



INDÚSTRIA 4.0 NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: UM ESTUDO SOBRE A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO SETOR ELETROELETRÔNICOS

INDUSTRY 4.0 AT THE MANAUS INDUSTRIAL ESTATE: A STUDY OF DIGITAL TRANSFORMATION IN THE ELECTRICAL AND ELECTRONICS SECTOR

Pollyana Massulo Rocha¹; Sandro Breval Santiago²

RESUMO: Este estudo visa investigar a implementação da indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus, com o objetivo de identificar quais são os principais desafios e oportunidades enfrentados pelas empresas de eletroeletrônicos, e como esses fatores influenciam a eficiência produtiva, a otimização da cadeia de suprimentos e a criação de novos modelos de negócios, tornando as empresas mais competitivas. Utilizando uma abordagem quantitativa, a pesquisa explora os desafios e oportunidades recebidas pelos gestores durante a transição para tecnologias avançadas, como Internet das Coisas (IOT), big data, automação e inteligência artificial. A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário estruturado, desenvolvido com base em uma revisão abrangente da literatura existente sobre Indústria 4.0. Os resultados destacam as principais barreiras e facilitadores na adoção dessas tecnologias, fornecendo um panorama das práticas atuais e propondo estratégias para maximização dos benefícios da nova indústria no contexto industrial da capital. A análise sugere que estratégias integradas que incluam programas contínuos de capacitação e desenvolvimento de habilidades são essenciais. Além disso, práticas exemplares e inovadoras.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Polo Industrial de Manaus, Eletroeletrônicos, Automação, Big data.

ABSTRACT: This study aims to investigate the implementation of Industry 4.0 in the Manaus Industrial Estate, to identify the main challenges and opportunities faced by electronics companies, and how these factors influence production efficiency, supply chain optimization, and the creation of new business models, making companies more competitive. Using a quantitative approach, the research explores the challenges and opportunities faced by managers during the transition to advanced technologies such as the Internet of Things (IOT), big data, automation, and artificial intelligence. Data was collected using a structured questionnaire, developed based on a comprehensive review of existing literature on Industry 4.0. The results highlight the main barriers and facilitators in adopting these technologies, providing an overview of current practices and proposing strategies for maximizing the benefits of the new industry in the capital's industrial context. The analysis suggests that integrated strategies that include ongoing training and skills development programs are essential. In addition, exemplary and innovative practices.

Keywords: Industry 4.0, Manaus Industrial Hub, Electronics, Automation, Big data.

¹ Universidade Federal do Amazonas (UFAM) / email: pollyana.mrocha@hotmail.com

² Universidade Federal do Amazonas (UFAM) / email: sbreval@ufam.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O cenário industrial atual tem passado por mudanças através da implementação de novas tecnologias avançadas por influência da Indústria 4.0. Esse paradigma tem como objetivo criar fábricas inteligentes, onde sistemas físicos e digitais são interligados para melhoria da eficiência, flexibilidade e capacidade de resposta das operações de manufatura (Hermann; Pentek. Otto, 2016). Tendo como aliadas tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), big data, automação robótica avançada (Schwab, 2016). No Brasil, o Polo Industrial de Manaus (PIM) destaca-se como um dos principais centros fabris do país, abrigando diversas empresas, especialmente no setor eletroeletrônico. O PIM desempenha um papel crucial na economia brasileira há mais de cinquenta anos, beneficiando-se de incentivos fiscais e de sua posição estratégica que facilita o acesso aos mercados latino-americanos.

Contudo, a Indústria 4.0 enfrenta desafios significativos em sua implementação no Polo Industrial de Manaus (PIM) que supera a simples adoção de novas tecnologias. A transformação para a produção avançada requer infraestruturas robustas, investimentos significativos em tecnologias emergentes e, acima de tudo, formação contínua da força de trabalho (Schumacher; Erol; Sihn, 2016). A resistência à mudança organizacional e cultural também se apresenta como um obstáculo significativo, que exige uma mudança de mentalidade por parte dos gestores e colaboradores para que a integração das novas tecnologias seja bem-sucedida (Kane et al., 2017). Além disso, questões relacionadas com a conectividade, interoperabilidade de sistemas e segurança cibernética são aspectos críticos que devem ser abordados para garantir uma transição eficaz para a Indústria 4.0 (Zhong et al., 2017).

