



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Ana Maria Barbosa Dias

**Estudo comparativo da adoção das tecnologias da indústria 4.0 entre o
setor têxtil e o automotivo**

Blumenau/SC

2023

Ana Maria Barbosa Dias

**Estudo comparativo da adoção das tecnologias da indústria 4.0 entre o
setor têxtil e o automotivo**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil – PGETEX – da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Têxtil.

Orientador(a): Prof.(a) Fernanda Steffens, Dr.(a)
Coorientador(a): Prof.(a) Ana Julia Dal Forno, Dr.(a)

Blumenau/SC

2023

Ana Maria Barbosa Dias

**Estudo comparativo da adoção das tecnologias da indústria 4.0 entre o setor têxtil e o
automotivo**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 29 de setembro de
2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Fernanda Steffens, Dr.^a
Instituição PGETEX/UFSC

Prof.^a Morgana Carneiro de Andrade, Dr.^a
Instituição UFES

Prof.^a Aline Soares Pereira, Dr.^a
Instituição UFPEL

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof.^a Fernanda Steffens, Dr.^a
Orientador(a)

Blumenau/SC, 2023.

Dedico esse trabalho a mim mesma, por toda minha resiliência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, por permitir que o estudo fosse realizado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa durante todo o período de mestrado.

A Deus, por ter me sustentado ao longo desses dois anos e meio com o Seu amor e cuidado.

À minha orientadora, Prof.^a Dra. Fernanda Steffens. Sua força e conhecimento contribuíram imensamente para o meu crescimento. À minha coorientadora Prof.^a Dra. Ana Julia Dal Forno, com quem me identifiquei desde antes de conhecer pessoalmente e, após, a afinidade só aumentou.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, que demonstraram excelência ao se adaptarem com maestria a novas abordagens de ensino para proporcionar uma educação de alta qualidade. Merecem reconhecimento também por sua dedicação em manter os laços entre professor e aluno durante esse período desafiador da pandemia, o que conseguiram com êxito.

Aos meus colegas de mestrado pela parceria em cada momento.

Por fim, mas não menos importante, à minha família, que ganhou mais um membro durante esse mestrado, meu Paulinho, fazendo deste um período absolutamente especial e inesquecível! A minha pequena e preciosa rede de apoio, de perto – meu companheiro Paulo e meu filho do meio Vinícius – e os de longe (fisicamente) mas sempre perto do meu coração – meu pai Siqueira, meu irmão Siqueira Jr e minha irmã caçula Deyse: amo vocês! E um agradecimento muito especial ao anjo azul que é todo o combustível da minha vida, uma dádiva que Deus me confiou: Pedro Henrique. Por você e para você!

RESUMO

A indústria 4.0 tem trazido fortes transformações digitais a todos os setores industriais, incluindo a cadeia têxtil, que é considerada um segmento tradicional, e que ainda apresenta resistências para aplicar as tecnologias advindas dessa revolução. Neste sentido, o objetivo desta dissertação foi comparar a adoção das tecnologias da indústria 4.0 entre o setor têxtil e automotivo. A metodologia utilizada foi revisão sistemática de literatura que teve as etapas de: elaboração das questões de pesquisa; definição dos termos e estratégias de busca; eleição das bases referenciais; definição dos critérios de inclusão e exclusão e designação dos softwares a serem utilizados para triagem e análise bibliométrica. Inicialmente, encontrou-se 2.448 registros, dos quais, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, restaram 120 estudos. Destes, foram selecionados 34 documentos para compor esta revisão. A indústria têxtil, em nível mundial, tem se mostrado hesitante na implementação da transformação digital, tanto por falta de conhecimento a respeito dessa estratégia como pela carência de apoio de governantes e executivos, tomadores de decisão. Ainda assim há algumas tecnologias que vem sendo usadas por esse segmento, como manufatura aditiva, robótica avançada e gêmeo digital.

Palavras-chave: transformação digital; revisão sistemática; indústria têxtil.

ABSTRACT

Industry 4.0 has brought strong digital transformations to all industrial sectors, including the textile chain, which is considered a traditional segment, and which still presents resistance to applying the technologies arising from this revolution. In this sense, the objective of this dissertation was to compare the adoption of industry 4.0 technologies between the textile and automotive sectors. The methodology used was a systematic literature review that had the steps of elaboration of research questions; definition of search terms and strategies; election of reference bases; definition of inclusion and exclusion criteria and designation of software to be used for screening and bibliometric analysis. Initially, 2.448 records were found, of which, after applying the inclusion and exclusion criteria, 120 studies remained. Of these, 34 documents were selected to compose this review. The textile industry, worldwide, has been hesitant in implementing digital transformation, both due to a lack of knowledge regarding this strategy and a lack of support from government officials and executives, decision makers. Still, there are some technologies that have been used by this segment, such as additive manufacturing, advanced robotics and digital twin.

