoito (18) colaboradores de uma empresa do segmento eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus. No que concerne, as suas diligências sobre a empresa em relação as sete (7) dimensões do modelo que abrange: Produtos e Serviços; Manufatura e Operações; Estratégia e Organização; Cadeia de Suprimentos; Modelo de Negócio; Interoperabilidade; Pessoas e Cultura (Azevedo; Santiago, 2019).

Para tal análise, utilizamos a Dimensão Produtos e Serviço, por esta ser primordial para modernizar e otimizar tanto a produção assim como a oferta de

serviços, amparando as empresas a se manterem competitivas, inovadoras, com ampla capacidade e eficientes em um ambiente de mercados cada vez mais ativo e tecnológico.

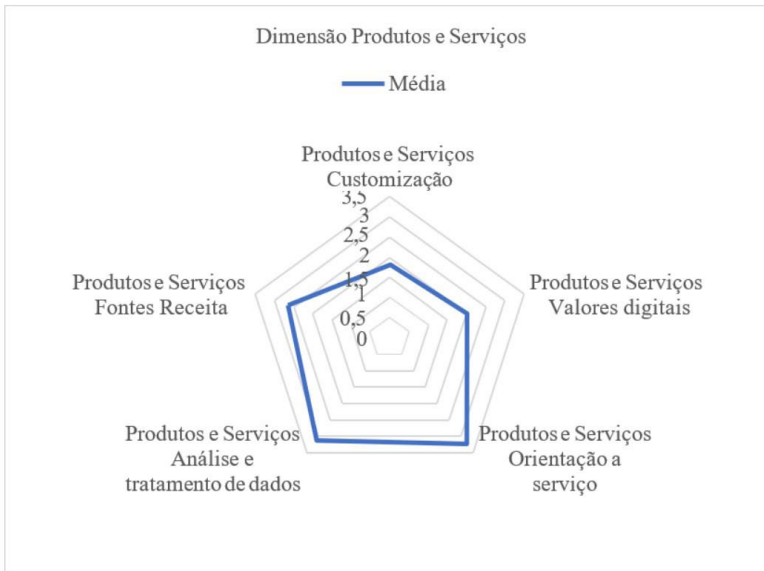
Tabela 1 - Nível de Maturidade e Média da dimensão Produtos e Serviços.

Dimensão	Subdimensão	Média
Produtos e Serviços	Customização	1,83
	Valores digitais	2
	Orientação a serviço	3,22
	Análise e tratamento de dados	3,11
	Fontes Receita	2,67

Dimensão = PIMM 4.0; Subdimensão = PIMM 4.0; Média = valores da subdimensão.

Ao analisar os dados alcançados na plataforma PIMM 4.0, no que se refere a dimensão “Produtos e Serviços” e suas cinco (5) subdimensões, alcançamos a média de cada uma. E a partir delas, entende-se que apesar do baixo índice de customização a empresa produz de forma padronizada seus produtos em sua grande maioria com algumas limitações. Esses produtos possuem licenciamento, além de uma relação com os clientes, no entanto o número ainda é considerado baixo com percentual de 19% a 43 %.

É perceptível a sua acentuada disparidade, tendo como resultado nível 2-maturidade, porém é possível verificar a tendência ao nível 3. Dado que, a maioria das subdimensões está entre e acima de 2,5, contribuindo dessa forma com a média geral de 2,57. Com base na customização que está abaixo de 2, apesar dessa média a empresa mantém a produção em massa de forma padronizada. Aqui fazemos uma mensuração de como está representada graficamente, para melhor se ter uma noção do quanto os números e cada dimensão influencia no impacto de mudança para indústria 4.0.

Figura 1 - Pontuação Dimensão e Subdimensão Produtos e Serviços.

