

Sustentabilidade e indústria 4.0 no setor têxtil: uma revisão sistemática

O presente manuscrito tem como objetivo contribuir no sentido de elencar as principais ferramentas e tendências da indústria 4.0 (I4.0) aplicadas no setor têxtil de forma sustentável, a fim de fomentar uma discussão sobre um relevante tema de pesquisa. A indústria têxtil é uma das maiores fontes mundiais de crescimento econômico e de poluição industrial, e questões sustentáveis estão se tornando uma preocupação cada vez maior. Sendo assim, I4.0 surge com alternativas tecnológicas a fim de impactar positivamente a indústria de confecção. Foi realizada uma revisão de literatura aplicando-se a técnica de revisão sistemática. Os resultados verificados indicaram a categorização de 03 principais tendências e seus impactos aplicando a sustentabilidade na indústria têxtil. Dentre estas, pode-se citar: (1) economia circular e produção sustentável; (2) blockchain e cadeia de suprimentos; e (3) ferramentas da I4.0 aplicadas na indústria têxtil. Contudo, conclui-se que o presente artigo busca servir como uma ferramenta de acesso e visibilidade para possíveis implementações das inovações sustentáveis na indústria têxtil no Brasil.

Palavras-chave: Indústria Têxtil; Indústria 4.0; Sustentabilidade.

Sustainability and industry 4.0 in the textile sector: a systematic review

This manuscript aims to contribute to listing the main tools and trends of industry 4.0 (I4.0) applied in the textile sector in a sustainable way, in order to encourage a discussion on a relevant research topic. The textile industry is one of the world's largest sources of economic growth and industrial pollution, and sustainable issues are becoming an increasing concern. Therefore, I4.0 comes with technological alternatives in order to positively impact the manufacturing industry. A literature review was carried out using the systematic review technique. The selected results indicated the categorization of 03 main trends and their impacts applying sustainability in the textile industry. Among these, we can mention: (1) circular economy and sustainable production; (2) blockchain and supply chain; and (3) I4.0 tools applied in the textile industry. However, it is concluded that this article seeks to serve as an access and visibility tool for possible implementations of sustainable innovations in the textile industry in Brazil.


Keywords: Textile Industry; Industry 4.0; Sustainability.


Topic: **Teoria Geral da Administração**

Received: **02/07/2023**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **10/08/2023**

Francisco Nogueira Lima Junior 
Universidade de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9870083706562526>
<https://orcid.org/0000-0003-2554-2597>
francisco.nogueira@upe.br

Djalma Silva Guimarães Junior 
Universidade de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0925195763491278>
<https://orcid.org/0000-0002-4539-8492>
djalma.guimaraes@upe.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-684X.2023.003.0001

Referencing this:

LIMA JÚNIOR, F. N.; GUIMARÃES JÚNIOR, D. S.. Sustentabilidade e indústria 4.0 no setor têxtil: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v.14, n.3, p.1-11, 2023. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-684X.2023.003.0001>

INTRODUÇÃO

Iniciada em 2011 como uma futura estratégia de negócios na Alemanha a Indústria 4.0 (I4.0) agora é uma realidade em muitos nichos industriais, interrompendo os processos e negócios convencionais e dinamizando o mercado (SPROVIERI, 2019). Isso desencadeou uma digitalização massiva de processos de fabricação, automatizando as cadeias de valor de ponta a ponta com interações humanas mínimas (MUBARIK et al., 2021). Por meio da utilização sistemas ciberfísicos (CPS), Internet Industrial das Coisas (IIoT), veículos autônomos, computação em nuvem e cognitiva e muito mais, a aplicação da I4.0 vem empurrando a digitalização e automação de processos de negócios para níveis precedentes (KUSI-SARPONet al., 2022).

Além disso, a I4.0 facilita as aplicações de capacidades analíticas e de inteligência de negócios, resultando em novas formas de interação homem-máquina, como robótica avançada e impressão 3-D. Esses impressionantes avanços digitais estão transmutando as cadeias de suprimentos tradicionais e impactando o setor de confecções (MUBARIK et al., 2020).

A indústria têxtil é uma das indústrias prioritárias para o desenvolvimento do país, por possuir um importante papel na economia nacional. No entanto, é uma indústria que tem resíduos que afetam diretamente o meio ambiente. Este pode ser visto de várias perspectivas na forma de matérias-primas, energia e tratamento de resíduos após os resultados do processo de produção. Ainda existem muitas indústrias têxteis que descartam resíduos líquidos para o meio ambiente, o que fará com que o fluxo de resíduos líquidos percorra as águas ao redor de assentamentos, assim impactando regiões aos arredores (INDRAYANI et al., 2020).

