

IMPACTOS DA INDÚSTRIA 5.0 E MODA: uma revisão sistemática da literatura

INDUSTRY 5.0 IMPACTS AND FASHION: a systematic literature review

SILVA, Helena Moreira da; Bacharelanda em Moda; Universidade do Estado de Santa Catarina
helena.moreira125@gmail.com

RECH, Sandra Regina; Doutora em Engenharia de Produção; Universidade do Estado de Santa Catarina

sandra.rech@udesc.br

Resumo

Os estudos referentes à Indústria 4.0 (I4.0) apontam benefícios envolvendo a produtividade e a eficiência de uma operação industrial automatizada e interconectada. Entretanto, permanecem como lacunas os caminhos para implementação dessas tecnologias, bem como o entendimento dos novos papéis dos seres humanos nessa era industrial. Simultaneamente, o conceito de Indústria 5.0 (I5.0), ainda embrionário, propõe integração humanos-máquinas e um novo viés de utilização das aplicações digitais, levando em consideração princípios éticos de produção, que não eram contemplados pela I4.0. Assim, o objetivo deste artigo é conceitualizar Indústria 5.0, em comparação com a Indústria 4.0, e identificar seus avanços e impactos na cadeia produtiva da moda. Para tanto, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura, com extração final de 23 leituras do Portal de Periódicos Capes. Os resultados indicaram a complementariedade dessas revoluções, e são elencadas possíveis aplicações tecnológicas e habilidades humanas para a referida indústria, fundamentando-se sobre três pilares: humanização, resiliência, sustentabilidade.

Palavras Chave: Indústria 5.0; Cadeia Produtiva; Indústria da Moda.

Abstract

Studies regarding Industry 4.0 (I4.0) point out benefits involving productivity and efficiency in an automated and interconnected industrial operation. However, there are gaps remaining when it comes to the pathways for implementing the proposed technologies, as well as understanding the new roles of humans in this industrial era. At the same time, the concept of Industry 5.0 (I5.0), still in its infancy, proposes human-machine integration and a new perspective on the use of digital applications, considering ethical principles of production that were not addressed by I4.0. Therefore, the aim of this article is to conceptualize Industry 5.0, in comparison with Industry 4.0, and identify its advancements and impacts on the fashion supply chain. To achieve this, a Systematic Literature Review was conducted, resulting in the extraction of 23 readings from the Portal de Periódicos Capes. The results indicated the complementarity of these revolutions, and possible technological applications and human skills for the mentioned industry are listed, based on three pillars: humanization, resilience, sustainability.

Keywords: Industry 5.0; Supply Chain; Fashion Industry.

1 Introdução

O termo Indústria 4.0 (I4.0), referente à Quarta Revolução Industrial, se popularizou nas últimas décadas ao abordar uma visão industrial totalmente automatizada e interconectada, com o suporte de tecnologias digitais que tornam a cadeia produtiva flexível, conectada e adaptável às movimentações do mercado. Nos últimos anos, os estudos que se debruçaram sobre os impactos desta revolução tecnológica, possibilitada sobretudo pela Internet, observaram um grande potencial em termos econômicos e sustentáveis, no sentido de possibilitar a redução dos custos e o aumento da produtividade operacional das produções fabris. Nesse processo, no entanto, o papel dos seres humanos e as preocupações sociais foram negligenciados. O alto nível de automatização e tecnologia, além de causar preocupações sobre a desvalorização laborial, ainda se mostrava como um desafio para sua implementação, devido ao seu alto nível de complexidade, que nem sempre corresponde às habilidades dos trabalhadores.

A visão de Indústria 5.0 (I5.0) começa a se desenvolver e a empregar, entre seus principais conceitos, a utilização das tecnologias digitais, apresentadas inicialmente pela I4.0, de maneira a estabelecer harmonia entre pessoas e máquinas nos processos industriais e na sociedade, protegendo os direitos humanos e promovendo o bem-estar dos funcionários. Apesar de embrionário, o fenômeno da I5.0 não é passageiro. Autores da área asseguram que a I5.0 é essencial para organizações que pretendem alcançar operações eficientes e sustentáveis. Com o crescimento exponencial de novas tecnologias, a literatura aponta que as empresas que não aderirem aos novos conceitos tenderão a ficar desatualizadas.

Realizando um recorte temático para o campo da moda, observa-se que os desafios enfrentados neste setor podem ser contemplados pelos princípios da I5.0, como a eficiência produtiva, a redução do desperdício e do impacto ambiental negativo. Igualmente, pode-se citar a adaptação às rápidas mudanças nas exigências dos consumidores, que demandam a tomada de decisões ágeis e otimizadas, sobretudo após a pandemia da Covid-19, período em que se observou aumento da incerteza no mercado devido às flutuações financeiras e de segurança. Neste sentido, a I5.0 promete moldar um panorama da moda que seja mais inclusivo, ágil e ecologicamente consciente. Não obstante, é observado que muitos agentes da cadeia produtiva de moda ainda não se adaptaram à Quarta Revolução Industrial, devido às limitações existentes, como o elevado investimento financeiro e a necessidade de capacitação da equipe. Ao passo em que países desenvolvidos já se encontram próximos da adoção da I5.0, os países emergentes ainda buscam maneiras de aplicar as novas tecnologias propostas pela I4.0 e a interação humano-máquina permanece ausente. Assim sendo, o desafio da comunidade empresarial brasileira é tentar alcançar essa nova visão industrial em contexto nacional.

Isto posto, o objetivo do presente artigo é conceitualizar Indústria 5.0, em comparação com a Indústria 4.0, e identificar seus avanços e impactos na cadeia produtiva da moda. Destarte, esta investigação almeja responder à seguinte pergunta: Quais são os impactos da Indústria 5.0 para a cadeia produtiva da moda? A metodologia de pesquisa utilizada foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), de natureza básica e descritiva, com abordagem qualitativa, que resultou na extração de 23 leituras, e cujo processo de seleção está detalhado no tópico 2.

Como justificativa para a realização da investigação, são ressaltados dois fatores: (1) o interesse particular das autoras sobre o tema de pesquisa, parte de um estudo maior realizado no grupo de pesquisa CNPq Design de Moda e Tecnologia, da Universidade do Estado de Santa

Catarina, uma vez que, recentemente, foi finalizado um estudo acerca dos benefícios e lacunas existentes nas tecnologias da I4.0; e (2) o desejo de contribuir para o meio acadêmico nacional sobre o assunto selecionado, uma vez que percebeu-se, ao longo da investigação, notável carência de resultados brasileiros em um campo de estudos que se encontra, ainda, incipiente.