O gráfico de radar (figura 1) compara a forma visual do nível de maturidade medido (pontuação em azul) em relação ao nível máximo (1 a 4). De acordo com esses dados os resultados demonstram que a escala se exibe de dentro para fora, o centro é orientado pelo nível inicial. É evidente que as subdimensões “Orientações a serviço”, “Análise e tratamento de dados” e “Fontes Receitas”, apresentam médias mais avançadas a atingir o nível ideal à mudança para a indústria 4.0. A dimensão “Produtos e Serviços” dentro do PIMM 4.0 é importante devido às razões descritas no fluxograma. A “Inovação e Competitividade”, ajuda empresas a desenvolverem produtos mais inovadores e adaptados às necessidades do mercado, aproveitando tecnologias como IoT (Internet das Coisas), análise de dados e automação. Promove a competitividade para melhorar a oferta de produtos e serviços para competir em um mercado cada vez mais global e tecnológico.

A regressão linear simples, constitui em uma equação matemática linear que esboça a relação entre duas variáveis, uma dependente e outra independente, com a intenção de aferir valores para uma variável, com base em valores versados da outra, por fim resultando em uma reta. Apesar da regressão em suma labutar com variáveis aleatórias, nesta pesquisa elas foram escolhidas através de sua importância para empresa. É como descrevemos na tabela abaixo:

Tabela 2 - Subdimensões analisadas e seus conceitos.

Subdimensões	Conceito
Valores digitais	São características pertinentes à tecnologia digital incorporados em produtos e serviços. Incluindo recursos como conectividade, interatividade, automação, experiências virtuais, entre outros.
Orientação a serviços	Empresa dedica suas diligências em fornecer um alto nível de serviço e atendimento ao cliente. Evidencia a satisfação do cliente como uma prioridade e busca oferecer soluções amplas e suporte contínuo ao longo de toda jornada do cliente.

Subdimensões = PIMM 4.0; Conceitos = definições.

As duas subdimensões, alavancam o nível de confiabilidade da empresa em relação aos serviços oferecidos aos clientes, tanto que ela permanece no mercado a mais de 20 anos. Apesar de que a média de valores digitais esteja em nível dois (2), a empresa busca inserção na transformação digital, na inovação de produtos, melhorar a eficiência e atender as necessidades do mercado. A empresa dá bastante prioridade na questão de consumidores, isso faz com que ela se sobressaia entre os seus concorrentes. Exemplo disso é a subdimensão orientação a serviço que oferece um diferencial. Esse é o passo estratégico que a empresa em questão faz para expandir seus negócios. Atendendo as necessidades dos seus clientes e oferecendo as melhores soluções. Ou seja, uma empresa que aspira crescer só poderá fazer isso se puder contar com seus clientes, tendo em vista que eles são os principais agentes que fazem o negócio existir. É por meio dessa premissa, que a regressão é utilizada para:

- Estimar valores de uma variável, com adesão nos valores de outra variável;
- Explicar os valores de uma variável com adesão nos valores da outra;
- Predizer futuros valores de uma variável.

É através deste instrumento estatístico, e também método descritivo de análise de dados que trouxemos as seguintes estimativas:

Tabela 3 - Resumo estatístico do cálculo da base de dados pela Regressão Linear Simples.

Estatística de Regressão		
R-múltiplo	0,43	É o coeficiente de correlação entre os valores digitais e orientação a serviço.
R- Quadrado	0,19	Coeficiente de determinação.
R-Quadrado ajustado	0,14	Coeficiente de determinação ajustado.
Erro padrão	0,78	Erro obtido pela equação em unidade ajustado.
Observações	18	Quantidade de dados postos em colunas.

Estatística de regressão = uma ou mais variáveis independentes influenciam ou predizem uma variável dependente.

Fazendo a leitura do resumo argumentamos que, no R-múltiplo (ou Coeficiente de Correlação Múltipla): O valor de 0,43 indica a força da correlação linear entre as

variáveis independentes (ou preditoras) e a variável dependente (ou resposta). Um valor de 0,43 sugere uma correlação positiva moderada. Em outras palavras, existe uma relação moderada entre as variáveis independentes e a variável dependente.