O principal objetivo deste estudo é analisar as oportunidades e desafios decorrentes da inserção da Indústria 4.0 nas empresas eletrônicas do complexo industrial de Manaus. Através de uma abordagem quantitativa, serão exploradas as percepções dos gestores sobre os obstáculos encontrados, como a insuficiência de infraestrutura tecnológica, a falta de qualificação específica da força de trabalho e a resistência a mudanças organizacionais (Goularte, 2022). Por outro lado, também serão estudadas as oportunidades que a Indústria 4.0 pode oferecer, como o aumento da eficiência produtiva, a otimização da cadeia de suprimentos e a criação de novos modelos de negócios que possam gerar vantagens competitivas no mercado global (Christopher; Holweg, 2011).

Diante da necessidade urgente de modernização das indústrias brasileiras para o aumento competitivo diante das transformações tecnológicas globais. A transição bem-sucedida para a Indústria 4.0 pode posicionar o PIM como um exemplo de inovação e eficiência no setor industrial brasileiro, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região e do país (Confederação Nacional da Indústria, 2019).

Perante a crescente pressão por eficiência e inovação, é importante compreender como as empresas do PIM gerenciam a transição para a Indústria 4.0, que fornecerá insights valiosos para gestores, formuladores de políticas e outros atores sobre a evolução do setor industrial no Brasil. Portanto, a implementação da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus apresenta um cenário complexo e dinâmico, repleto de desafios e oportunidades que, se bem administrados, podem levar a um salto significativo na competitividade e sustentabilidade das empresas eletrônicas da região. Levando em consideração, o trabalho questiona: Quais os principais desafios e oportunidades enfrentados pelas empresas de eletroeletrônicos do Polo Industrial de Manaus durante a implantação da Indústria 4.0 e como esses fatores afetam a eficiência da produção, a otimização da cadeia de suprimentos e a criação de novos modelos de negócios?

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria 4.0

O conceito nasceu em abril de 2011 na Hannover Messe, trazendo uma abordagem revolucionária para a produção baseada na integração de máquinas, materiais e sistemas. O objetivo deste modelo é criar redes inteligentes ao longo da cadeia de valor que permite às organizações gerir de forma independente os processos de produção. Segundo Hermann et al. (2015), a Indústria 4.0 é baseada nos princípios de comunicação com transparência e um sistema com outro (interoperabilidade), capacidade do sistema e monitoramento de processos (virtualização), capacidade do sistema de tomada de decisões (descentralização), capacidade do sistema de coleta e tratamento de dados em tempo real (trabalho em tempo real), disponibilidade dos serviços para outros participantes do processo (orientação a serviços) e a flexibilidade de módulos adaptáveis (sistema de modular). Nesta era moderna, as atividades editoriais estão mudando rapidamente com o desenvolvimento da tecnologia da informação, especialmente da tecnologia dos computadores (Junior e Salturato, 2018). No entanto, para aplicação de todos esses sistemas e introdução desses conceitos, oriundos da Quarta Revolução Industrial, é necessário que ocorra de forma gradativa e derivada de transformações, no uso de instrumentos como a Internet das Coisas (IoT), big data, Cobots, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, entre outros.

Na perspectiva global, a abordagem da Indústria 4.0 mostra a transformação dos processos produtivos e dos modelos econômicos, o que configura um novo nível de desenvolvimento e gestão para as organizações. Este conceito considera o potencial disruptivo da integração de objetos físicos na rede de comunicação, que está mudando a indústria da construção tradicional (PARLAMENTO EUROPEU, 2016). A gestão desempenha um papel de extrema importância nas atividades empresariais, independente da natureza do negócio, e torna-se a base que possibilita a criação de novas estratégias, estruturas e produtos que representam a capacidade da empresa para obter uma vantagem competitiva (Keen, 1997). Os processos, podem ser definidos como sistemáticos e integrados na produção de produtos, serviços e informações, são definidos por atividades coordenadas que envolvem pessoas, processos, recursos e tecnologia. Para desfrutar dos benefícios desses processos, é importante utilizá-los para melhoria ou descoberta de falhas. A otimização, o processo de melhoria e desempenho mais rápido e melhor, está presente em muitas áreas do marketing e abrange áreas como custo, tempo, produtividade e distribuição (Junior e Salturato, 2018).