O trabalho está dividido em três seções, além desta Introdução, nomeadamente: Metodologia, Resultados e Discussões, Considerações Finais. Na parte 3 do texto, os Resultados e Discussões foram subdivididos em três tópicos, de modo a abarcar os principais conceitos, tecnologias envolvidas, desafios e impactos para o setor estudado, identificados a partir da leitura dos resultados da estratégia de busca da Revisão Sistemática da Literatura: (1) Indústria 4.0 e Indústria 5.0: diferenciação e complementariedade, (2) Desafios para implementação da Indústria 5.0, e (3) A Indústria 5.0 no setor da moda.

2 Metodologia

Esta investigação é fruto de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), de natureza básica e descritiva, com abordagem qualitativa. Para a realização do estudo formulou-se a seguinte questão de investigação: Quais são as tendências da Indústria 5.0 para a cadeia produtiva da moda? Foram considerados os artigos, teses e dissertações, revisados por pares e de acesso aberto, publicados entre 2017, momento identificado como o de nascimento do termo e de maior volume de publicações sobre o assunto, e janeiro de 2024. Como critério de exclusão, optou-se por limitar-se às publicações em língua inglesa e portuguesa, por estarem dentro do domínio das autoras. Os termos pesquisados, mostrados no Quadro 1, foram utilizados com filtros por assunto, título e palavras-chave.

Quadro 1: Estratégia de Busca

Estratégia de Busca		
	Português	Inglês
Assunto 1	"5.0" OR "indústria 5.0"	"5.0" OR "industry 5.0"
Assunto 2	Moda OR "Indústria Têxtil" OR "Indústria da Moda" OR "Setor Têxtil" OR "Indústria do vestuário" OR "Indústria de confecção" OR "Cadeia produtiva"	Fashion OR "Textile Industry" OR "Fashion Industry" OR "Textile Sector" OR "Garment Industry" OR "Apparel Industry" OR "Supply Chain"

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2024)

A busca foi feita no dia 10 de janeiro de 2024. Inicialmente, a busca seria realizada nas bases de dados Capes, BDTD, SciELO, Web of Science e Scopus. As duas últimas, no entanto, se encontravam indisponíveis na data da busca. As bases SciELO e BDTD não geraram resultados qualificados para a realização do artigo. Por conseguinte, foram selecionadas 23 leituras recuperadas pelo portal de periódicos CAPES. O processo de seleção é descrito no Quadro 2 e os textos finais são apresentados no Quadro 3.

Quadro 2: Processo de seleção das leituras

Local de busca	Recuperados	Após descarte de duplicados e sem acesso aberto	Selecionados por leitura do título	Selecionados após leitura do resumo
CAPES	67	49	40	23
BDTD	0	0	0	0
SciELO	16	13	0	0
Web of Science	Indisponível			
Scopus	Indisponível			
Total	84	62	40	23

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2024)

Quadro 3: Leituras selecionadas

Leituras selecionadas
1. ADEL, A. Future of industry 5.0 in society: Human-centric solutions, challenges and prospective research areas. Journal of Cloud Computing , v. 11, n. 1, p. 1-15, 2022. Disponível em: https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-022-00314-5 .
2. AGRAWAL, S. <i>et al.</i> Can industry 5.0 technologies overcome supply chain disruptions? A perspective study on pandemics, war, and climate change issues. Operations Management Research , p. 1-16, 2023. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-023-00410-y .
3. AHMED, T. <i>et al.</i> Modeling the artificial intelligence-based imperatives of industry 5.0 towards resilient supply chains: A post-COVID-19 pandemic perspective. Computers & Industrial Engineering , v. 177, p. 1-12, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835223000797 .
4. AKUNDI, A. <i>et al.</i> State of Industry 5.0 - Analysis and identification of current research trends. Applied System Innovation , v. 5, n. 1, p. 1-14, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2571-5577/5/1/27 .
5. ALOJAIMAN, B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. Processes , v. 11, n. 5, p. 1-16, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2227-9717/11/5/1318 .
6. ALVAREZ-AROS, E. L.; BERNAL-TORRES, C. A. Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0. Anais da Academia Brasileira de Ciências , v. 93, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/aabc/a/YG9sF86HVgDWSBQB5BKvLrb/?format=html&lang=en .
7. BAKON, K. <i>et al.</i> Scheduling under uncertainty for Industry 4.0 and 5.0. IEEE Access , v. 10, 2022. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9830737/ .
8. CZEZCOT, G. <i>et al.</i> AI in IIoT Management of Cybersecurity for Industry 4.0 and Industry 5.0 Purposes. Electronics , v. 12, n. 18, p. 1-15, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2079-9292/12/18/3800 .
9. DABO, A.; HOSSEINIAN-FAR, A. An Integrated Methodology for Enhancing Reverse Logistics Flows and Networks in Industry 5.0. Logistics , v. 7, n. 4, p. 1-26, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2305-6290/7/4/97 .
10. DHAYAL, K. S. <i>et al.</i> Can green finance facilitate Industry 5.0 transition to achieve sustainability? A systematic review with future research directions. Environmental Science and Pollution Research , v. 30, n. 46, p. 102158-102180, 2023. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-29539-w .
11. DONMEZER, S. <i>et al.</i> Revolutionizing the Garment Industry 5.0: Embracing Closed-Loop Design, E-Libraries, and Digital Twins. Sustainability , v. 15, n. 22, p. 1-24, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/15839 .
12. DWIVEDI, A. <i>et al.</i> Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. Computers & Industrial Engineering , v. 176, p. 1-27, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835222009159 .
13. FRAGA-LAMAS, P.; LOPES, S. I.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. Green IoT and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy: An industry 5.0 use case. Sensors , v. 21, n. 17, p. 1-36, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/1424-8220/21/17/5745 .
14. FREDERICO, G. F. From supply chain 4.0 to supply chain 5.0: Findings from a systematic literature review and research directions. Logistics , v. 5, n. 3, p. 1-21, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2305-6290/5/3/49 .
15. KARMAKER, C. L. <i>et al.</i> Industry 5.0 challenges for post-pandemic supply chain sustainability in an emerging economy. International Journal of Production Economics , v. 258, p. 2-12, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527323000385 .