Para o R-quadrado (ou Coeficiente de Determinação): O valor de 0,19 significa que 19% da variação na variável dependente pode ser explicada pelas variáveis independentes no modelo. Em termos práticos, isso sugere que o modelo explica uma parte relativamente pequena da variação na variável dependente.

O R-quadrado ajustado: O valor de 0,14 é o R-quadrado ajustado, que leva em consideração o número de variáveis independentes no modelo e o tamanho da amostra. O ajuste é feito para penalizar a inclusão de variáveis que não contribuem significativamente para o modelo. Um valor de 0,14 indica que, após ajustar para o número de variáveis no modelo, a proporção explicada da variação na variável dependente é ainda menor do que o R-quadrado original. O Erro padrão: O valor de 0,78 representa o erro padrão da estimativa.

Esse é um indicativo da média das diferenças entre os valores reais da variável dependente e os valores previstos pelo modelo. Um erro padrão menor geralmente sugere que as previsões do modelo são mais precisas, enquanto um erro padrão maior indica mais variação em torno da linha de regressão.

Já as Observações: O valor de 18 indica que a análise de regressão foi realizada com 18 pontos de dados. É um tamanho de amostra relativamente pequeno, o que pode limitar a capacidade do modelo de generalizar e pode afetar a robustez das estimativas.

Em seguida temos os valores da tabela de análise de variância (ANOVA), que nos revela mais uma avaliação acerca do modelo de regressão simples e explica uma parte significativa da variação da variável dependente.

Tabela 4 - Análise dos dados calculados pelo modelo de Regressão Linear Simples.

ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	2,25	2,25	3,692308	0,07266
Resíduo	16	9,75	0,609375		
Total	17	12			

GL = Grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; MQ = média dos quadrados; F = MQ regressão/ MQ resíduo; F de significação = valor p-.

GL (Graus de Liberdade): Número de parâmetros livres. Para regressão é o número de variáveis independentes, e para resíduo é o número de observações menos o número de parâmetros do modelo. De acordo com os dados, foi obtido valor 1 sugerindo que há apenas uma variável independente no modelo.

SQ (Soma dos Quadrados): Medida da variação total explicada pela regressão e o erro (resíduo). Nos revela o valor 2,25 que consiste na variação explicada pelo modelo de regressão. MQ (Média dos Quadrados): SQ dividido pelos

GL correspondentes. Representa a variabilidade média por grau de liberdade. Nos indica o valor 2,25, em que SQ dividido por GL, ou seja, $2,25/1=2,25$.

F (Estatística F): MQ da regressão dividido pelo MQ do resíduo. Avalia a relação entre a variabilidade explicada pelo modelo e a variabilidade não explicada (erro). Nos mostrando o valor 3,692308, em que MQ da regressão é dividido pelo MQ do resíduo, ou seja, $2,25/0,609375$.

F de significação: Valor-p associado à estatística F. Indica a probabilidade de observar uma estatística F tão extrema quanto a observada se a hipótese nula (de que o modelo não é significativo) fosse verdadeira.

Contudo, ressaltamos que para o uso do modelo os pressupostos utilizados para a avaliação que corrobora com modelo de regressão linear simples, obtivemos resultados positivos, delineando cada característica que relevaram desde a escolha das variáveis até a interpretação das tabelas e gráficos aqui exibidos, deixando a importância da análise ao estudo de caso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a dimensão “Produtos e Serviços” de uma empresa do setor eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus (PIM), com base nos dados coletados pelo sistema PIMM 4.0. A investigação mostrou que a empresa se encontra em um estágio intermediário de maturidade rumo à Indústria 4.0, com uma média geral de 2,57, indicando progressos importantes, mas também evidenciando áreas com potencial de melhoria, principalmente no quesito de customização de produtos. Por meio da regressão linear simples, ficou claro que a integração de tecnologias digitais emergentes, como IoT e automação, será essencial para melhorar a eficiência dos processos e a qualidade dos serviços prestados, criando soluções mais ágeis e personalizadas.