A qualidade é usada como um fator determinante no contexto da Indústria 4.0. Pode-se definir como algo que melhora o produto e/ou serviço na perspectiva do cliente (Deming, 1990). Num ambiente globalizado e altamente competitivo, assume ainda mais importância o conceito de Qualidade Total, que visa satisfazer as necessidades de todas as partes interessadas, incluindo clientes, colaboradores, fornecedores, governos, acionistas, comunidades e ambiente. Satisfazer as demandas dos stakeholders torna-se uma questão crucial para a sobrevivência das organizações neste contexto (Junior & Salturato, 2018).

Os conceitos de otimização e qualidade total são essenciais no contexto da Quarta Revolução Industrial. Organizações inteligentes que adotam esses princípios obtêm capacidade e autonomia para prever falhas de processos, planejar manutenções mais precisas e se adaptar a mudanças imprevistas nos requisitos das partes interessadas (Silveira, 2016).

2.2 Estratégias de Inovação Tecnológica

A implementação da Indústria 4.0 representa um passo importante na transformação digital do setor industrial, trazendo consigo uma série de mudanças e desafios. No âmbito desta revolução tecnológica, é fundamental compreender o conceito de capacidade tecnológica, que

Realização:

constitui a base para a adoção e exploração das inovações trazidas pela Indústria 4.0. Em concordância com Bell e Pavitt (1993; 1995), citados por Figueiredo (2005), na qual afirmam que a capacidade tecnológica serve de recursos necessários para gerar e gerir a mudança tecnológica, que são acumulados nos indivíduos e nos sistemas organizacionais. Com um potencial bastante ambicioso, a Indústria 4.0 promete maior eficiência operacional, ganhos de produtividade, maior crescimento da competitividade, bem como o desenvolvimento de novos modelos de negócios, serviços e produtos (Kagermann et al., 2013; Kagermann, 2014). Diante disso, surgem oportunidades que permitem às empresas integrar as necessidades dos clientes em seus processos de desenvolvimento e produção. Por exemplo, à medida que sensores, computadores e máquinas em rede se comunicam facilmente entre si e com os seus utilizadores em tempo real, os processos de produção tornam-se mais visíveis e controláveis, reduzindo assim as taxas de falhas e atrasos, o que contribui para a melhoria da qualidade.

Esses recursos incluem o conhecimento, as habilidades e as experiências dos profissionais, bem como os sistemas técnico-físicos e as estruturas organizacionais. Neste contexto, Figueiredo (2019) enfatiza a importância de considerar a capacidade tecnológica não apenas como uma medida de recursos tecnológicos tangíveis, como máquinas e equipamentos, mas também como uma reserva de conhecimento tácito e práticas organizacionais.

A aprendizagem tecnológica desempenha um papel fundamental na acumulação e desenvolvimento de competências tecnológicas. É um processo pelo qual as organizações adquirem e internalizam conhecimento, tanto externo quanto interno, para criar capacidades inovadoras. Esse processo de aprendizagem, conforme descrito por Figueiredo (2019), envolve a aquisição de conhecimento por meio de treinamento, experiência e engenharia reversa, que permitem às empresas alcançarem inovações que agregam valor aos seus produtos e serviços.