Keywords: digital transformation; systematic review; textile industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Complexidade da indústria têxtil e seus setores	21
Figura 2 – Estrutura da cadeia produtiva e de distribuição T&C	22
Figura 3 – Total de estudos recuperados	33
Figura 4 – Triagem da recuperação de informação	34
Figura 5 – Fluxograma PRISMA com a triagem dos estudos	35
Figura 6 – Estudos publicados entre 2015 e 2023 na base Scopus relacionando indústria Têxtil e a I4.0	36
Figura 7 – Principais áreas de estudos na base Scopus entre 2015 e 2023	37
Figura 8 – Produção científica por país na base Scopus (2018–2022)	37
Figura 9 – Principais áreas de estudos na base (Web of Science) 1945–2023	39
Figura 10 – Países com artigos indexados na base WoS 2018–2023	39
Figura 11 – Produção científica por país na base Scopus	41
Figura 12 – Quantitativo de estudos por categoria (Web of Science)	43
Figura 13 – Rede de termos a partir do VOSviewer para indústria têxtil	45
Figura 14 – Nuvem de palavras para a indústria Têxtil	46
Figura 15 – Palavras-chave para a indústria têxtil	47
Figura 16 – Redes bibliográficas de coocorrência de palavras-chave	48
Figura 17 – Rede bibliográfica de autores	49
Figura 18 – Nuvem de palavras da Indústria Automotiva	51
Figura 19 – Mapa de redes das palavras-chave	51
Figura 20 – Redes de coautoria para segmento automotivo	54
Figura 21 – Triagem de estudos no software Rayyan para a indústria têxtil	55
Figura 22 – Triagem de estudos no software no Rayyan para a indústria automotiva	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pilares tecnológicos da Indústria 4.0	25
Quadro 2 – Questões de pesquisa	28
Quadro 3 – Strings de consulta	28
Quadro 4 – Critérios de inclusão dos estudos	29
Quadro 5 – Strings finais de consulta para cada setor de acordo com a base	30
Quadro 6 – Mineração de palavras para a indústria têxtil	44
Quadro 7 – Clusters de autores setor têxtil	48
Quadro 8 – Clusters de Palavras-chave setor automotivo	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Importância do setor têxtil na economia brasileira	23
Tabela 2 – Estudos publicados entre 2013–2023 na base Scopus relacionando indústria têxtil e a I4.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
CETIQT	Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
I4.0	Indústria 4.0
IEMI	Inteligência de Mercado
IoT	<i>Internet of Things</i>
PME	Pequena e Média Empresa
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
T&C	Têxtil & Confecção
TD	Transformação Digital
TI	Tecnologia da Informação
WoS	Web of Science

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	MOTIVAÇÃO	18
1.2	OBJETIVOS	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	INDÚSTRIA TÊXTIL	20
2.2	INDÚSTRIA 4.0	24
2.3	INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	26
3	METODOLOGIA	28
3.1	QUESTÃO DE PESQUISA	28
3.2	TERMOS E ESTRATÉGIAS DE BUSCA	28
3.3	BASES DE DADOS	29
3.4	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	29
3.5	ESCOLHA DOS SOFTWARES	30
3.5.1	SOFTWARE RAYYAN	31
3.5.2	SOFTWARE VOSVIEWER	31
3.5.3	GERENCIADOR BIBLIOGRÁFICO MENDELEY	32
3.5.4	FLUXOGRAMA PRISMA	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	PROCEDIMENTOS REFERENTES A RECUPERAÇÃO DA INFORMAÇÃO	
	35	
4.1.1	BASE DE DADOS SCOPUS – INDÚSTRIA TÊXTIL	36
4.1.2	BASE DE DADOS WEB OF SCIENCE – INDÚSTRIA TÊXTIL	38
4.1.3	BASE DE DADOS SCOPUS – INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	40
4.1.4	BASE DE DADOS WEB OF SCIENCE – INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	42
4.2	MAPAS BIBLIOMÉTRICOS	43
4.2.1	COOCORRÊNCIA DE TERMOS PARA INDÚSTRIA TÊXTIL USANDO VOSVIEWER	43
4.2.2	COOCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE PARA INDÚSTRIA TÊXTIL USANDO VOSVIEWER	46
4.2.3	REDE DE COAUTORIA PARA INDÚSTRIA TÊXTIL USANDO VOSVIEWER	48
4.2.4	50	

