**As oportunidades na Indústria de Transformação de papel e celulose no Paraná na transição para a Indústria 5.0 e novas tendências**

 **Opportunities in the Pulp and Paper Processing Industry in Paraná in the transition to Industry 5.0 and new trends**

**Resumo:** Este estudo tem como objetivo geral identificar as oportunidades na Indústria de Transformação de papel e celulose (CNAE 17) na transição para a Indústria 5.0 e apresentar tendências. A transformação digital da manufatura associada com tecnologias emergentes da Indústria 4.0 tem sido caracterizada como uma Quarta Revolução Industrial. Entretanto, a necessidade de não somente estimular o desenvolvimento da manufatura, mas também de promover o desenvolvimento produtivo com sustentabilidade, no qual o bem estar dos indivíduos possa ser o eixo da implementação da denominada Indústria 5.0. No Paraná, historicamente a Indústria de papel e celulose ocupa uma acentuada importância na geração de emprego e renda, e ainda, é um segmento que está envolvido diretamente com a atividade primária de extração de recursos naturais. Metodologicamente foi feita uma pesquisa bibliográfica para identificar as principais tecnologias emergentes implementadas na indústria de transformação de papel e celulose (CNAE 17) e como se relacionam com a sustentabilidade ambiental. Como resultados foram identificadas 53 empresas no Paraná, sendo um dos principais segmentos agroindustriais do Estado, com a participação de 5,2% na composição do valor da transformação industrial. Como resultados foram identificadas as principais tecnologias associadas à Indústria 4.0 e que são utilizadas nas fábricas de papel e celulose, tais como: Computação em Nuvem, Big Data, IoT, Simulação Virtual e Inteligência Artificial. A Indústria 5.0 tem como principais pilares a sustentabilidade, resiliência e o ser-humano como centro, para a indústria de papel e celulose é importante a adoção dessas práticas e tecnologias, devido ao seu consumo de recursos naturais como insumos para a produção e resíduos que podem contaminar água, solo e ar. A inserção das tecnologias 5.0 são essenciais para o aumento da competitividade, bem como de alcance de selos ambientais e certificações, para que seus produtos possam inserir-se em mercados externos mais exigentes.

**Abstract:** This study aims to identify opportunities within the paper and pulp manufacturing industry (CNAE 17) during the transition to Industry 5.0 and to present relevant trends. The digital transformation of manufacturing, driven by emerging Industry 4.0 technologies, has been characterized as the Fourth Industrial Revolution. However, there is a growing need not only to foster manufacturing development but also to promote productive development aligned with sustainability, wherein individual well-being becomes a central axis of Industry 5.0 implementation. In the state of Paraná, the paper and pulp industry has historically played a significant role in employment and income generation, while also being closely linked to the primary activity of natural resource extraction. Methodologically, this research was based on a literature review aimed at identifying the main emerging technologies implemented in the paper and pulp manufacturing sector (CNAE 17) and how they relate to environmental sustainability. The findings identified 53 companies operating in Paraná, positioning this sector as one of the state’s leading agro-industrial segments, accounting for 5.2% of the industrial transformation value. The study highlights key technologies associated with Industry 4.0 that are currently in use in paper and pulp factories, such as Cloud Computing, Big Data, IoT, Virtual Simulation, and Artificial Intelligence. Industry 5.0 is founded on the pillars of sustainability, resilience, and human-centricity. For the paper and pulp industry, the adoption of these practices and technologies is critical due to its high consumption of natural resources and the generation of waste that can pollute water, soil, and air. The integration of Industry 5.0 technologies is essential for increasing competitiveness, as well as for achieving environmental certifications and labels, enabling access to more demanding international markets.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 5.0; Sustentabilidade; Tecnologias Emergentes; Indústria de Transformação de papel e celulose.

Área: Impactos sociais, culturais e econômicos da digitalização

1. **Introdução**

O conceito de “Indústria 4.0” foi cunhado da Alemanha, na feira de Hannover em 2011. A I4.0 envolve um conjunto de inovações tecnológicas e digitais hiperconectadas e que provocam mudanças nas economias mundiais e na sociedade. Além das oportunidades e tecnologias, que, eventualmente irão providenciar modificações sociais e econômicas (Lima; Gomes, 2020). Ainda não há um consenso distal entre todos os pesquisadores sobre a definição da Indústria 4.0, pois essa temática tem focos diferentes, como a digitalização, informação, independência dos sistemas, inteligência artificial, entre outros (Oztemel; Gursev, 2020). Ademais, tal perspectiva leva em consideração o aumento da digitalização e produtividade, prospectando indústrias inteligentes, com tecnologias inovadoras interagindo no processo produtivo de forma independente, coordenada e eficaz, objetivando trazer à tona, uma nova pujança industrial (Ati̇K; Ünlü, 2020).