16. KAZANCOGLU, Y. *et al.* Towards industry 5.0 challenges for the textile and apparel supply chain for the smart, sustainable, and collaborative industry in emerging economies. **Information Systems Frontiers**, 2023. Disponível em: <https://link-springer-com.ez74.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10796-023-10430-5>.
17. MADSEN, D. Ø.; SLÅTTEN, K. Comparing the Evolutionary Trajectories of Industry 4.0 and 5.0: A Management Fashion Perspective. **Applied System Innovation**, v. 6, n. 2, p. 1-22, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/asi6020048>.
18. MAESTRI, G. *et al.* Revoluções tecnológicas e a relação com o setor têxtil: perspectivas baseadas em Indústria 3.5, Indústria 4.0 e Indústria 5.0. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 13, 2021. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/revistapct/article/view/1989>.
19. MODGIL, S.; SINGH, R. K.; AGRAWAL, S. Developing human capabilities for supply chains: an industry 5.0 perspective. **Annals of Operations Research**, p. 1-31, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-023-05245-1>.
20. SAMI, A. *et al.* Characterizing Circular Supply Chain Practices in Industry 5.0 With Respect to Sustainable Manufacturing Operations. **Journal of Management and Research**, v. 10, n. 1, p. 84-105, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29145/jmr.101.04>.
21. VARRIALE, V. *et al.* Industry 5.0 and Triple Bottom Line Approach in Supply Chain Management: The State-of-the-Art. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 1-30, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/5712>.
22. VILLAR, A.; PALADINI, S.; BUCKLEY, O. Towards Supply Chain 5.0: Redesigning Supply Chains as Resilient, Sustainable, and Human-Centric Systems in a Post-pandemic World. *In*: **Operations Research Forum**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 1-46. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43069-023-00234-3>.
23. WANG, Z. *et al.* Blockchain adoption in sustainable supply chains for Industry 5.0: A multistakeholder perspective. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 8, n. 4, p. 1-22, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X2300121X>.

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2024)

Durante a leitura e análise dos trabalhos recuperados, observou-se uma recorrência de focos de pesquisa, que levaram ao agrupamento de três subtópicos para a seção Resultados e Discussões da investigação, apresentada a seguir.

3 Resultados e Discussões

De modo geral, os autores analisaram os conceitos e tecnologias que permeiam a I5.0, em comparação, sobretudo, com a I4.0. Foram realizados estudos sobre as indústrias que compõem a cadeia de produção e suprimentos, bem como a aplicação de tecnologias específicas para cada área. Tópicos relacionados à sustentabilidade e à relação humano-máquina foram recorrentes, detalhando como se dá essa cooperação na chamada Sociedade 5.0¹, e os desafios envolvidos para a execução desse novo modelo de organização. Os tópicos discutidos a seguir são os seguintes: (1) Indústria 4.0 e Indústria 5.0: diferenciação e complementariedade, (2) Desafios para implementação da Indústria 5.0, e (3) A Indústria 5.0 no setor da moda.

3.1 Indústria 4.0 e Indústria 5.0: diferenciação e complementariedade

O conceito de Indústria 4.0 surgiu em meados do século XXI, na Alemanha, com o foco na construção de sistemas inteligentes, isto é, completamente automatizados e interconectados

¹ Segundo Fraga-Lamas, Lopes e Fernández-Caramés (2021), a Sociedade 5.0 é uma abordagem que, em contexto japonês, propõe uma estratégia colaborativa para a sociedade, considerando preocupações sociais e ambientais e enfatizando, simultaneamente, o desenvolvimento econômico. Este tópico não será aprofundado na presente investigação devido ao seu recorte temático.

devido ao desenvolvimento de novas tecnologias digitais (AKUNDI *et al.*, 2023). Para Bakon *et al.* (2022), esta revolução se concentrava em impulsionar a produtividade, o lucro e a competitividade da cadeia produtiva, mas não tratava dos problemas ambientais enfrentados pela produção.

Por outro lado, a literatura pertinente apontou, em sua maioria, ausência de uma definição consolidada para o termo “Indústria 5.0”, bem como para a sua origem. Foi observado, no entanto, que existem pilares norteadores para o começo de uma delimitação do que compõe este fenômeno: resiliência, sustentabilidade e centralização no ser humano (ADEL, 2022). O Quadro 4 mostra como cada autor define este termo.

Quadro 4: Definição de Indústria 5.0 segundo os autores das leituras selecionadas

Autor	Definição de I5.0
ADEL, 2022	Significa que humanos e máquinas trabalham em conjunto, melhorando a eficiência da produção industrial e impactando a sua sustentabilidade. Seus princípios fundamentais são: sustentabilidade, centralização no ser humano e resiliência.
AGRAWAL <i>et al.</i> , 2023	É uma revolução que visa a complementar os fundamentos estabelecidos pela I4.0. A aplicação de suas tecnologias tem como objetivo maximizar a capacidade humana, minimizar riscos e tornar as indústrias mais compatíveis, sustentáveis, centradas no pensamento crítico humano e resilientes.
AHMED <i>et al.</i> , 2023	Um fenômeno que traz de volta a participação humana em conjunto com as tecnologias, para garantir um elevado nível de personalização e maior colaboração. A participação humana, inteligente e criativa, nas cadeias produtivas, aliada à precisão robótica, é essencial para a transição para uma produção sustentável e resiliente.
AKUNDI <i>et al.</i> , 2022	O termo foi cunhado por Michael Rada, e define que a I5.0 não é fundamentada na tecnologia, mas sim em princípios como a centralização no ser humano, a gestão ambiental e o bem-estar social. As tecnologias seriam utilizadas para melhorar a qualidade de vida, o trabalho e a capacidade dos trabalhadores. A sua aplicação também considera as limitações do planeta em prol do desenvolvimento sustentável.
ALOJAIMAN, 2023	Assume que todo o potencial de avanço das indústrias reside na colaboração homem-máquina, e propõe, então, a reorganização dos processos de produção para este enfoque que resulta na proteção ao meio ambiente.
ALVAREZ-AROS; BERNAL-TORRES, 2021	Os autores não fazem uma definição específica sobre a I5.0, porém, em seus estudos, observaram que as tecnologias envolvidas são as mesmas enfatizadas na I4.0, e que, nesta onda industrial, são levantados debates sobre os desafios relacionados às interações, ao papel do ser humano e questões tecnológicas como segurança cibernética, vulnerabilidade de sistemas, robôs colaborativos, entre outras.
BAKON <i>et al.</i> , 2022	O conceito de I5.0 complementa os objetivos da I4.0 (eficiência e produtividade) ao colocar o trabalhador e sua força criativa no centro do processo de produção, além de enfatizar a sustentabilidade.
CZECZOT <i>et al.</i> , 2023	Uma organização harmoniosa e integrada entre pessoas e máquinas, com o auxílio da automatização.
DABO; HOSSEINIAN-FAR, 2023	A I5.0 integra tecnologias (como IoT, IA e análise de dados) com processos industriais tradicionais, integrando humanos e sistemas inteligentes de forma a promover um ambiente industrial colaborativo.
DHAYAL <i>et al.</i> , 2023	A I5.0 busca promover, por meio da “manufatura verde” (“ <i>green manufacturing</i> ”), um futuro sustentável e eficiente. Complementa a I4.0 por meio de métricas de sustentabilidade e preocupações na esfera socioambiental.
DONMEZER <i>et al.</i> , 2023	Os autores não fazem uma definição específica da I5.0, porém citam a utilização das tecnologias digitais para a concretização de valores sustentáveis ambientais, sociais e econômicos (como a redução do impacto ambiental e práticas éticas de trabalho).