Embora a empresa tenha feito avanços significativos rumo à modernização de suas operações e ao atendimento de demandas do mercado, é essencial investir em inovação continuada. A capacidade de compreender e atender as necessidades dos clientes de forma ágil e eficiente será determinante para alcançar a maturidade da Indústria 4.0. Com esse enfoque, a empresa estará preparada para a competitividade e sustentar seu crescimento em um mercado cada vez mais dinâmico e exigente.

REFERÊNCIAS

Aguiar, V. L., Santiago, S. B., Oliveira Júnior, M. C. (2023). Análise de maturidade da indústria 4.0: um estudo de caso em uma empresa do ramo de eletroeletrônicos do polo industrial de Manaus. 30 SIMPEP.

Azevedo, A., Santiago, S. B. (2019). Design of an Assessment Industry 4.0 Maturity Model: An application to manufacturing company. In: Proceedings of the

International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Toronto, ON, Canada. p. 23-25.

Brasil, A. C. C., Santiago, S. B. (2023). A maturidade da indústria 4.0 em uma indústria de eletroeletrônicos no Polo industrial de manaus – um estudo de caso. 30 SIMPEP.

Ceolla, S. (2021). PIMM 4.0: Aplicação de modelo de maturidade e prontidão é desafio para a indústria brasileira. IND4.0.

Cervo, A. L. (2007). Metodologia Científica. 6º ed. São Paulo: Pearson Prentice. Hall. Ferreira, S. M. P., Botelho, L. (2014). O emprego industrial na Região Norte: o caso do Polo Industrial de Manaus. estudos avançados, v. 28, p. 141-154.

Góes, J. C., Santiago, S. B., Oliveira Junior, M. C. (2023). Maturidade na Industria 4.0: Estudo de caso em uma Fabricante de Eletrônicos no Polo Industrial de Manaus por Meio do Sistema PIMM 4.0, 30 SIMPEP.

Itikawa, M., Santiago, S. B. (2022). Industry 4.0 Maturity: A case study of a maturity model applied to the Manaus Free Trade Zone company. International Journal of Development Research, 12, (08). In: Análise da Maturidade na Indústria 4.0: Um Estudo de Caso no Polo Industrial de Manaus utilizando o sistema PIMM4.0. Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção.

Jucá Junior, A. S., Amaral, D. C. (2005). Estudo de caso de maturidade em gestão de projetos em empresas de base tecnológica. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais. Porto Alegre/RS: ABEPRO.

Lima, G. S.; Santiago, S. B.; Oliveira Junior, M. C. (2022). Análise da Maturidade na Indústria 4.0: Um Estudo de Caso no Polo Industrial de Manaus utilizando o sistema PIMM4.0. ConBRepro.

Modelo De Medição Da Maturidade E Prontidão Da Indústria 4.0, PIMM4.0 acesso < no dia 24/08/2024 às 22H Apresentação AMa (pimm40.tech).

Oliveira, S. T., Santiago, S. B. (2024). Avaliação da Adoção da indústria 4.0 em uma Empresa Termoplástica no polo industrial de Manaus – Estudo de Caso. Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

PIMM 4.0 (pimm40.tech). acesso < no dia 24/08/2024 às 19:30

Rodrigues, L. C., Queiroga, A. P. G., Milhossi, J. F. (2022). Indústria 4.0 e a Transformação Digital. Brazilian Journal of Development, Curitiba.

Rozenfeld, H., Forcellini, F. A., Amaral, D. C., Toledo, J. C., Silva, S. L., Alliprandini, D. H., Scalise, R. K. (2006). Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva.

Severino, A. J. (2013). Metodologia do Trabalho Científico. 1º ed. São Paulo. Cortez.