A “Indústria 5.0” foi um progresso da quarta revolução. Todavia, enquanto a Indústria 4.0 se mobiliza com exclusividade para o aperfeiçoamento tecnológico, enquanto a Quinta Revolução toma como relevante a inserção da sustentabilidade, bem estar-social, mitigação da desigualdade e à inclusão social (Ghobakhloo *et al.*, 2024). Além disso, a Indústria 5.0 não deseja substituir a quarta revolução, mas sim promover um elo colaborativo entre o homem e as inovações advindas da Quarta Revolução Industrial (Agote-Garrido; Martín-Gómez; Lama-Ruiz, 2023). Esta concepção foi originada na Comissão Europeia, vislumbrando convergir os objetivos das empresas com questões sociais e ambientais. Ela possui à essência de incentivar as organizações a aderirem em suas pautas, as práticas que culminem na sustentabilidade, na capacidade de se adaptar às mudanças e com foco no ser humano (Nazarian; Khan, 2024).

A indústria 4.0 tem como principal objetivo aumentar a capacidade produtiva, reduzir custos e aumentar os lucros, por meio da integração de tecnologias. Estes recursos permitem uma automação avançada, monitoramento em tempo real e processos altamente eficientes, otimizando linhas de produção, reduzindo desperdícios e elevando a competitividade das empresas. Enquanto que a Indústria 5.0 surgiu como uma resposta as limitações deste modelo e promove novos valores como sustentabilidade, resiliência e a importância do ser-humano nessa relação com a produção e máquinas. Portanto, à pauta social e ambiental são viscerais para estabelecer as bases destes avanços tecnológicos. Nesse sentido, os modelos produtivos passam a incorporar práticas voltadas à preservação ambiental, à utilização eficiente dos recursos naturais e ao bem-estar dos trabalhadores, utilizando inteligência artificial, automação e tecnologias verdes com foco na construção de uma economia mais inclusiva e sustentável.

O presente estudo tem como objetivo geral identificar as oportunidades na Indústria de Transformação de papel e celulose (CNAE 17) na transição para a Indústria 5.0 e apresentar tendências. A problemática central reside na necessidade de compreender como um setor tradicional e intensivo em recursos naturais responde às profundas transformações tecnológicas e socioambientais. O estudo exploratório está baseado em pesquisas bibliográficas, alicerçada em repositórios da web of Science, Google Scholar, sites, dentre outras fontes. Assim, este trabalho pretende contribuir para o debate sobre inovação e sustentabilidade no setor de papel e celulose, oferecendo uma visão crítica sobre sua adaptação às exigências atuais e demonstrar caminhos possíveis para seu fortalecimento competitivo no panorama nacional e internacional, além dos benefícios financeiros, sociais e ambientais ao integrar as respectivas tecnologias da I. 4.0 e I.5.0 nas empresas do Paraná, visto que é um setor valioso para o Brasil, pois fornece uma participação significativa no PIB do Estado, como também milhares de empregos diretos e indiretos para a população paranaense.

1. **Metodologia**

**2.1 Natureza da pesquisa**

 Pizzani *et al.*, (2012) esclarece que pesquisas bibliográficas contribuem positivamente em conhecimento para explorar temas. Nesta concepção, o estudo está alicerçado em repositórios da Web of Science e Google Scholar, objetivando ampliar o conhecimento acerca das mudanças no setor de papel e celulose à luz da I. 4.0 e I.5.0, utilizando artigos, periódicos, sites, demografias, entre outras fontes.

 **2.2 Coleta de dados**

Para busca de trabalhos como fontes de pesquisa, foram empregados os descritores: Indústria 4.0; Sustentabilidade; fábrica de celulose; Indústria 5.0; mudanças; sociedade 5.0; cibersegurança, Robôs Colaborativos, inteligência artificial entre outras referências de tópicos. Na análise de todos os recursos da pesquisa foram armazenados em planilhas, do excel totalizando 9425 estudos. Sob este montante, foram abordados apenas 108 artigos com consultas em português, inglês e espanhol.

**2.3 Tratamento de dados**

A pesquisa foi realizada de forma qualitativa, atendendo ao critério de analisar artigos que contribuam para a observação da Indústria 4.0 e Indústria 5.0 no setor de papel e celulose em âmbito internacional, nacional e Estadual, tendo foco em projetos paranaenses voltados para tecnologia e sustentabilidade no segmento de papel e celulose.