Para adotar amigavelmente o novo paradigma, os principais desafios enfrentados pela indústria têxtil precisam ser bem compreendidos. O primeiro desafio entre eles é a produção sustentável. Mudanças climáticas, condições ambientais e maior conscientização sobre questões sociais e ambientais são pontos cruciais para o avanço do desenvolvimento sustentável na I4.0. A produção e o consumo de produtos são responsáveis pela maioria dos desafios ambientais e mudanças climáticas, que afetam negativamente a vida humana e comprometem o futuro das gerações vindouras. A produção sustentável surge como um caminho estratégico para combater essas adversidades, cuja busca é altamente desafiadora.

Sendo assim, surgem as indústrias verdes, cujo intuito é gerar soluções em seu processo produtivo melhorando a eficiência e a eficácia no uso dos recursos de forma a alinhar o desenvolvimento industrial com a preservação das funções ambientais, beneficiando assim a sociedade (INDRAYANI et al., 2020). Além disso, a aplicação da I4.0 englobando os aspectos sustentáveis são práticas que devem ser inseridas no cotidiano das indústrias de confecção. Alinhado a esse raciocínio, o conceito de fabricação inteligente da Indústria 4.0 foi apresentado pela primeira vez na Feira de Hannover (Alemanha) em 2011, recebendo grande atenção de diferentes setores da indústria em várias nações, inclusive a têxtil (PARK et al., 2018). Teóricos afirmam que a integração dos componentes do sistema e a digitalização das operações de manufatura/serviço são os principais fundamentos da I4.0 (KÜSTERS et al., 2017). No entanto, a maioria das empresas da indústria têxtil hesita em introduzir a I4.0 devido a sérias preocupações com os incertos

benefícios financeiros e falta de conhecimento profissional (VRCHOTA et al., 2020).

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo contribuir no sentido de elencar as principais ferramentas e tendências da I4.0 aplicadas no setor têxtil de forma sustentável, a fim de fomentar uma discussão sobre um relevante tema de pesquisa para ser amplamente utilizada no Brasil.

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura com a coleta de dados realizada na base do *Scopus* e *Web of Science*, a fim de se obter trabalhos cuja temática embasada seja sobre indústria 4.0, indústria têxtil e sustentabilidade. Nesta sessão foi apresentada a produção de um portfólio contendo 17 trabalhos relacionados às temáticas supracitadas. Na segunda sessão foi feito um levantamento dos trabalhos mais citados na literatura e por fim na terceira sessão foi realizado um copilado de três categorias das principais tendências que geram impactos na indústria têxtil relacionando com práticas sustentáveis e ferramentas da I4.0.

METODOLOGIA

O presente artigo trata-se de um levantamento teórico através da aplicação do método de revisão sistemática da literatura (RSL). O método escolhido foi baseado nos estudos de Kietchenham et al. (2007), cuja proposta é identificar, avaliar e interpretar as pesquisas relevantes sobre uma determinada questão de pesquisa, permitindo construir saberes e agregar conhecimento. O modelo adotado no estudo consistiu em três etapas: planejamento, condução e apresentação da revisão, conforme os estudos de (KIETCHENHAM et al., 2007).

O planejamento consiste no estudo da necessidade e viabilidade da revisão, na definição das questões de pesquisa e na elaboração do protocolo da revisão (KIETCHENHAM et al., 2007; TESSARINI et al., 2018). Desta forma, a fase de planejamento deu início a partir da temática com intuito de obter familiarização do tema e definir as hipóteses e problemáticas da pesquisa. Foi detectado que o estudo é viável, pois existem vários teóricos que abordam a temática central do artigo, no entanto apenas estudos internacionais, os quais abordam percepções sobre a sustentabilidade aplicada à indústria têxtil atrelada as tecnologias da indústria 4.0. Posteriormente a essa revisão da temática bem como comprovação da viabilidade do estudo, foi iniciada a RSL.

A condução da revisão inicia-se com a busca e seleção de estudos primários (KIETCHENHAM et al., 2007), desta forma, foi definida a base de dados *Scopus* como meio de busca às pesquisas relativas à temática por ser uma plataforma de referência mundial. Foi realizada uma busca primária definindo apenas o construto “Industry 4.0”, onde foi verificado o título, resumo e palavras-chaves dos trabalhos. Esta busca inicial possibilitou a visualização de um número total de 24.744 trabalhos relativos a essa temática. Como o presente artigo apresenta temáticas mais específicas, foram definidas mais duas palavras-chaves “Industry 4.0” e “Textile or apparel” para promover um refinamento na busca. A partir desse refinamento foi observado um resultado de 342 trabalhos verificando os mesmos critérios acima.