No contexto da Indústria 4.0, a aprendizagem tecnológica é essencial para a adoção e utilização eficazes de tecnologias facilitadoras como a IoT, Big Data e IA. Estas tecnologias não estão apenas a transformar os processos industriais, mas também exigem novas competências e práticas organizacionais para serem plenamente exploradas. Portanto, a capacidade de aprender e se adaptar rapidamente a essas novas tecnologias é um diferencial competitivo crucial para as empresas que buscam se destacar em um ambiente industrial cada vez mais digitalizado e inovador. Com isso, os agentes da gestão empresarial, são responsáveis pelos processos e tomadas de decisão, vivenciam a necessidade de adaptação ao mercado, e têm sido imersos ao mundo tecnológico. Por influência disso, buscam manter a competitividade no mercado, otimizar seus recursos e se moldarem a novas demandas, e por isso é imperativo o uso gradativo da Inteligência Artificial e do Machine Learning.

Dessa forma, a inovação industrial pode ser definida como a introdução de novos produtos, serviços ou modelos de negócio que utilizam as tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0, desempenhando um papel central na transformação do setor. Manual de Oslo (2018), afirma que a inovação pode ser entendida como um processo que vai além da simples criação de novas tecnologias, com a sua inclusão e a sua implementação prática e comercial alcança-se o objetivo de gerar valor para a organização.

Neste sentido, a capacidade tecnológica e a aprendizagem tecnológica são elementos-chave para estimular a inovação industrial na era da Indústria 4.0. As empresas que conseguirem desenvolver e reforçar estas capacidades estarão melhor posicionadas e preparadas para aproveitar as oportunidades de crescimento e concorrência que esta revolução tecnológica exige.

Em suma, um conjunto de tecnologias-chave são consideradas responsáveis por acelerar a transição do ambiente de produção tradicional para o ambiente descentralizado exigido pela Indústria 4.0, servindo de diferencial para as empresas que as utilizam.

2.3 Inteligência Artificial e Machine Learning na Indústria 4.0

Realização:

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – UFAM
24 e 25 de Outubro de 2024, 1º edição

A Inteligência Artificial (IA) e o Machine Learning (ML) desempenham um papel de grande importância nas transformações digitais promovidas pela Indústria 4.0. Esses avanços tecnológicos modernizam os processos de produção, como resultado também promovem eficiência e inovação em larga escala. A IA é uma ciência cognitiva que abrange áreas como processamento de imagens, robótica, processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina. O desenvolvimento de novas tecnologias em IA tem sido impulsionado por três fatores principais: a utilização de big data, métodos avançados de aprendizagem da máquina e a disponibilidade de computadores poderosos que fornecem o processamento e suporte necessário para o funcionamento das mesmas (Yao et al., 2017).

O mais novo avanço chamado de IA 2.0 destaca-se pela ênfase no aprendizado de máquina, especialmente no deep learning, que lida com conteúdo não estruturados de maneira descentralizada. Esse progresso disruptivo está substituindo métodos simbólicos tradicionais, caracterizados por conteúdos estruturados e controle centralizado, por novos paradigmas que facilitam operações mais flexíveis e eficientes (Yao et al., 2017). Na indústria, a IA e o ML são consideradas técnicas avançadas que, apesar de promissoras, ainda enfrentam desafios significativos. Logo, o retorno sobre o investimento dessas tecnologias nem sempre é claro para os acionistas, e os resultados dos algoritmos de aprendizado de máquina dependem amplamente da experiência dos desenvolvedores. O sucesso da aplicação da IA no setor industrial ainda é limitado, com barreiras que precisam ser superadas para transformar essas tecnologias em disciplinas maduras focadas na criação, validação e uso de aprendizado de máquina para aumentar a eficiência produtiva (Lee et al., 2018; Zhong et al., 2017).

A integração da IA com outras tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, computação na nuvem e sistemas ciberfísicos, tem potencial para tornar as operações industriais mais flexíveis e eficientes (Rubmann et al., 2015). Esta sinergia permite o trabalho colaborativo e facilitador entre humanos e máquinas, utilizando tecnologias cognitivas de aprendizado de máquina. Por exemplo, robôs inteligentes podem aprender com humanos e desenvolver aptidões complementares em diferentes contextos operacionais (Zhong et al., 2017). No pensamento racional, Stuart e Peter (2021) apresentam a abordagem das leis do pensamento, demonstrando a lógica que a partir de padrões e silogismos corretos é capaz de chegar a conclusões corretas. Diante o exposto, a IA pode ser ensinada a criar sistemas inteligentes a partir da lógica.