1. **Resultados**

No decorrer do estudo, observou-se que o setor de Papel e Celulose de fato, possui uma conscientização sobre os benefícios das tecnologias advindas tanto, à luz da I.4.0, quanto da I.5.0, em termos de maior qualidade do produto, maximização do lucro, eficiência energética, modelos de negócios mais inclusivos ou sustentáveis, tal como bioprocessos e biotecnologias que estão relacionados a mitigação de gases de efeito estufa e do carbono. Todavia, Ferreira; de Paula, (2021) esclarece que este setor apenas deu os primeiros passos no que diz respeito à inoculação de tecnologias emergentes, porém há uma grande expectativa por parte das empresas para direcionar investimentos em tecnologias e novos formas de gerenciamento. Neste sentido, Frias; da Silva e Kakehasi, (2019) intitula as principais aplicações da indústrias, como: Computação em Nuvem, Big Data, IoT, Simulação Virtual e Inteligência Artificial.

Tendo em vista essa perspectiva, evidenciou-se que, apesar de não existir modificações profundas no segmento paranaense de papel e celulose, o cenário internacional, incluindo a ONU, União Europeia, tratados da conferência das COPS, entre outros grupos influentes, estão promovendo altas discussões e condicionando todos os países a reagirem positivamente na incorporação destas indústrias (Nazarian; Khan, 2024). Estas pressões do Estado, já está de certa forma contribuindo também para o setor de Papel e Celulose a expandir progressivamente os seus investimentos e reconsiderações sobre seus respectivos modelos de negócios, principalmente na concepção da I.5.0, em mérito da sua alta contribuição para a degradação do meio ambiente (Diaz-Balteiro; Voces; Romero, 2011).

Zhang; Han; Man, (2021) destacam que o segmento de Papel e Celulose consome um volume significativo de matéria-prima, elevado consumo de energia, e contribui de maneira relevante para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e produção de resíduos. É justamente por isso que as implementações mundiais deste setor estão alocadas em investimentos inclinados à sustentabilidade, como por exemplo, Costa, (2023) argumenta que para lidar com os resíduos inorgânicos, a empresa paranaense Klabin firmou uma parceria uma empresa especializada em gestão ambiental, e juntas desenvolveram uma nova tecnologia para fabricar materiais como pavers, tijolos e calçadas. Na produção desses itens da construção civil, a Klabin reaproveita resíduos do processo de fabricação da celulose.

Além disso, possui atribuições interessantes na produtividade, como o processo de polpação termomecânica que requer alto consumo de energia do refinador, além da geração de vapor. A vista disso Souza, (2023) propôs modelos de inferência neuro-fuzzy adaptativo por meio de métodos de inteligência artificial, utilizando algoritmos. A IA foi crucial neste contexto pois apresentou capacidade de aprimorar a eficiência energética por meio da otimização do consumo de eletricidade e da utilização de vapor, como também Repolho, (2021)destaca o uso da Internet das Coisas (IoT), por meio da qual a indústria vem desenvolvendo a capacidade de capturar e compartilhar dados e informações provenientes de máquinas e processos de produção de celulose, papel e energia, com o objetivo de utilizá-los em benefício dos clientes. A introdução da internet nos processos produtivos leva à geração de grandes volumes de dados, que precisam ser armazenados, processados e apresentados de forma energeticamente eficiente e sustentável

1. **Conclusões**

A pesquisa exploratória promoveu muitas discussões a respeito do segmento de papel e celulose paranaense ao longo dos anos, tal como as necessidades do setor, seus desafios, investimentos, implementações e sua contribuição para a perspectiva da I. 4.0 e I. 5.0, haja vista que é um mercado significativo tanto em âmbito nacional, quanto internacional, pois possui uma participação relevante para o Brasil, cooperando consideravelmente na composição do valor da transformação industrial do Estado e na geração de empregos. Apesar disso, as indústrias de papel e celulose possuem um impasse, no que concerne as formas de produção atuais, pois favorecem substancialmente a degradação do meio ambiente.

 A vista disso, se tornou urgente estes valores de economia circular para as indústrias paranaenses nos meses passados, pois estão sendo instigadas por órgãos governamentais a expandirem investimentos neste sentido. Entretanto, como o Brasil é um país relativamente atrasado no meio tecnológico, o setor sofreu um impacto superficial na forma de produzir. Tendo em vista esta perspectiva, o estudo exploratório encontrou essencialmente, implementações voltadas para a indústria 4.0 no setor de papel e celulose e poucas com a concepção de Indústria 5.0, pois ainda é um conceito novo, que precede investimentos e mudanças que são difíceis de estruturar no curto prazo e que o Brasil ainda não obtém tanta profundidade.