DWIVEDI <i>et al.</i> , 2023	A I5.0 tenta trazer uma abordagem humanizada à transição para uma indústria global sustentável e centrada no ser humano. Seu conceito fundamenta-se na assimilação da sustentabilidade e da integridade social, complementando, assim, o sistema de produção inteligente e digital estabelecido pela I4.0.
FRAGA-LAMAS; LOPES; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, 2021	É um complemento da I4.0, pois combina as tecnologias emergentes com os objetivos de minimização de problemas ambientais e sociais. Os autores utilizam os fundamentos definidos pela Comissão Europeia, que propôs corrigir aspectos da I4.0 que não foram devidamente abordados, como a justiça social e a sustentabilidade.
FREDERICO, 2021	É baseada no conceito de “cobots”, que significa promover o papel dos seres humanos no ambiente de produção, de forma inteligente e cooperativa no ambiente fabril através das tecnologias digitais que implicam na melhoria da produtividade, redução de desperdícios e alcance de objetivos sustentáveis. Os benefícios sociais e sustentáveis são um objetivo arduamente buscado.
KARMAKER <i>et al.</i> , 2023	Contempla as mesmas tecnologias abrangidas pela I4.0, porém a I5.0 tem foco na integração de valores humanos e tecnologias avançadas, com o objetivo de se criar um ambiente de negócios sustentável, resiliente e centrado no ser humano. O envolvimento humano é capaz de garantir um alto nível de personalização de produtos e serviços.
KAZANCOGLU <i>et al.</i> , 2023	Sua base é a colaboração entre robôs e humanos, onde eles cooperam em vez de competir para alcançar um objetivo comum, diferente de revoluções anteriores, cujo foco era o lado econômico da sustentabilidade. Sua visão é a de um desenvolvimento próspero da indústria, na qual as pessoas se comunicam com as máquinas.
MADSEN; SLÅTTEN, 2023	O termo nasceu nos anos 2010, tendo como nome principal Michael Rada, em plataformas sociais. Passou a ser difundido após a pandemia da covid-19 devido a uma mudança no <i>zeitgeist</i> . É um conceito de gestão que desvia o foco da tecnologia para automatizar e aumentar a produtividade, e o direciona para torná-la centrada no ser humano, sustentável e resiliente, para sobreviver em um cenário volátil, incerto, complexo e ambíguo. A participação humana importa para a personalização.
MAESTRI <i>et al.</i> , 2021	O termo surgiu em 2015 e refere-se ao alto nível de personalização de produtos, com a produção de pequenos lotes de artigos individualizados, e à relação humano-sistemas inteligentes, com destaque à contribuição da criatividade nos processos produtivos, ao passo em que os robôs se ocupariam de atividades de risco.
MODGIL; SINGH; AGRAWAL, 2023	A I5.0 se concentra na sinergia entre robôs e humanos, com o objetivo de agregar a criatividade aos demais benefícios trazidos pela I4.0, como precisão e rapidez. Também considera aspectos sociais e sustentáveis para o desenvolvimento de uma indústria inclusiva.
SAMI <i>et al.</i> , 2023	A I5.0 visa a integrar tecnologias e humanos, a fim de criar sistemas de produção inteligentes e interligados. Esta abordagem promete aumentar a eficiência, reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade (como a redução de desperdício e a eficiência de recursos) das operações fabris.
VARRIALE <i>et al.</i> , 2023	A definem como complementar à abordagem da I4.0, objetivando a transição para um desenvolvimento sustentável, centrado no ser humano e resiliente.
VILLAR; PALADINI; BUCKLEY, 2023	Objetiva criar uma combinação de princípios organizacionais e tecnologias para projetar e gerenciar operações resilientes, sustentáveis e centradas no humano. Prevê soluções que melhoram a produtividade e a eficiência de processos de fabricação, mas também considera seus impactos ambientais e visa à um impacto social positivo.
WANG <i>et al.</i> , 2023	A I5.0 utiliza tecnologias avançadas, como a IA e a <i>blockchain</i> , para monitorizar e gerir continuamente os processos de fabricação como complemento às técnicas de gestão tradicionais. Ademais, busca unir a maquinaria automatizada com a capacidade cognitiva e criativa dos profissionais para alcançar a personalização em massa.

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2024)

Como apresentado no Quadro 4, as tecnologias envolvidas na I5.0 são igualmente as observadas na I4.0. São mencionadas, principalmente, a Inteligência Artificial, a Internet das Coisas (IoC), robótica, manufatura aditiva (impressão 3D), computação em nuvem, *blockchain*, análise de dados (Big Data), entre outras (ADEL, 2022). O autor cita a possibilidade de trazer de volta o toque humano para o processo produtivo a partir do momento em que essas tecnologias, de forma interconectada e rápida, são implementadas de forma que os auxiliem a executar tarefas repetitivas ou de risco. Isso permite que as pessoas foquem em suas habilidades criativas para a análise dos dados gerados por elas, bem como na criação de produtos individualizados que visam a melhoria da experiência dos consumidores.