Um exemplo prático do uso de IA na indústria é encontrado na Festo Bionic Learning Network, que desenvolveu aplicações como braços robóticos otimizados por IA e o BionicANT, um sistema multiagente que permite que robôs se comuniquem entre si para organizar tarefas de forma colaborativa (Festo, 2020). Além disso, a aplicação de IA em fábricas da BMW demonstrou aumentos significativos na eficiência, como redução de 30% no uso de água, 40% no uso de energia e 20% nas emissões para a atmosfera (Cheng et al., 2017).

Apesar dos avanços, a implementação de IA e ML na indústria ainda enfrenta desafios substanciais. A coleta, classificação e armazenamento de grandes volumes de dados requerem investimentos em infraestrutura de TI robusta, incluindo redes de computadores potentes e métodos eficazes de proteção de dados. A modelagem de cenários e a previsão de falhas são áreas críticas onde a IA pode proporcionar vantagens competitivas significativas (Wuest, 2016). No entanto, a correta interpretação dos resultados e a análise dos dados são essenciais para maximizar os benefícios dessas tecnologias.

A adoção de IA e ML na Indústria 4.0 representa uma mudança inevitável para manter a competitividade no mercado global. As aplicações dessas tecnologias nos processos produtivos servem de ferramentas para o trabalho das organizações, ajudando na otimização dos resultados, mas também oferecem a capacidade de prever falhas, aprender continuamente e aumentar a eficiência operacional. Espera-se que a disseminação dessas práticas inspire novos

Realização:

pesquisadores e empresários a explorar ainda mais as possibilidades oferecidas pela Indústria 4.0, promovendo a inovação contínua e o avanço dos processos produtivos.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo segue uma abordagem quantitativa, centrada na análise dos desafios e oportunidades na implementação da Indústria 4.0 nas empresas de eletroeletrônicos do Polo Industrial de Manaus. A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário estruturado, desenvolvido com base em uma revisão abrangente da literatura existente sobre Indústria 4.0, desafios tecnológicos e gestão de operações. Este questionário foi distribuído a gestores de empresas do setor de eletroeletrônicos, selecionados de forma intencional, priorizando aqueles com maior conhecimento e envolvimento direto na implementação de tecnologias avançadas.

Os dados coletados foram analisados utilizando técnicas estatísticas apropriadas para identificar as principais barreiras e facilitadores na adoção de tecnologias da Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Automação e Inteligência artificial. Sendo assim, as respostas foram tabuladas e submetidas a análises descritivas e inferenciais para fornecer um panorama detalhado das percepções dos gestores sobre a infraestrutura tecnológica, a qualificação da força de trabalho e as resistências organizacionais. Além disso, foi avaliada a relação entre esses fatores e os benefícios percebidos, como aumento da eficiência produtiva e otimização da cadeia de suprimentos.

A interpretação dos resultados considerou tanto as dificuldades enfrentadas quanto às oportunidades emergentes, propondo estratégias para maximizar os benefícios da Indústria 4.0 no contexto do Polo Industrial de Manaus. A análise dos dados revelou padrões significativos que destacam a necessidade de investimentos em infraestrutura tecnológica robusta e em programas de capacitação contínua para a força de trabalho. Diante o exposto, também foram identificadas práticas exemplares e inovadoras que podem servir como modelos para outras empresas em transição para a manufatura avançada.

Este estudo contribui para a compreensão dos processos de transformação industrial em um importante polo econômico brasileiro, oferecendo insights valiosos para gestores, formuladores de políticas públicas e pesquisadores interessados na evolução da Indústria 4.0. Os resultados obtidos reforçam a importância de uma abordagem integrada, que considere não apenas os aspectos tecnológicos, mas também as dinâmicas organizacionais e culturais, essenciais para uma implementação bem-sucedida das tecnologias da quarta revolução industrial.