 Desta forma, a exploração indica que o setor de papel e celulose ainda está conhecendo as tecnologias elencadas no estudo, tendo as principais tecnologias que agiram positivamente como: Computação em Nuvem, Big Data, IoT, Simulação Virtual e Inteligência Artificial que apresentaram uma participação auspiciosa para estas empresas tanto em termos de segurança e armazenamento de dados, melhora de design e produtividade na maneira de criação, quanto nas questões de eficiência energética, reutilização e racionamento racional de recursos. Aspectos estes que são fundamentais para o avanço financeiro, social e ambiental das indústrias do Paraná e que merecem atenção e investimento por parte das mesmas, para que possam avançar em mais mercados, ao mesmo tempo que corroboram com o meio ambiente e as exigências do Estado.

**Referências**

AGOTE-GARRIDO, A.; MARTÍN-GÓMEZ, A.; LAMA-RUIZ, J.-R. Valores de la Industria 5.0. Un análisis bibliométrico del nuevo paradigma industrial desde el enfoque social. **DYNA-Ingeniería e Industria**, [*s. l.*], v. 98, n. 5, 2023. Disponível em: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00127361&AN=172015136&h=arlvPs%2B3NnSB0Vaq1O4j1NuzKOvlPewezTgfXvtRAZFGz8KSTuo5NkUYqVaxQnu8%2BA5RK%2F19fHxoGnLeXcSiqg%3D%3D&crl=c. Acesso em: 6 dez. 2024.

ATİK, H.; ÜNLÜ, F. Industry 4.0-Related Digital Divide in Enterprises: An Analysis for The European Union-28. **Sosyoekonomi**, [*s. l.*], v. 28, n. 45, p. 225–244, 30 jul. 2020. https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2020.03.13.

COSTA, M. A. Análise de circularidade na indústria de papel e celulose. [*s. l.*], 2023. .

DIAZ-BALTEIRO, L.; VOCES, R.; ROMERO, C. Making Sustainability Rankings Using Compromise Programming. An Application to European Paper Industry. **SILVA FENNICA**, Vantaa, v. 45, n. 4, p. 761–773, 2011. https://doi.org/10.14214/sf.103.

FERREIRA, S. C. R.; DE PAULA, G. M. Os Primeiros Impactos da Indústria 4.0 sobre o Setor de Papel e Celulose. **RASI, Volta Redonda**, [*s. l.*], v. 7, n. 1, p. 124–139, 2021. .

FRIAS, A. R.; DA SILVA, F. V.; KAKEHASI, A. L. Pesquisa setorial–indústria 4.0: a transformação digital nas indústrias de papel e celulose no Brasil. **O papel**, [*s. l.*], v. 80, n. 03, p. 68–73, 2019. .

GHOBAKHLOO, M.; IRANMANESH, M.; FATHI, M.; REJEB, A.; FOROUGHI, B.; NIKBIN, D. Beyond Industry 4.0: a systematic review of Industry 5.0 technologies and implications for social, environmental and economic sustainability. **Asia-Pacific Journal of Business Administration**, [*s. l.*], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 7 maio 2024. DOI 10.1108/APJBA-08-2023-0384. Disponível em: https://www-emerald-com.ez132.periodicos.capes.gov.br/insight/content/doi/10.1108/apjba-08-2023-0384/full/html. Acesso em: 6 dez. 2024.

LIMA, F. R.; GOMES, R. Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Inovação**, [*s. l.*], v. 19, p. e0200023, 2020. .

NAZARIAN, H.; KHAN, S. A. The impact of industry 5.0 on supply chain performance. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING BUSINESS MANAGEMENT**, Thousand Oaks, v. 16, p. 18479790241297022, out. 2024. https://doi.org/10.1177/18479790241297022.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, [*s. l.*], v. 31, n. 1, p. 127–182, jan. 2020. https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8.

PIZZANI, L.; DA SILVA, R. C.; BELLO, S. F.; HAYASHI, M. C. P. I. A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, [*s. l.*], v. 10, n. 2, p. 53–66, 2012. .

REPOLHO, L. C. M. Indústria 4.0 e a indústria química. [*s. l.*], 2021. Disponível em: https://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/5914. Acesso em: 22 abr. 2025.

SOUZA, G. L. V. Avaliação da circularidade de fabricantes de celulose e papel que adotaram tecnologias da indústria 4.0: estudo de casos múltiplos. [*s. l.*], 26 jun. 2023. Disponível em: http://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/3213. Acesso em: 31 mar. 2025.

ZHANG, Y.; HAN, Y.; MAN, Y. Sustainability Evaluation of Tissue Paper under Different Production Paths. **ACS SUSTAINABLE CHEMISTRY & ENGINEERING**, Washington, v. 9, n. 21, p. 7341–7351, 31 maio 2021. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c01655.