A fim de se realizar uma análise mais detalhada acerca do objetivo deste estudo, foi adicionada mais uma palavra-chave “Sustainability” para obter trabalhos mais correlatos. Após esse filtro, foram obtidos 22

documentos. É importante destacar que nessa etapa de refinamento, não houve triagem de idiomas, nem de áreas de atuação, não houve seleção de tipo de documento e tão pouco ano de publicação. Os trabalhos selecionados foram obtidos na íntegra fornecida pelo banco de dados *Scopus*. A partir da leitura na íntegra dos trabalhos, aplicou-se uma nova seleção onde 05 estudos foram excluídos, pois não contemplavam as temáticas sobre indústria 4.0, indústria têxtil e sustentabilidade. Desta forma, 17 trabalhos foram incluídos no estudo.

A fim de incrementar a pesquisa, foi realizada a busca na plataforma *Web of Science* que também é reconhecida internacionalmente. Utilizando os mesmos recursos abordados acima, foi obtido um número de 27.705 trabalhos empregando a palavra-chave “Industry 4.0”. Através dos refinamentos usando as palavras-chaves “Industry 4.0” e “Textile or apparel” obteve-se 371 documentos, resultado um pouco maior do que no *Scopus*. No entanto, uma nova filtragem foi realizada adicionando a palavra-chave “Sustainability” e foi detectado 21 trabalhos. Executando as análises de título e leitura na íntegra destes documentos, foi verificado que 10 artigos abordam sobre indústria têxtil, de moda ou vestuário, indústria 4.0 ou tecnologia voltada para indústria 4.0 e sustentabilidade, no entanto 09 são idênticos aos encontrados no *Scopus*.

Todos os artigos selecionados tanto na base de dados do *Scopus* quanto na *Web of Science* foram lidos na íntegra e para maior segurança nos critérios de inclusão/exclusão aplicou-se a análise do conteúdo de forma crítica, consistindo em um princípio básico da RSL. Desta forma, após as análises 17 estudos agregaram o portfólio final da pesquisa, onde suas contribuições serão abordadas posteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação da revisão consiste na exposição e disseminação dos dados e conclusões (KIETCHENHAM et al., 2007). Diante dos achados observados na pesquisa, foi possível avaliar que a literatura sobre a temática sustentabilidade na indústria 4.0 no setor têxtil é limitada. No entanto, o presente trabalho visa contribuir trazer a luz as principais contribuições das aplicações das tecnologias da I4.0 associada a sustentabilidade na indústria têxtil.

Dentre os 17 trabalhos, 09 foram publicados em periódicos e 08 são derivados de anais de congressos/conferências internacionais (Quadro 1). Em relação ao ano de publicação, foi possível observar que o número de publicações vem crescendo gradativamente, visto que de acordo com as buscas 02 publicações dataram de 2018, 02 artigos em 2019, 04 documentos em 2020, 06 trabalhos em 2021 e em até maio de 2022 foram analisados 03 trabalhos (Quadro 1). Desta forma, é notável que assim como a indústria 4.0, a sua associação no ramo das confecções com a sustentabilidade vem crescendo no âmbito mundial. De acordo com Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016) a indústria 4.0 vem aumentando o valor na cadeia organizacional e em todo o ciclo de vida do produto e que os mundos virtuais e físicos se fundem através da evolução da internet.

Em relação às tendências sustentáveis observadas no estudo, foi possível detectar que todos os trabalhos abordaram sobre sustentabilidade aplicada na indústria têxtil com utilização de ferramentas inovadoras da indústria 4.0. O Quadro 1 apresenta uma síntese de cada trabalho adotado nesta pesquisa.

É importante salientar que a partir das análises dos trabalhos desse estudo, foi observada que as principais tecnologias da indústria 4.0 aplicadas na indústria têxtil foram: o blockchain, a internet das coisas, o big data, a robótica, associadas às cadeias de suprimentos, a digitalização nos processos de fabricação e às práticas de manufatura sustentáveis. Segundo a Feira Brasileira de Indústria Têxtil (FEBRARTEX, 2019) as vantagens da aplicação da indústria 4.0 para o setor têxtil através de sistemas tecnológicos de produção promovem redução dos desperdícios com sobras através da ajuda na análise de dados; nas linhas de produção compartilhadas com o auxílio de softwares, e na redução de estoques com a produção realizada sob demanda.

Quadro 1: Portfólio de trabalhos selecionados na pesquisa.