Entende-se, desta maneira, a I5.0 como complementar ao fenômeno da Indústria 4.0. Ou seja, não acontece de forma posterior, ou trata, necessariamente, de tecnologias diferentes das já observadas na atual revolução tecnológica, mas sim de uma mudança de mentalidade e de valores norteadores para a gestão empresarial, ambiental e social durante a implementação das tecnologias digitais em alta. Villar, Paladini e Buckley (2023) subdividem cada um dos pilares da I5.0 de maneira a entender na prática estas mudanças.

O pilar de humanização pode ser apresentado, segundo os autores, de oito maneiras: (1) inovação tecnológica centrada no ser humano, ou seja, a priorização das necessidades humanas; (2) a tecnologia integrada ao ser humano, colocando-o no papel de tomada de decisão de maneira conjunta com as máquinas; (3) interação entre humanos e máquinas, em se tratando da criação de novos empregos; (4) desenvolvimento de habilidades na cadeia de suprimentos/produtiva, ou o investimento no treinamento dos funcionários com o apoio de tecnologias digitais; (5) priorização dos direitos humanos e o bem estar; (6) priorização do ser humano na colaboração entre humano-robô, ou seja, utilizar tecnologias para trazer segurança e conforto aos humanos; (7) cadeias produtivas centradas nos consumidores, tendo como foco o desenvolvimento de produtos personalizados; e (8) manufatura centrada no ser humano, trazendo de volta a criatividade aos sistemas automatizados.

Em se tratando da criação de experiências e produtos individuais, a literatura também apontou destaque naquelas tecnologias que envolvem a interatividade, como a Realidade Virtual, a Realidade Aumentada (MADSEN; SLÅTTEN, 2023) para alcançar esta personalização/individualização. Em setores como o da moda, a existência de tecnologias como provedores virtuais que oferecem experiências personalizadas de compra são um exemplo destas aplicações (DONMEZER *et al.*, 2023). Vale ressaltar que as questões relacionadas à personalização não se dão somente por meio da utilização de tecnologias voltadas para estes fins, sendo imprescindível que o “toque humano” exista nas operações fabris, por meio da colaboratividade entre robôs e pessoas para que isto ocorra (MADSEN; SLÅTTEN, 2023).

Já o pilar da sustentabilidade é abordado por Villar, Paladini e Buckley (2023), em três dimensões: (1) o social, enfatizando o bem-estar e práticas éticas empresariais, como salários justos, relações de confiança e de transparência; (2) o ambiental, adotando práticas como a redução de consumo de energia e matérias-primas, minimização de desperdícios e descartes e; (3) o econômico, buscando a melhoria da competitividade empresarial por meio da redução de custos e aumento da eficiência produtiva, de maneira equilibrada aos outros dois pilares citados.

Por fim, o pilar da resiliência trata sobre a capacidade de produção, gerenciamento e análise de dados, visando a otimização de cadeias produtivas, para que estas se tornem mais resistentes em um mundo volátil. São citadas, neste tópico, fenômenos como a *Internet of Things* (IoT), Big Data, Inteligência Artificial, computação em nuvem e gêmeos digitais.

3.2 Desafios para implementação da Indústria 5.0

Karmaker *et al.* (2023) e Kazancoglu *et al.* (2023) contribuíram em demasia com a investigação ao observarem e elencarem os desafios que circundam o desenvolvimento da I5.0. Os principais obstáculos observados foram: (1) a falta de habilidades e a ausência de profissionais capacitados nas novas tecnologias digitais, bem como a aversão de profissionais e falta de envolvimento dos gestores no entendimento e adoção dessas modernizações para reestruturar o modelo de produção de forma sistêmica; (2) a capacidade insuficiente, ou disposição, tanto por parte dos líderes empresariais quanto em se tratando de auxílio governamental, de investimento financeiro para promover esta transição de forma escalável e lucrável; (3) a necessidade de se desenvolver uma infraestrutura segura para comportar e circular o alto volume de dados de um sistema completamente automatizado, relacionando-se também com questões éticas sobre a privacidade de dados; e (4) a dificuldade em lidar com os impactos ambientais negativos de algumas tecnologias, como o consumo de energia.

Quanto às questões relacionadas as habilidades e competências, Modgil, Singh e Agrawal (2023) realizaram seu estudo procurando quais as novas habilidades necessárias para os profissionais da Indústria 5.0. As habilidades foram divididas em três grupos: gerenciais, operacionais e técnicas, que foram resumidas da seguinte forma (MODGIL; SINGH; AGRAWAL, 2023, p. 18):

As habilidades gerenciais incluem habilidades interpessoais, como gestão de pessoas [...], habilidades operacionais incluem coordenação, programação e gerenciamento das operações principais de manufatura e logística [...], enquanto habilidades técnicas avançadas incluem a familiaridade com tecnologias, ferramentas e técnicas para orientar decisões de negócios no dia a dia [...].²

Sobre a questão governamental, também se destaca a necessidade de criação de leis e certificação adequadas para padronizar as aplicações tecnológicas, que ainda são heterogêneas. Existem, ainda, desafios específicos em se tratando de países emergentes. Alvarez-Aros e Bernal-Torres (2021) mostram que, enquanto economias desenvolvidas já estão priorizando o desenvolvimento tecnológico de forma mais sistêmica, as emergentes se ocupam de melhorias enxutas nas operações de manufatura, atendendo a aspectos como a sustentabilidade e a sobrevivência empresarial mas não com o entendimento de toda a cadeia produtiva. Nos países emergentes citados pelos autores, como Brasil, Índia, México, e África do Sul, os governos não oferecem o suporte financeiro necessário para a criação de um ecossistema colaborativo, sendo ainda necessário trabalhar questões de inovação, tecnologia e ciência para o desenvolvimento dessas nações à I5.0.

Em relação à segurança, Czczot *et al.*, (2023) apontam a necessidade de se desenvolverem sistemas confiáveis para comportar o alto volume de dados de operações tecnológicas. A confiabilidade dos sistemas diz respeito tanto a sua segurança contra falhas quanto a *cyber*-ataques (realizados por *hackers* de forma intencional, podendo utilizar de dados, imagens, áudios ou outras informações sigilosas para afetar pessoas específicas da organização), e impacta diretamente em sua eficiência. Para os autores (CZECZOT *et al.*, 2023, p. 2), “no caso de um ataque apoiado por IA, usar IA na defesa pode ser a única maneira de repeli-lo com sucesso, evitando perda de dados ou

² “Managerial skills include soft skills such as man management [...], operations skills include coordination, scheduling and management of core manufacturing and logistics operations [...], whereas advanced technical skills include the familiarity with technologies, tools and techniques to drive business decisions on day to day basis [...]” (MODGIL; SINGH; AGRAWAL, 2023, p. 18, tradução nossa).

tempo de inatividade do sistema”³, e citam algumas soluções neste contexto, como a *Edge Computing*, em que parte da análise dos dados estaria descentralizada e seria processada em sistemas isolados, e a *Blockchain*, referido como um sistema que funciona de forma criptografada para o registro e armazenamento de dados.