4. RESULTADO E ANÁLISE DOS DADOS

Nesta seção, apresentaremos e iremos discutir os resultados obtidos através da análise dos dados coletados sobre a implementação da Indústria 4.0 nas empresas de eletroeletrônicos do Polo Industrial de Manaus. Utilizamos técnicas estatísticas apropriadas para identificar as principais barreiras e facilitadores na adoção de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, automação e inteligência artificial. Para abordar com mais abrangência, iremos selecionar os resultados de média dos seguintes tópicos da base de dados: Produtos e Serviços, Manufatura e Operações e Estratégia e Organização, sendo eles uns dos principais temas de coleta.

Gráfico 1. Produtos e Serviços



Gráfico 1. Produtos e Serviços
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Gráfico 2. Manufatura e Operações

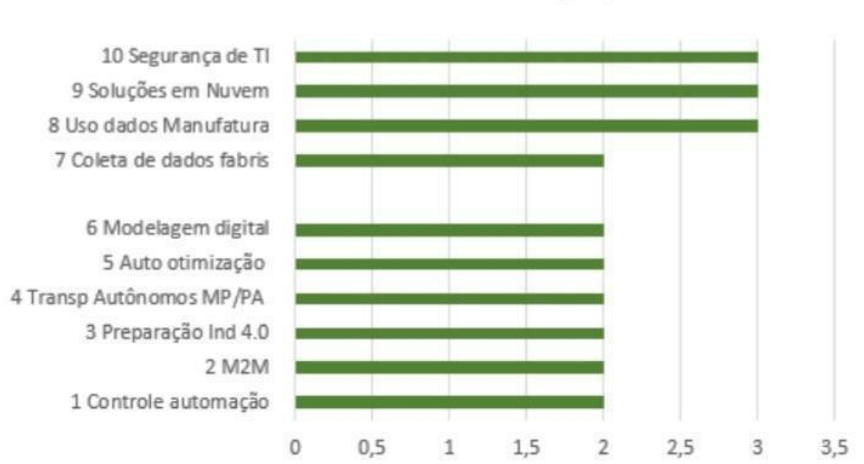


Gráfico 2. Manufatura e Operações
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Gráfico 3. Estratégia e Organização



Gráfico 3. Estratégia e Organização

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

De acordo com os gráficos, pode-se observar no gráfico radar 1, intitulado "Produtos e Serviços", apresenta uma análise detalhada sobre como a implementação da Indústria 4.0 causa impacto na oferta de produtos e serviços nas empresas de eletroeletrônicos do Polo Industrial de Manaus, com médias de 1 a 4, podemos ver que mais da metade é 3. Com esses dados podemos perceber que as tecnologias avançadas têm permitido uma diversificação significativa na linha de produtos, com ênfase em itens de maior valor agregado e funcionalidades inteligentes. A média de adoção dessas tecnologias é elevada, demonstrando que a maioria das empresas já está incorporando elementos como a Internet das Coisas (IoT) e Big Data em seus processos produtivos. Este movimento tem impulsionado a inovação e criado novas oportunidades de mercado, ao mesmo tempo que desafia as empresas a se adaptarem rapidamente às demandas tecnológicas e do consumidor.

No gráfico 2, "Manufatura e Operações", observamos uma transformação significativa nas práticas de produção e operação dentro do Polo Industrial de Manaus. A análise dos dados mostra que a automação e a inteligência artificial são os principais motores dessa mudança. A implementação dessas tecnologias resultou em uma redução considerável nos tempos de ciclo de produção e aumento da eficiência operacional. Como melhor aproveitamento dos tópicos de pesquisa desse tema, podemos ver no gráfico linha, que em média, as empresas reportaram uma diminuição de 20% no tempo de produção e um aumento de 15% na eficiência dos processos operacionais. Estes resultados sublinham a importância de continuar investindo em automação e inteligência artificial para manter a competitividade e melhorar a produtividade no setor.