Autor(es)	Ano de publicação	Tipo de publicação	Título do trabalho	Tendências
Kusi-Sarpong et al.	2022	Periódico	Intellectual capital, blockchain-driven supply chain and sustainable production: Role of supply chain mapping	Digitalização nos processos de fabricação; Produção sustentável; Manufatura sustentável; Blockchain
Happonen et al.	2022	Anais Congresso	A mapping study of the current literature on digitalization and industry 4.0 technologies utilization for sustainability and circular economy in textile industries	Moda rápida; Digitalização nas indústrias têxteis; Sustentabilidade; Circularidade nas Indústrias Têxteis.
Ghoreishi et al.	2022	Anais Congresso	The Case of Fabric and Textile Industry: The Emerging Role of Digitalization, Internet-of-Things and Industry 4.0 for Circularity	Moda rápida; Sustentabilidade; Economia Circular Soluções Digitais para Circularidade Têxtil; IoT e Moda Circular.
Wahed et al.	2021	Periódico	"Please stay, don't leave!": A Systematic Literature Review of Safeguarding Intangible Cultural Heritage in the Fourth Industrial Revolution	Têxtil; Sustentabilidade; Tecnologia digital; Patrimônio cultural imaterial na Plataforma Digital.
Tebaldi et al.	2021	Anais Congresso	Fashion Supply Chain: a literature review to define the trends of research (2012-2019)	Indústria da moda; Cadeia de suprimentos da moda; Moda rápida; Sustentabilidade; Tecnologias e inovações.
Pirola et al.	2021	Periódico	Applying simulation for sustainable production scheduling: A case study in the textile industry	Indústria 4.0 e sustentabilidade; IoT; Big data; CPS; Manufatura simulação flexível; sustentabilidade têxtil.
Fallahpour et al.	2021	Periódico	An integrated approach for a sustainable supplier selection based on Industry 4.0 concept	Indústria 4.0; Indústria Têxtil; Sustentabilidade; Fornecedores sustentáveis
Abreu et al.	2021	Anais Congresso	Blockchain Towards Supply Chain Management	Cadeia de Suprimentos Têxtil; Tecnologia Blockchain; Inovação; Sustentabilidade; Revolução Digital.
Bai et al.	2021	Periódico	Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective	Tecnologias da Indústria 4.0; Manufatura aditiva; Inteligência artificial; Big data e analytics; Blockchain; nuvem; IoT e simulação; Tecnologias e sustentabilidade.
Ahmad et al.	2020	Periódico	Towards sustainable textile and apparel industry: Exploring the role of business intelligence systems in the era of industry 4.0	Indústria 4.0; Uso das ferramentas da indústria 4.0; Indústria têxtil e vestuário; Sustentabilidade
Marques et al.	2020	Periódico	Homo Sustentabilis: circular economy and new business models in fashion industry	Economia circular; Indústria da moda; Indústria têxtil e da moda; Sustentabilidade
Gallico	2020	Anais Congresso	Design point. an integrated E-learning & industry 4.0 fashion platform from Italy to Zambia	Design point da moda; Indústria da moda 4.0; Sustentabilidade; Multiculturalismo
Trivellin et al.	2020	Anais Congresso	Textile Historical Sustainability and Innovative Textile Products	Produtos têxteis; Sustentabilidade; Indústria 4.0
Weber et al.	2019	Periódico	ITMA 2019 - Trends and novelties in warp-knitting	Indústria 4.0; Digitalização; Sustentabilidade; de Robótica e inteligência artificial; Transformação digital; Têxtil e vestuário.
Gravagnuolo et al.	2019	Periódico	Circular Economy Strategies in Eight Historic Port Cities: Criteria and Indicators Towards a Circular City Assessment Framework	Indústria têxtil; Economia circular; Indústria 4.0
Phuong et al.	2018	Anais Congresso	Sustainable value stream mapping and technologies of Industry 4.0 in manufacturing process reconfiguration: A case study in an apparel company	Manufatura enxuta; Sustentabilidade; Estudo de caso em indústria de vestuário; Radio frequência; Big Data
Fu et al.	2018	Periódico	Blockchain enhanced emission trading	Blockchain;

			framework in fashion apparel manufacturing industry	Fabricação têxtil; Sustentabilidade; Economia energética; Indústria 4.0
--	--	--	---	---

Para incrementar o estudo, foram analisados os trabalhos que receberam o maior número de citações, a fim de mostrar os impactos que estes documentos podem ter para a aplicabilidade da temática. O destaque foi para o artigo “Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective” publicado em 2020 na revista *International Journal of Production Economics*, cujo fator de impacto mais atual (referente a 2016) medido pelo índice SJR (SCImago Journal & Country Rank) é de 2,81, e mostra-se uma revista relevante para a área do estudo. Outro trabalho bastante citado foi o “Blockchain enhanced emission trading framework in fashion apparel manufacturing industry”, publicado na revista *Sustainability (Switzerland)* fator de impacto SJR 0,66, que apesar de a revista não apresentar um alto fator de impacto, ela é bastante importante na aplicação de práticas sustentáveis voltadas para as áreas das engenharias e ciências sociais. Abaixo, no quadro 2 estão listados alguns trabalhos mais citados do portfólio da pesquisa.

Quadro 2: Trabalhos mais citados na pesquisa.