Adicionalmente a este tópico, Wang *et al.* (2023, p. 2) defendem que a tecnologia *Blockchain* “pode criar um sistema robusto de rastreabilidade de informações que fornece aos atores relevantes acesso a dados críticos relacionados à sustentabilidade e proteção ambiental”⁴. Porém, esta tecnologia é nova e possui restrições de armazenamento. Em um sistema empresarial que lida com grandes volumes de transações, este pode ser um fator impeditivo para sua adoção. Ademais, os autores apresentam desafios como risco de privacidade, devido à ausência de regulamentação e normas de compartilhamento de dados, que geram desconfiança neste modelo de negócios, além dos altos custos envolvidos na compra de *hardwares*, integração e interoperabilidade com os demais sistemas, manutenção de sistemas e treinamento (questão abordada como decorrente, dentre outras razões, da falta de incentivo governamental à inovações), além da ausência de profissionais capacitados na operação desta tecnologia.

Já em relação ao consumo de energia e ao impacto ambiental, Fraga-Lamas, Lopes e Fernández-Caramés (2021) asseveram que, ainda que a transformação digital ofereça oportunidades de inovação substanciais à indústria, ela também implica em uma pegada ambiental significativa. Os autores apontam que, segundo o Fórum Econômico Mundial, em 2010-2019, os resíduos eletrônicos cresceram 38%, e menos de 20% destes foram reciclados. Afirmam, ainda, que essa quantidade de resíduos atingirá 120 milhões de toneladas anuais até 2050. Ademais, as infraestruturas digitais exigem níveis substanciais de energia, e representam 5 a 9% da procura total de electricidade, com um aumento potencial para 20% até 2030. Assim, soluções que permitam a circularidade, menor consumo de energia não renovável, manutenção preditiva e sistemas transparentes que utilizam de sistemas como *Edge Computing* e *Blockchain*, apresentados anteriormente, devem ser considerados para mitigar estes efeitos.

Por fim, Varriale *et al.*, (2023) contribuem com a investigação ao apresentarem como as demais tecnologias da I5.0 podem contribuir para minimizar os desafios relacionados à sustentabilidade. Como exemplos, de forma a complementar o exposto anteriormente, destacam-se a impressão 3D, aplicativos digitais, tecnologias geoespaciais (como satélites) e tecnologias imersivas, que podem reduzir a emissão de carbono, o gasto de energia, o tempo de desenvolvimento de produtos, e auxiliam na elaboração de artigos que oferecem mais satisfação e assertividade aos consumidores, além de potencialmente tornar seu ciclo de vida rastreável.

3.3 A Indústria 5.0 no setor da moda

O setor específico da moda foi investigado pelos autores Maestri *et al.* (2022), Donmezer *et al.* (2023), e Kazancoglu *et al.* (2023). Outros autores da RSL, como Karmaker *et al.* (2023) e Ahmed *et al.* (2023), também teceram comentários acerca deste setor.

Maestri *et al.* (2021) apresentam o conceito de “Indústria 3.5”, uma fase transitória para o alcance do nível de automatização proposto pela I4.0 de forma gradual, para que não sofram com

³ “In the case of an AI-supported attack, using AI in defense may be the only way to successfully repel it, avoiding data loss or system downtime” (CZECZOT *et al.*, 2023, p. 2, tradução nossa).

⁴ “Blockchain technology can create a robust information traceability system that provides the relevant actors with access to critical data relating to sustainability and environmental protection” (WANG *et al.*, 2023, p. 2, tradução nossa).

os impactos socioeconômicos envolvidos no processo. Para os autores, muitas indústrias que compõem a cadeia de produção de moda se encontram nesse estágio, utilizando de tecnologias como a IoT, sistemas *cyber*-físicos e análise Big Data. Apesar das dificuldades envolvidas, sobretudo as financeiras e de infraestrutura, na automatização completa dos processos industriais, foi observado que o setor têxtil possui potencial para se beneficiar dessas tecnologias e dos conceitos agregados pelo fenômeno da I5.0.

Destaca-se, sobretudo, a possibilidade de se atender demanda por produtos personalizados exigida pelos novos consumidores, que buscam se individualizar por meio de vestuário e acessórios exclusivos. Deste modo, entre os principais possíveis beneficiados, os autores apontaram setores que atendem aos clientes finais, como os de Malharia, Tecelagem Plana, Estamparia e Confecção, e que possuem, portanto, possibilidade de se beneficiarem de tecnologias que envolvam a personalização de produtos proposta pela I5.0. Setores como o de Fiação e Tinturaria, que não atendem diretamente aos consumidores, receberam dos autores uma previsão de classificação na I4.0 em um futuro próximo, por não contemplarem a necessidade de personalização. Os demais pilares e norteadores que compõe a I5.0, apresentados na Seção 3.1, não foram considerados nesta análise.

Donmezer *et al.* (2023) também tratam sobre a personalização de produtos, comentando sobre as novas tecnologias existentes no ramo criativo como os provedores virtuais, *body scanners* e bibliotecas virtuais de peças de roupa criadas por softwares CAD 3D para atender às demandas de usuários de forma individualizada ao mesmo tempo em que abordam desafios de práticas sustentáveis, produção eficiente, redução de desperdícios e impactos ambientais negativos. Os autores citam um exemplo do Size World, um aplicativo integrado a um banco de dados em nuvem que apresenta ofertas personalizadas por meio da análise de um alto volume de dados envolvendo preferências, tamanho corporal, comportamento de compra e histórico de navegação dos consumidores. Essa aplicação pode contribuir para a criação de novas estratégias de marketing, como também para reduzir a necessidade de protótipos físicos, minimizar o desperdício de materiais e a superprodução, diminuir a necessidade de viagens para compras físicas, impactando diretamente na redução das emissões de carbono, além de auxiliar na análise de tendências, que poderia ser impulsionada por IA para oferecer uma resposta rápida às mudanças nas demandas dos consumidores.