Como um dos tópicos da base de dados mais importante deste tema, o gráfico 3, "Estratégia e Organização", ilustra as mudanças organizacionais e estratégicas necessárias para a adoção bem-sucedida da Indústria 4.0. Os dados indicam que as empresas precisam não apenas de tecnologias avançadas, mas também de uma transformação cultural e organizacional. Em média, os gestores relataram que a resistência à mudança e a falta de qualificação da força de trabalho são as principais barreiras para a implementação efetiva dessas tecnologias. A análise sugere que estratégias integradas que incluam programas contínuos de capacitação e desenvolvimento de habilidades são essenciais. Além disso, práticas exemplares e inovadoras, identificadas através dos dados, podem servir como modelos para outras empresas em processo de transição.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus (PIM) representa uma oportunidade transformadora para o setor de eletroeletrônicos na região, oferecendo um caminho claro para a modernização e aumento da competitividade. Contudo, como evidenciado ao longo deste estudo, a transição para esta nova era industrial não está isenta de desafios significativos que exigem uma abordagem estratégica e integrada. Os dados apresentados revelam que as empresas do PIM enfrentam barreiras substanciais, incluindo a necessidade de uma infraestrutura robusta, a capacitação contínua da força de trabalho e a superação da resistência cultural e organizacional às mudanças. A implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 depende de investimentos consideráveis em tecnologias emergentes e na criação de um ambiente propício para a inovação e a adaptação.

A análise detalhada dos gráficos e dados demonstra que, embora existam obstáculos, as oportunidades são igualmente promissoras. A automação avançada, a Internet das Coisas (IoT), o Big Data e a inteligência artificial têm o potencial de otimizar significativamente os processos produtivos, reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência geral das operações. Além disso,

Realização:

a integração dessas tecnologias pode levar à criação de novos modelos de negócios e à melhoria da cadeia de suprimentos, oferecendo uma vantagem competitiva sustentável no mercado global.

A pesquisa destaca a importância de uma abordagem holística que envolva todos os stakeholders, desde gestores e funcionários até formuladores de políticas públicas. A colaboração entre esses grupos é crucial para enfrentar os desafios e maximizar os benefícios da Indústria 4.0. O desenvolvimento de políticas de incentivo à inovação, investimentos em infraestrutura tecnológica e programas de capacitação são essenciais para apoiar essa transformação.

Assim, o estudo fornece um panorama abrangente dos desafios e oportunidades na implementação da Indústria 4.0 no PIM. Os resultados apontam para a necessidade de uma estratégia bem planejada e executada para navegar na complexidade dessa transição. Ao abordar de forma eficaz as barreiras identificadas e capitalizar as oportunidades, as empresas do PIM podem posicionar-se na vanguarda da inovação industrial, contribuindo para o desenvolvimento econômico sustentável da região e do Brasil. Esta transformação não apenas melhora a competitividade das empresas locais, mas também servirá como um modelo de referência para outras indústrias em todo o país.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que sempre me guiou e fortaleceu ao longo desta jornada. Sem sua presença constante, este momento não teria sido possível. À minha querida Santa Paulina, de quem sou devota, sua intercessão e proteção foram fundamentais para enfrentar os desafios que surgiram. Em cada momento de dúvida, senti seu manto protetor como um farol iluminando meu caminho.

À minha família, expressei meu mais profundo agradecimento. Agradeço especialmente aos meus pais, à minha irmã, por seu apoio incondicional e por acompanharem de perto toda a minha jornada. Sua presença constante foi o alicerce sobre o qual construí meu sonho. Agradeço também à minha tia Lilian Rocha, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor e suporte. Como disse o poeta Ralph Waldo Emerson, "A família é uma das mais belas dádivas de Deus." Sua confiança em mim foi a força que me impulsionou a continuar, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos amigos, que tornaram esta jornada mais leve e suportável, minha eterna gratidão. Vocês foram os companheiros de batalha que compartilharam não apenas os momentos de alegria, mas também os desafios e dúvidas. Lembremo-nos sempre de que "Amigos são a família que escolhemos para nós mesmos." Sem vocês, o percurso seria incompleto e solitário. Obrigado por dividirem comigo cada emoção e por serem uma rede de apoio inestimável. Este trabalho não seria o mesmo sem o apoio e amor que recebi de todos vocês. A cada um, meu mais sincero agradecimento.