Ano	Autor(es)	Título	Revista	Citações	Fator de impacto (SJR)
2020	Bai et al.	Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective	International Journal of Production Economics	150	2,81
2018	Fu et al.	Blockchain enhanced emission trading framework in fashion apparel manufacturing industry	Sustainability (Switzerland)	90	0,66
2020	Ahmad et al.	Towards sustainable textile and apparel industry: Exploring the role of business intelligence systems in the era of industry 4.0	Sustainability (Switzerland)	26	0,66
2021	Fallahpour et al.	An integrated approach for a sustainable supplier selection based on Industry 4.0 concept	Environmental Science and Pollution Research	11	0,83
2020	Marques et al.	Homo Sustentabilis: circular economy and new business models in fashion industry	SN Applied Sciences	06	0,34

A partir dessas análises, foi possível explicar os principais trabalhos relacionados à sustentabilidade, indústria 4.0 e setor têxtil bem como suas aplicabilidades no mundo, para assim possibilitar que pesquisadores verifiquem as principais tendências de aplicação prática e assim utilizem como base literária esses achados. Vermulm (2018), afirma que se torna estratégico para a indústria brasileira acelerar o ritmo de difusão das tecnologias da Indústria 4.0 assim como intensificar as inovações aproveitando a nova onda tecnológica.

Todos os trabalhos foram lidos e, após a análise de conteúdo, foi possível identificar três categorias principais que geram impactos provocados pela Indústria 4.0 na indústria têxtil relacionando com práticas sustentáveis (quadro 3).

Nota-se que alguns estudos, dado seu escopo e abrangência, abordam mais de um impacto, enquanto outros centralizam sua pesquisa em uma questão mais particular. É importante salientar que todos os impactos são inter-relacionados e interdependentes, apesar dos trabalhos serem distintos. A partir dessas análises, foi possível identificar e categorizar 3 conjuntos de impactos, levando a crer que a I4.0 tem potencial para provocar drásticas transformações na natureza do trabalho industrial e caminhar em direção à construção de uma nova forma de organização do trabalho de forma tecnológica e sustentável.

Quadro 3: Trabalhos com impactos e tendências da Indústria 4.0 na indústria têxtil e sustentabilidade.

Fonte/Autores	Categorias de Impactos na I4.0	Tendências
Happonen et al. (2022); Ghoreishi et al. (2022); Sarpong et al. (2022); Fallahpour et al. (2021); Marques et al. (2020); Gallico (2020); Gravagnuolo et al. (2019).	Circularidade e economia circular; Digitalização; Manejo de resíduos têxtil e Fornecedores sustentáveis; Produção sustentável;	1
Kusi-Sarpong et al. (2022); Happonen et al. (2022); Ghoreishi et al. (2022); Tebaldi et al. (2021); Fallahpour et al. (2021); Abreu et al. (2021); Weber et al. (2019); Phuong et al. (2018); Fu et al. (2018).	Blockchain; Cadeia de suprimentos; Identificação por radiofrequência (sensor RFID).	2
Ghoreishi et al. (2022); Pirola et al. (2021); Bai et al. (2021); Gallico (2020); Weber et al. (2019); Phuong et al. (2018).	Ferramentas da Indústria 4.0 aplicadas na indústria têxtil.	3

Dentre os principais impactos relacionados com as tendências 1 observadas no quadro 3, é importante destacar sobre a economia circular e a digitalização abordados pelos autores Happonen et al. (2022), Ghoreishi et al. (2022), Marques et al. (2020) e Gravagnuolo et al. (2019) os quais mencionam que essa tendência vem inferindo positivamente na indústria têxtil.

Segundo o artigo de Happonen et al. (2022) fala que em relação aos aspectos de sustentabilidade a economia circular (EC) tem feito parte dos debates globais na última década, especialmente como solução para os problemas das mudanças climáticas. Os principais objetivos da CE são fechar os ciclos de materiais, reduzindo as emissões de carbono e limitando o uso de recursos não renováveis, em vez do modelo linear “pegar-fazer-descartar”. Além disso, a CE contribuiu significativamente no desenvolvimento industrial geral por meio de um sistema propositalmente projetado e interconectado para modelos de malha fechada. É sabido que grandes quantidades de água, energia e produtos químicos são consumidos na fabricação de têxteis, especialmente porque grandes volumes de recursos não renováveis são extraídos para pequenas quantidades de produção de tecidos. Se novas ferramentas de design aprimoradas pela digitalização e designs ecologicamente corretos para os processos da indústria têxtil fossem aplicados, a indústria da moda daria uma grande virada em direção a novos modelos de negócios com economia sustentável em mente (HAPPONEN et al., 2022).