Além das possibilidades de personalização, os autores também chamam a atenção para o uso da robótica para aliviar processos manuais exaustivos, citando exemplos de máquinas de corte e máquinas de costura automatizadas, que trariam um nível de precisão e agilidade desafiador de ser alcançado com processos manuais. Ademais, sistemas que agilizam a produção de dados para análise de inventários, custos e outras informações sobre o estado das etapas de produção podem abrir caminho para um futuro mais ecológico e sustentável ao lidar com a redução de desperdícios de tecido e consumo de energia derivados de inconsistências no processo de fabricação.

Karmaker *et al.* (2023) fizeram seu estudo com um recorte temporal que contemplasse os efeitos da pandemia da Covid-19 no setor de vestuário e calçados específico de Bangladesh. Eles puderam observar que, durante os anos desta crise, o nível de produção e exportação do país neste setor diminuiu drasticamente, com pedidos cancelados que alcançam 979 milhões de produtos, resultando em um prejuízo de mais de U\$ 3 bilhões e impactando diretamente a vida de mais de 2,25 milhões de trabalhadores. A crise pressionou 73% dos gestores destas indústrias a se modernizarem tecnologicamente, abraçando sistemas automatizados e inteligentes para garantir sua sobrevivência futura por meio de métodos de produção mais sustentáveis. Ahmed *et al.* (2023) também observaram números semelhantes estudando Bangladesh. Os autores apontaram um

déficit de US\$ 2.0 bilhões em pedidos cancelados, que alcançam mais de 900 milhões de produtos e impactaram diretamente a vida de quase 2,27 milhões de trabalhadores.

Os números encontrados nestas investigações reforçam a fragilidade do sistema atual de produção, e a necessidade de se construir um modelo resiliente, sustentável e centrado no ser humano, como o proposto pela I5.0. Ambos os estudos apontam a participação da inteligência e criatividade humana neste novo modelo como essencial para garantir alto nível de personalização de produtos e colaboratividade para os sistemas fabris. Ahmed *et al.* (2023) reforçam, ainda, que a adoção das tecnologias digitais, como os sistemas *cyber*-físicos impulsionados por IA, que promoveriam a rastreabilidade em tempo real das etapas da cadeia produtiva, auxiliaria no processo de formulação de estratégias empresariais, como em relação à seleção de rotas, consumo de energia, e criação de políticas de estoque e eliminação de resíduos e aumentaria o desempenho financeiro, ambiental e social dessas indústrias.

Quanto à possibilidade de difusão dos conceitos e tecnologias da I5.0, Madsen e Slåtten (2023) preveem o surgimento de “gurus de gestão” (“*management gurus*”), no lugar de empresas de consultoria, para o auxílio na educação e implementação destas tecnologias. Os argumentos principais para esta análise são que as consultorias parecem, ainda, estar voltadas à I4.0, enquanto estudiosos e entusiastas de negócios tendem a possuir maior foco nos princípios da I5.0, como a sustentabilidade. Apesar de haver espaço no mercado para que as empresas de consultoria passem a focar na I5.0, existe a tendência de que este assunto seja mais democratizado, uma vez que nasceu em ambientes digitais sociais como um debate informal e aberto. Nesta nova era, então, o conhecimento e a possibilidade de ensinar e aprender sobre ele estaria descentralizado, e não concentrado na mídia de massa. Por fim, os autores complementam (MADSEN; SLÅTTEN, 2023, p. 11):

O conceito da I4.0 foi, em grande medida, uma visão imposta de cima para baixo, apresentada na Hannover Fair em 2011 e posteriormente endossada pelo Fórum Econômico Mundial. Por outro lado, a I5.0 foi lançada por atores menos conhecidos que ofereceram suas visões e perspectivas. O surgimento e crescimento também parecem ter ocorrido organicamente, pelo menos na fase inicial. No entanto, é notável que o conceito tenha sido adotado pela Comissão Europeia.⁵

Por fim, Kazancoglu *et al.* (2023) elencam os desafios mais significativos para a indústria têxtil e de vestuário, dentre os apresentados no tópico anterior. São percebidos como de maior impacto: (1) a necessidade de tornar os processos altamente automatizados mais centrados no ser humano, chamando atenção para a necessidade de se manter um equilíbrio entre inovação tecnológica e aspectos humanos; (2) a urgência de preencher lacunas de competências na força de trabalho, solucionada através da promoção de oportunidades de aprendizagem contínua para acompanhar as rápidas mudanças tecnológicas; e (3) a resistência à mudança, contexto em que os gestores devem avaliar o valor que as tecnologias I5.0 agregam à cadeia produtiva com uma abordagem ágil e orientada aos consumidores.

Assim, percebe-se que os estudos referentes ao setor da moda parecem convergir para um foco voltado a personalização de produtos em massa, possuindo maior foco em atender às

⁵ “The concept of I4.0 was, to a larger extent, a top-down, externally imposed vision presented at the Hannover Fair in 2011 and later endorsed by the World Economic Forum. On the contrary, I5.0 was launched by lesser-known actors who have offered their visions and perspective. The emergence and growth also appear to have happened organically, at least in the early phase. However, it is notable that the concept has been co-opted by the European Commission” (MADSEN e SLÅTTEN, 2023, p. 11, tradução nossa).

demandas dos consumidores finais, de forma a contemplar parte do pilar “centralização no ser humano” apresentado no tópico 1 desta investigação. Também apresenta valores/intenções sustentáveis ambientalmente, em se tratando do consumo e desperdício de energia e matérias-primas no processo produtivo, e da possibilidade de utilizar as tecnologias em prol da sua maior eficiência e resiliência. Contudo, os desafios enfrentados por este setor são semelhantes aos apresentados pelas indústrias de maneira geral, e continuam a ser investigados.

4 Considerações finais

O presente artigo teve como objetivo responder à pergunta: Quais são os impactos da Indústria 5.0 para a cadeia produtiva da moda? Ao longo da investigação, percebe-se que, apesar das afirmações de que não existe uma definição concreta para o termo, há, de certa maneira, concordância de que a I5.0 se refere a uma mudança de foco da aplicabilidade das tecnologias digitais para um que se mostra mais humano, resiliente e sustentável. A revolução 5.0 abraça as tecnologias observadas em revoluções anteriores e as direciona para a construção de aplicações em prol da melhoria de qualidade de vida e trabalho do ser humano, bem como para valores sustentáveis da chamada Sociedade 5.0. No setor da moda, observa-se um foco de interesse maior nas questões que envolvem o consumidor e suas necessidades, tendo destaque as tecnologias interativas, imersivas e de personalização de produtos em massa.