Silva, M. L. A. E., Lucas, M. M. B., Oliveira, M. L. (2021). Teorias do desenvolvimento regional: o modelo zona franca de Manaus e a 4ª revolução industrial. Informe GEPEC, v. 25, n. 2, p. 107–124.

Souza, C. A., Gomes, C. A. M. (2015). Implantação de Software ERP em Empresas Brasileiras: Teoria e Casos. São Paulo: Atlas.

Sandro Breval Santiago

Pós-Doutorado pela Politécnica da USP, Pós-Doutorado em Indústria 4.0 pela Faculdade de Engenharia, da Universidade do Porto, Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. Cursos no exterior de estratégia e finanças nas principais escolas de negócios americanas (Universidade de Chicago e Wharton School) e europeias (ESADE , Porto Business School e INSEAD). Cursos internacionais em Transformação digital e Indústria 4.0 (Porto Business School e RWTH University). Atua em projetos de P D, industriais, consultoria e treinamento. Experiência em cargos de alta direção do setor de tecnologia, metalurgia e logística. Professor da Universidade Federal do Amazonas.

A

ambientes 1, 23
ambientes industriais 1
análise XI, XV, XVI, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14,
15, 16, 19, 20, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 41,
42, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57, 58, 59,
61, 63, 64, 65, 66

C

cenário 3, 4, 11, 12, 14, 25, 59
cliente 45, 46, 47, 64
colaboradores 2, 5, 6, 11, 13, 56, 59, 61
coleta de dados 1, 5, 11, 15, 48, 56, 61
correlação 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 27, 28, 30, 43,
44, 50, 51, 52, 64, 65
criatividade 43
customização 53, 56, 62, 66

D

desenvolvimento XI, 1, 2, 3, 4, 11, 13, 14, 23, 24, 25,
42, 56, 57, 59, 60, 67, 68
digital XI, XV, XVI, 2, 3, 5, 6, 11, 23, 24, 25, 55, 56, 58,
59, 60, 61, 64, 69
distribuição 5, 7, 8, 17, 27, 35, 36, 40

E

economia 4, 11, 12, 56, 57, 60
elétrica 11
eletroeletrônico XI, XV, XVI, 1, 4, 5, 9, 26, 29, 30, 31,
35, 41, 58, 60, 61, 66
empresa XV, XVI, 1, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 21,
23, 26, 29, 30, 31, 35, 41, 43, 44, 46, 47, 55, 56, 57,
58, 59, 61, 62, 63, 64, 66
energia 11
energia elétrica 11

estatística 1, 5, 15, 16, 26, 27, 28, 36, 44, 50, 53, 66
estoque 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 41,
42, 43, 44, 46, 49, 50, 52, 53
estratégias XVI, 1, 2, 3, 23, 25, 43, 47, 52, 53, 60
estruturado 11, 47

F

fabricação XI, 3, 11, 47, 53, 56, 57, 58, 61
ferramenta 3, 9, 13, 26, 28, 46, 57, 61

G

gerenciamento 41, 44, 46, 59
gestão XV, 1, 3, 6, 23, 25, 26, 42, 45, 47, 52, 53, 55,
56, 57, 58, 67
gestão de estoques XV, 23, 26, 42, 47
gestão de pessoas XV, 1
globalização 25, 57

H

homoscedasticidade 27, 28, 35, 40

I

indústria XVI, 3, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 24,
25, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48,
49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 66, 67
indústria 4.0 3, 10, 11, 15, 20, 21, 22, 24, 25, 29, 30,
31, 34, 35, 36, 41, 42, 44, 45, 49, 51, 55, 56, 57, 61,
62, 63, 66, 67
industriais XI, 1, 3, 12, 13, 14, 22, 23, 25, 26, 57, 58,
59, 60, 61, 69
industrial XVI, 1, 2, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 15, 21, 22, 24,
25, 35, 41, 43, 44, 46, 52, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 66,
67, 68
indústrias XI, XVI, 3, 12, 14, 25, 43, 44, 45, 47, 56, 57,
58

infraestrutura XI, 44, 60
inovação 1, 2, 4, 6, 24, 43, 45, 46, 53, 55, 56, 58, 60, 64, 66
inovadora 1
internet 10, 12, 24, 42, 55, 56, 59
investimentos XI, 4, 14, 20, 24, 44, 45, 60