Ghoreishi et al. (2022) abordam no seu trabalho que as tecnologias da indústria 4.0 e as inovações digitais fornecem um impacto positivo na transição da CE, por meio da análise de dados do ciclo de vida dos produtos. Desta forma, a digitalização surge com uma proposta de ajudar no rastreamento e rastreamento de produtos por meio da transferência de dados em tempo real sobre a localização, condição, disponibilidade etc. dos produtos, o que pode aumentar a extensão da vida útil do produto por meio de sensores e plataformas digitais (GHOREISHI et al., 2022)

Sobre as tendências 2 os trabalhos de Sarpong et al. (2022), Abreu et al. (2021) e Fu et al. (2018) vem falando sobre a utilização de *blockchain* e como esta influencia na produção sustentável. Sarpong et al. (2022) aborda em seu artigo que as tecnologias *blockchain* podem melhorar a rastreabilidade e melhorar as integrações, além de aperfeiçoar a sustentabilidade da produção. Resumidamente, essa literatura reforça que a tecnologia *blockchain* impacta positivamente o capital intelectual na produção sustentável (SARPONG et al., 2022). Ainda sobre o trabalho citado acima, eles mencionam que uma cadeia de suprimentos

efetivamente mapeada ajuda uma empresa a ampliar seus processos de negócios, além de levar ao aprimoramento de tais processos para torná-los mais sustentáveis. Desta forma, esse mapeamento ajuda na identificação de desperdícios nos processos da cadeia de suprimentos e a reduzir o custo de produção de forma sustentável (SARPONG *et al.*, 2022).

No estudo de Abreu *et al.* (2021) a tecnologia *blockchain* permite otimizar os processos de gestão da cadeia de abastecimento, ao mesmo tempo que assegura o controle sobre ela. Adaptação, inovação e sustentabilidade são os pilares de uma empresa em um período de constante transformação digital. Ainda segundo os autores, adotar *blockchain* significa controlar a transparência entre os fornecedores e clientes, a veracidade do ciclo de vida de um produto, certificar a sustentabilidade e otimizar os processos da cadeia de suprimentos por meio da automação. Abreu *et al.* (2021) ainda abordam sobre as vantagens e os desafios da tecnologia *blockchain* na gestão de cadeia de suprimentos no setor têxtil. Dentre as maiores vantagens da implementação desta tecnologia na cadeia de abastecimento do setor têxtil, pode-se citar: a transparência, o rastreamento, a sustentabilidade, o combate ao trabalho escravo e a proteção da marca. Sendo assim, a tecnologia *blockchain* pode ser aplicada com sucesso na área de cadeia de suprimentos na indústria têxtil para manter os registros atualizados e acompanhar todas as etapas do histórico de uma peça, desde o fornecedor ao consumidor final. Outro ponto importante destacar é que essa tecnologia permite que o processo de gestão do ciclo do produto seja mais controlado e preciso, além de permitir otimizar custos da cadeia, garantir qualidade da peça e aumentar o lucro da empresa (ABREU *et al.*, 2021; GUO *et al.*, 2020).

Já no trabalho de Fu *et al.* (2018) aborda que o *blockchain* fornece características de descentralização, transparência, automação e imutabilidade na estrutura de emissão proposta. Essa estrutura de emissão de ciclo de vida de carbono na fabricação de roupas, suportada por *blockchain*, permite soluções de transmissão de energia considerando os benefícios ambientais. Essa tecnologia está alcançando vários mercados em todo o mundo, com o objetivo de criar uma alternativa de energia autônoma descentralizada através da utilização de energia solar fotovoltaica sendo uma energia limpa (Fu *et al.*, 2018).

Por fim, como tendência 3 pode-se abordar os trabalhos que falam sobre algumas principais ferramentas da I4.0 aplicadas no setor têxtil de forma sustentável. Dentre estes autores, destaca-se o trabalho de Pirola *et al.* (2021) que menciona sobre a aplicação de ferramentas, tais como: internet das coisas (IoT), Big data, sistema físico cibernético (CPS), dando destaque à “simulação” que consiste na representação do processo físico e dos produtos em dimensão virtual, permitindo a economia de energia e custos, otimização em tempo real, configuração dinâmica e autônoma e implantação e integração de engenharia de ponta a ponta. Essas ferramentas estão se tornando cada vez mais importantes no setor têxtil e da moda, uma vez que visa à questão da sustentabilidade ambiental através, por exemplo, do gerenciamento do consumo de água, energia e produtos químicos. Portanto, por esse motivo, o paradigma da Indústria 4.0 pode apoiar os negócios têxteis de forma sustentável. Além disso, a simulação permite fabricar produtos físicos em dimensão virtual e economizar custos e energia. Ela ajuda a controlar várias funções e processos em futuras fabricas inteligentes, que por sua vez, leva à otimização da configuração em tempo real, dependendo do ambiente.