É importante salientar, no entanto, que os desafios relacionados ao desenvolvimento de novas habilidades e de conhecimento para lidar com questões éticas e técnicas sobre a privacidade de dados, impactos ambientais e operações tecnológicas, bem como a necessidade de se desenvolver uma infraestrutura segura para comportar e circular o alto volume de dados de um sistema automatizado, demandando capacidade de investimento financeiro, ainda são observados e podem dificultar o avanço a I5.0. Para continuidade desta temática de pesquisa, para próximos trabalhos, sugere-se o mapeamento do estado atual das indústrias que compõe a cadeia produtiva de moda em relação ao seu desenvolvimento tecnológico e aos valores que permeiam a I5.0, com o objetivo de entender os desafios específicos deste setor e enriquecer a literatura existente na área em âmbito nacional.

5 Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil – Bolsa de Iniciação Científica.

6 Referências

ADEL, A. Future of industry 5.0 in society: Human-centric solutions, challenges and prospective research areas. **Journal of Cloud Computing**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-022-00314-5>. Acesso em: 10 jan. 2024.

AGRAWAL, S. *et al.* Can industry 5.0 technologies overcome supply chain disruptions? A perspective study on pandemics, war, and climate change issues. **Operations Management Research**, p. 1-16, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-023-00410-y>. Acesso em: 10 jan. 2024.

- AHMED, T. *et al.* Modeling the artificial intelligence-based imperatives of industry 5.0 towards resilient supply chains: A post-COVID-19 pandemic perspective. **Computers & Industrial Engineering**, v. 177, p. 1-12, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835223000797>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- AKUNDI, A. *et al.* State of Industry 5.0 - Analysis and identification of current research trends. **Applied System Innovation**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-5577/5/1/27>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- ALOJAIMAN, B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. **Processes**, v. 11, n. 5, p. 1-16, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/5/1318>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- ALVAREZ-AROS, E. L.; BERNAL-TORRES, C. A. Technological competitiveness, and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/YG9sF86HVgDWSBQB5BKvLrb/?format=html&lang=en>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- BAKON, K. *et al.* Scheduling under uncertainty for Industry 4.0 and 5.0. **IEEE Access**, v. 10, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9830737/>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- CZECZOT, G. *et al.* AI in IIoT Management of Cybersecurity for Industry 4.0 and Industry 5.0 Purposes. **Electronics**, v. 12, n. 18, p. 1-15, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/18/3800>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- DABO, A.; HOSSEINIAN-FAR, Amin. An Integrated Methodology for Enhancing Reverse Logistics Flows and Networks in Industry 5.0. **Logistics**, v. 7, n. 4, p. 1-26, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/7/4/97>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- DHAYAL, K. S. *et al.* Can green finance facilitate Industry 5.0 transition to achieve sustainability? A systematic review with future research directions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 46, p. 102158-102180, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-29539-w>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- DONMEZER, S. *et al.* Revolutionizing the Garment Industry 5.0: Embracing Closed-Loop Design, E-Libraries, and Digital Twins. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 1-24, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/15839>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- DWIVEDI, A. *et al.* Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. **Computers & Industrial Engineering**, v. 176, p. 1-27, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835222009159>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- FRAGA-LAMAS, P.; LOPES, S. I.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. Green IoT and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy: An industry 5.0 use case. **Sensors**, v. 21, n. 17, p. 1-36, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/17/5745>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- FREDERICO, G. F. From supply chain 4.0 to supply chain 5.0: Findings from a systematic literature review and research directions. **Logistics**, v. 5, n. 3, p. 1-21, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/5/3/49>. Acesso em: 10 jan. 2024.

KARMAKER, C. L. *et al.* Industry 5.0 challenges for post-pandemic supply chain sustainability in an emerging economy. **International Journal of Production Economics**, v. 258, p. 2-12, 2023.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527323000385>.

Acesso em: 10 jan. 2024.

KAZANCOGLU, Y. *et al.* Towards industry 5.0 challenges for the textile and apparel supply chain for the smart, sustainable, and collaborative industry in emerging economies. **Information Systems Frontiers**, 2023.

Disponível em: <https://link-springer-com.ez74.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10796-023-10430-5>.

Acesso em: 10 jan. 2024.

MADSEN, D. Ø.; SLÅTTEN, K. Comparing the Evolutionary Trajectories of Industry 4.0 and 5.0: A Management Fashion Perspective. **Applied System Innovation**, v. 6, n. 2, p. 1-22, 2023.

Disponível em: <https://doi.org/10.3390/asi6020048>.

Acesso em: 10 jan. 2024.

MAESTRI, G. *et al.* Revoluções tecnológicas e a relação com o setor têxtil: perspectivas baseadas em Indústria 3.5, Indústria 4.0 e Indústria 5.0. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 13, 2021.

Disponível em:

<https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/revistapct/article/view/1989>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MODGIL, S.; SINGH, R. K.; AGRAWAL, S. Developing human capabilities for supply chains: an industry 5.0 perspective. **Annals of Operations Research**, p. 1-31, 2023.

Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-023-05245-1>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SAMI, A. *et al.* Characterizing Circular Supply Chain Practices in Industry 5.0 With Respect to Sustainable Manufacturing Operations. **Journal of Management and Research**, v. 10, n. 1, p. 84-105, 2023.

Disponível em: <https://doi.org/10.29145/jmr.101.04>.

Acesso em: 10 jan. 2024.

VARRIALE, V. *et al.* Industry 5.0 and Triple Bottom Line Approach in Supply Chain Management: The State-of-the-Art. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 1-30, 2023.

Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/5712>. Acesso em: 10 jan. 2024.

VILLAR, A.; PALADINI, S.; BUCKLEY, O. Towards Supply Chain 5.0: Redesigning Supply Chains as Resilient, Sustainable, and Human-Centric Systems in a Post-pandemic World. *In: Operations Research Forum*. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 1-46.

Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s43069-023-00234-3>. Acesso em: 10 jan. 2024.

WANG, Z. *et al.* Blockchain adoption in sustainable supply chains for Industry 5.0: A

multistakeholder perspective. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 8, n. 4, p. 1-22, 2023.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X2300121X>. Acesso em: 10 jan. 2024.