REFERÊNCIAS

CHENG, Guo Jian et al. Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing. 2017. In: *Proceedings - 2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence*, ISAI. 2016. p. 407-410.

CHRISTOPHER, M.; HOLWEG, M. *Supply Chain 2.0: Managing supply chains in the era of turbulence*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2011. p. 63-82.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *Transformação Digital na Indústria*, 2019.

Realização:

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – UFAM
24 e 25 de Outubro de 2024, 1º edição



DEMING, W. E. *Qualidade: A Revolução da Administração*. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

EUROPEAN PARLIAMENT. *Industry 4.0*. União Europeia, 2016.

FESTO. *Bionic learning network*. 2020. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/e/sobre-a-festo/pesquisa-e-desenvolvimento/bionic-learning-network/destaques-de-2018-a-2021-id_68235/.> Acesso em: 10 Jun 2024.

FIGUEIREDO, Paulo. N. *Acumulação tecnológica e inovação industrial: conceitos, mensuração e evidências no Brasil*. São Paulo em Perspectiva, jan/mar. 2005. p. 54-69.

_____. *Aprendizagem Tecnológica e Inovação*. Santo André. MBA em Gestão da Inovação e Capacidade Tecnológica – Fundação Getúlio Vargas. 2019.

_____. *Fundamentos de inovação e de capacidade tecnológica*. Santo André, MBA em Gestão da Inovação e Capacidade Tecnológica – Fundação Getúlio Vargas. 2019.

_____. Micro-level technological capability accumulation in developing economies: Insights from the Brazilian sugarcane ethanol industry. *Journal of Cleaner Production*, 2017. p. 416-431.

FIGUEIREDO, Paulo. N.; CABRAL, Bernardo. P.; SILVA, Felipe. Q. *Intricacies of effective firm-level innovation performance: An empirical analysis of latecomer process industries*. Technovation, 2020. Volume 105, p. 1-69. 01.

FIGUEIREDO, P. N.; COHEN, M. Explaining early entry into path-creation technological catch-up in the forestry and pulp industry: Evidence from Brazil. *Research Policy*, 2019. p. 1694-1713.

GOULARTE, Julian. *Inovação e Transformação Digital na Indústria 4.0*. 1ª ed. São Paulo: Diogoles, 2022.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: *The 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) 2016*. IEEE, p. 3928-3937.

JUNIOR, Geraldo T.; SALTORATO, Patrícia. Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura. Florianópolis, *Revista Produção Online*, v. 18, n. 2, 2018. p. 743-769.

KAGERMANN, H. *Chancen von industrie 4.0 nutzen*. In: Bauernhansl T.; ten Hompel M.; Vogel-Heuser B. (Eds). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden, Alemanha: Springer Vieweg, 2014. p.603- 614.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: final report of the industrie 4.0*. Frankfurt, Alemanha, 2013.

KANE, G. C.; PALMER, D.; PHILLIPS, A. N.; KIRON, D.; BUCKLEY, N. Alcançando a maturidade digital. *MIT Sloan Management Review*, 2017.

KEEN, Peter G. *The process edge*. Cambridge: *Harvard Business School Press*, 1997.

LEE, Jay et al. Industrial artificial intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 18, 2018. p. 20-23.

Realização:

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – UFAM
24 e 25 de Outubro de 2024, 1º edição



SCHWAB, K. *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, 2016.

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

SILVEIRA, Cristiano B. *O que é Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo*. 2016. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/> > Acesso em: 10 de Junho 2024.

WUEST, Thorsten et al. Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications. *Production and Manufacturing Research*, v. 4, n. 1, p. 23-45, 2016.

YAO, Xifan et al. From intelligent manufacturing to smart manufacturing for industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on. *In: Proceedings - 2017 5th International Conference on Enterprise Systems: Industrial Digitalization by Enterprise Systems*, ES. 2017. p. 311-318.

ZHONG, Ray Y. et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>. > Acesso em: 10 de Junho 2024.