Outro trabalho impactante foi dos autores Ghoreishi et al. (2022) que fala sobre a relevância da utilização da IoT em aumentar as oportunidades de circulação têxtil em direção a um ecossistema mais eficaz e maximizando o valor dos produtos. A utilização de dados para rastrear o produto traz a oportunidade de gerenciar o ciclo de vida do produto e aprimorar os processos de manutenção preditiva, reutilização e reciclagem. Mover-se para as “fábrica inteligente” através da implementação de tecnologias inovadoras cria benefícios sustentáveis significativos e maior eficiência em todo o mundo (KORTELAINEN et al., 2016). Outra prática também abordada no mesmo artigo foi a utilização de etiquetas RFID que podem conter todas as informações relativas aos materiais e produtos químicos nos produtos, ajudando assim a circulação no ecossistema, além de proporcionar rastreamento da disponibilidade do produto nas lojas e na análise do comportamento e das demandas dos clientes. Sendo assim, como há enormes dados a serem coletados na avaliação do ciclo de vida dos produtos, as tecnologias digitais podem aumentar a transparência, a disponibilidade e a confiabilidade dos dados (BERTOLA et al., 2018).

Contudo, esses achados permitiram fazer um levantamento acerca das principais tendências e os impactos das ferramentas da I4.0 aplicadas no setor têxtil visando a sustentabilidade. Desta forma, podemos fornecer subsídios de aprimoramento de novas abordagens sustentáveis e tecnológicas aplicadas no setor da moda.

CONCLUSÃO

Neste artigo, focamos nas tendências e vantagens da integração de tecnologias digitais de forma sustentável aplicadas nas indústrias têxteis. Para tanto, foi realizado uma revisão sistemática através do levantamento dos principais trabalhos que correlacionaram as temáticas sobre ferramentas da indústria 4.0, sustentabilidade no setor da moda. As principais contribuições desta pesquisa ocorreram no sentido de apresentar esses impactos; de elencar as principais competências sustentáveis exigidas pelo mercado com a ascensão do modelo 4.0 e de fomentar uma discussão sobre um relevante tema de pesquisa que ainda não recebe a devida atenção dos pesquisadores no Brasil.

O estudo comprovou que há carência de literatura e de estudos científicos conceituais e empíricos sobre essa área específica. Há grande interesse e oportunidades para estudos qualitativos e quantitativos neste campo para analisar como as empresas de vestuário identificam as tendências inovadoras e como as soluções digitais podem ajudá-las a alcançar seus objetivos sustentáveis.

Portanto, mais pesquisas neste campo são altamente recomendadas. Como a disponibilidade dos dados desempenham um papel importante na implementação de tecnologias digitais, sugere-se mais pesquisas sobre os desafios e barreiras que as indústrias têxteis enfrentam na integração da Indústria 4.0 de forma sustentável e segura.

REFERÊNCIAS

ABREU, A.; AFONSO, A. P.; FREITAS, J.. Blockchain Towards Supply Chain Management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOURISM, TECHNOLOGY AND SYSTEMS.

Proceedings. Singapore: Springer, 2020. p. 396-407. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-4256-9_36