L

lead time 43, 47, 48, 50, 52, 53, 55
linear 5, 6, 7, 8, 9, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 41, 50, 57, 61, 63, 64, 66
lineares 15, 36, 52, 53
logística XVI, 2, 43, 44, 45, 46, 47, 54, 69
lucrativo 47

M

manufatura XV, 1, 2, 4, 5, 11, 12, 13, 24, 26, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 57, 61
máquinas 2, 11, 13, 23, 56, 58
maturidade XI, XV, XVI, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 67
mecânica 11
mercado XI, 3, 6, 12, 13, 14, 24, 25, 45, 46, 47, 52, 56, 57, 58, 60, 63, 64, 66
modelo de negócio 11, 20, 54

N

negócios 45, 53, 64, 69
normais 40

O

organizacional XV, XVI, 1, 2, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 23, 26, 43, 45, 46, 47, 53, 56, 57, 58, 59

P

período 11, 24

planejamento 25, 43, 47, 56, 61

princípios 2, 11

processo 1, 4, 12, 16, 21, 22, 25, 41, 44, 46, 47, 56, 58, 59, 61, 67

processos XI, XV, XVI, 1, 2, 3, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 26, 41, 43, 44, 45, 46, 52, 53, 56, 58, 59, 60, 61, 66

produção XI, XV, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 44, 45, 46, 47, 48, 52, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62

produtos XI, XV, 2, 4, 6, 11, 12, 13, 14, 23, 24, 43, 44, 45, 46, 47, 53, 56, 59, 60, 62, 63, 64, 66, 67

R

regressão 5, 6, 7, 8, 9, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 40, 41, 49, 52, 57, 61, 63, 64, 65, 66

relevância XVI, 1, 4, 6, 7, 11, 15, 23, 31, 41, 43, 51, 57

resíduos 7, 8, 27, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41

S

setor XI, XV, 1, 2, 9, 11, 12, 14, 25, 43, 44, 45, 47, 50, 52, 53, 56, 57, 58, 61, 66, 69

simétrica 7, 40

sistema VIII, 11, 12, 13, 15, 21, 24, 26, 43, 44, 47, 50, 58, 61, 66, 67

sistemas XI, XV, 1, 2, 4, 6, 12, 13, 15, 23, 24, 25, 26, 42, 47, 58, 59, 60

sustentabilidade 2, 3, 45, 47

sustentável XI, 2, 5, 14, 25, 45, 46, 47

T

tecnologia 3, 12, 24, 25, 46, 52, 54, 55, 56, 59, 64, 69

tecnologias XI, XV, 2, 4, 5, 6, 12, 13, 15, 23, 24, 25,
26, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 52, 53, 55, 57, 58, 60, 63,
66
tecnológica 1, 3, 13, 15, 25, 43, 45, 53, 57, 58, 60, 67
tecnológico XI, 3, 4, 11, 23, 60, 62, 63
tecnológicos VIII, 3, 12, 14, 15, 25
temperatura 43
tempo real XI, XV, 3, 6, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31,
32, 34, 35, 36, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 52, 53
termoplástica XVI, 43, 44, 48, 52, 53, 54, 55
termoplástico XI, XV, 11, 12, 14, 43, 44, 45, 46, 47,
60, 61
termoplásticos XVI, 43, 45, 46, 47, 53

V

vapor 11
variáveis 1, 5, 6, 7, 8, 12, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 26,
27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 40, 41, 43, 44, 46, 48,
49, 50, 51, 52, 53, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66



Cloud Computing



Big Data



AYA EDITORA
2026