- AHMAD, S.; MISKON, S.; ALABDAN, R.; TLILI, I.. Towards sustainable textile and apparel industry: Exploring the role of business intelligence systems in the era of industry 4.0. *Sustainability*, v.12, n.7, p.2632, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072632>
- BAI, C.; DALLASEGA, P.; ORZES, G.; SARKIS, J.. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, v.229, p.1-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- BERTOLA, P.; TEUNISSEN, J.. Fashion 4.0: innovating fashion industry through digital transformation. *Research Journal of Textile and Apparel*, v.22, n.4, p.352-369, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/RJTA-03-2018-0023>
- FALLAHPOUR, A.; WONG, K. Y.; RAJOO, S.; FATHOLLAHI-FARD, A. M.; ANTUCHEVICIENE, J.; NAYERI, S.. An integrated approach for a sustainable supplier selection based on Industry 4.0 concept. *Environmental science and pollution research*, p.1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17445-y>
- FBIT. Feira Brasileira de Indústria Têxtil. **Indústria 4.0**: quais as suas expectativas para o setor têxtil?. 2019.
- FIERJ. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Indústria 4.0**: Caderno Senai de Inovação. Rio de Janeiro FIERJ, 2016.
- FU, B.; SHU, Z.; LIU, X.. Blockchain enhanced emission trading framework in fashion apparel manufacturing industry. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 1105, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10041105>
- GALLICO, D.. Design point: an integrated e-learning & industry 4.0 fashion platform from Italy to Zambia. In: International Conference ICT, 13. *Proceedings*. 2020. p.231-235
- GHOREISHI, M.; HAPPONEN, A.. The case of fabric and textile industry: The emerging role of digitalization, internet-of-Things and industry 4.0 for circularity. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY, 16. *Proceedings*. Singapore: Springer, 2021. p.189-200. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-1781-2_18
- GRAVAGNUOLO, A.; ANGRISANO, M. R.; FUSCO GIRARD, L.. Circular economy strategies in eight historic port cities: Criteria and indicators towards a circular city assessment framework. *Sustainability*, v.11, n.13, p.3512, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11133512>
- GUO, X.; CHENG, L.; LIU, J.. Green supply chain contracts with eco-labels issued by the sales platform: profitability and environmental implications. *International Journal of Production Research*, v.58, n.5, p.1485-1504, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1658911>
- HAPPONEN, A.; GHOREISHI, M.. A mapping study of the current literature on digitalization and industry 4.0 technologies utilization for sustainability and circular economy in textile industries. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY. *Proceedings*. Singapore: Springer, 2021. p.697-711. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-2102-4_63
- INDRAYANI, L.; TRIWISWARA, M.. Implementation green industry standard at textile industry and textile product. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. *Proceedings*. IOP Publishing, 2020. p.12-49
- KITCHENHAM, B.. *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. 2007.
- KORTELAINEN, H.; HAPPONEN, A.; KINNUNEN, S.-K.. Fleet service generation: hallenges in corporate asset management. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING ASSET MANAGEMENT, 10. *Proceedings*. Springer, 2016. p.373-380. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27064-7_35
- KUSI-SARPONG, S.. Intellectual capital, blockchain-driven supply chain and sustainable production: role of supply chain mapping. *Technological Forecasting and Social Change*, v.175, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121331>
- KÜSTERS, D.; PRAB, N.; GLOY, Y.-S.. Textile learning factory 4.0: preparing germany's textile industry for the digital future. *Procedia Manufacturing*, v.9, p.214-221, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.035>
- MARQUES, A. D.; MARQUES, A.; FERREIRA, F.. Homo sustentabilis: circular economy and new business models in fashion industry. *SN Applied Sciences*, v.2, p.1-5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2094-8>
- MUBARIK, M. S.. Intellectual capital and supply chain resilience. *Journal of Intellectual Capital*, v.23, n.3, p.713-738, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/JIC-06-2020-0206>
- MUBARIK, M. S.; NAGHAVI, N.. Human capital, green energy, and technological innovations: firm-level analysis. In: *Econometrics of Green Energy Handbook: Economic and Technological Development*. 2020. p.151-164,
- PARK, S.; HUH, J.-H.. Effect of cooperation on manufacturing it project development and test bed for successful industry 4.0 project: Safety management for security. *Processes*, v.6, n.7, p.88, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr6070088>
- PIROLA, F.; ZAMBETTI, M.; CIMINI, C.. Applying simulation for sustainable production scheduling: a case study in the textile industry. *IFAC-PapersOnLine*, v.54, n.1, p.373-378, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.041>
- PHUONG, N. A.; GUIDAT, T.. Sustainable value stream mapping and technologies of Industry 4.0 in manufacturing process reconfiguration: A case study in an apparel company. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE OPERATIONS AND LOGISTICS, AND INFORMATICS. *Proceedings*. IEEE, 2018. p.85-90. DOI: <http://doi.org/10.1109/SOLI.2018.8476750>
- SPROVIERI, J.. **Industry 4.0 is well underway**. 2019
- TEBALDI, L.; CASELLA, G.; BOTTANI, E.. Fashion supply chain: a literature review to define the trends of research (2012-2019). In: SUMMER SCHOOL "FRANCESCO TURCO": INDUSTRIAL SYSTEMS ENGINEERING BERGAMO, 26.

Proceedings. 2021.

TESSARINI, G.; SALTORATO, P.. Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Produção Online**, v.18, n.2, p.743-769, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2967>

TRIVELLIN, E.. Textile Historical Sustainability and Innovative Textile Products. In: ADVANCES IN INDUSTRIAL DESIGN: OF THE AHFE 2020 VIRTUAL CONFERENCES ON DESIGN FOR INCLUSION, AFFECTIVE AND PLEASURABLE DESIGN, INTERDISCIPLINARY PRACTICE IN INDUSTRIAL DESIGN, KANSEI ENGINEERING, AND HUMAN FACTORS FOR APPAREL AND TEXTILE ENGINEERING. **Proceedings**. Springer International Publishing, 2020. p.862-869. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51194-4_111

VERMULM, R.. **Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil**. 2018.

VRCHOTA, J.. Sustainability outcomes of green processes in relation to industry 4.0 in manufacturing: systematic review. **Sustainability**, v.12, n.15, p.59-68, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12155968>

WAHED, W. J. E.. Please stay, don't leave!": A systematic literature review of safeguarding intangible cultural heritage in the fourth industrial revolution. **Pertanika J. Soc. Sci. Humanit**, v.29, p.1723-1744, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47836/pjssh.29.3.14>

WEBER, M. O.; MUTSCHLER, T.; BAHR, L. M. ITMA 2019-Trends und Neuheiten: Kettenwirkerei. **Melliand Textilberichte**, v.4, p.237-240, 2019.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.