COOCORRÊNCIA DE PALAVRAS–CHAVE PARA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA USANDO VOSVIEWER		
	50	
4.2.5	REDE DE COAUTORIA PARA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA USANDO VOSVIEWER	53
4.3	TRIAGEM NO SOFTWARE RAYYAN PARA A INDÚSTRIA TÊXTIL	55
4.4	TRIAGEM NO SOFTWARE RAYYAN PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	
	56	
CENÁRIO DAS APLICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS ADVINDAS DA CHAMADA		
QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NO SETOR TÊXTIL		
		57
USO DAS TECNOLOGIAS DA I4.0 NA INDÚSTRIA TÊXTIL EM COMPARAÇÃO COM		
A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA		
		57
PRINCIPAIS ÁREAS DE APLICAÇÃO AO LONGO DA CADEIA TÊXTIL		
		58
5	CONCLUSÃO	61
5.1	TRABALHOS FUTUROS	61

1 INTRODUÇÃO

Os negócios da indústria da moda vêm sendo transformados com a digitalização do setor manufatureiro, trazida pelo advento da Indústria 4.0 (I4.0), que é considerada a quarta revolução industrial (Wang; Ha-Brookshire, 2018). Após o desenvolvimento dessa revolução, novos sistemas têm sido planejados, introduzidos ou vem sendo realizadas tentativas de introduzi-los, mesmo nas mais tradicionais indústrias, incluindo o setor do vestuário (Yuan; Huh, 2018). Essa transição nas economias, e na sociedade como um todo tem sido vista como um modelo que estabelecerá novos meios de produção e modos de consumo, que modificarão os principais sistemas industriais (Bertola; Teunissen, 2018).

A I4.0 inclui tecnologias avançadas, como por exemplo a Internet das Coisas (IoT) e sistemas baseados em nuvem (*Cloud Systems*), e visa a integração do ser humano ao processo fabril, com o objetivo de obter melhorias contínuas ao longo de sua cadeia produtiva (Sharma *et al.*, 2021). Considerado como um dos principais elos dentro do segmento têxtil, o setor de moda se altera e se transforma rapidamente, fazendo com que marcas comerciais estejam sempre atentas aos desejos e opiniões de seus clientes. Nesse ambiente de negócios muito acirrado, o surgimento do paradigma da I4.0 e seu conceito de Transformação Digital (TD) trouxe um importante potencial para as empresas alcançarem, dentre outras coisas, considerável redução em seus custos operacionais (Ponis; Lada, 2021). O mesmo ocorre com a indústria têxtil.

A China lidera o *ranking* mundial de produção de têxteis, com um volume em torno de US\$ 421 bilhões, superando em mais de seis vezes o país segundo colocado, Índia, cujas exportações ultrapassaram os US\$ 67 bilhões, em 2018. O Brasil foi o décimo maior produtor mundial de têxteis, com produção ultrapassando a marca de US\$ 13,5 bilhões em 2017. Em paralelo, as exportações do país em 2020 foram na ordem de US\$ 3,8 bilhões, chegando a ser o 14º maior exportador (Júnior, 2021).

Em uma era de ambientes de negócios cada vez mais competitivos, a adoção de tecnologias vem se tornando cada vez mais importante não somente para reduzir custos, como também para melhorar a qualidade e pôr em prática uma fabricação mais sustentável (Hoque *et al.*, 2021). O uso eficiente das tecnologias tem o potencial de elevar os níveis de produção, com uma resposta rápida aos clientes finais, incluindo a customização em massa (Taifa; Lushaju, 2020).

Empresas que introduziram tecnologias advindas da TD, propostas pela estratégia I4.0, estão evoluindo em seus desempenhos, ainda que não as utilizem em todo o seu potencial (Lalic; Rakic; Marjanovic, 2019).

Segundo a Confederação Nacional das Indústrias (CNI), empresas que não se alinharem a essa nova realidade poderão perder seus espaços de mercado e, até mesmo, deixar de existir (CNI, 2020). Uma alternativa para melhorar a competitividade da indústria têxtil brasileira diante do cenário mundial poderia ser a adoção das tecnologias emergentes provenientes da TD ao longo de sua cadeia produtiva. De acordo com um estudo realizado pela CNI, há uma grande diferenciação entre as empresas que já adotam alguma tecnologia da I4.0 e as que ainda não iniciaram esse processo, o que denota um mau aproveitamento dessas tecnologias (CNI, 2020).

De acordo com o Brasil Têxtil 2022 – Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira – produzido e editado anualmente pela empresa IEMI Inteligência de Mercado, com apoio institucional da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) e do Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (CETIQT), o valor de produção da cadeia têxtil e de confecção no Brasil, em 2021, foi da ordem de R\$ 190 bilhões e há mais de 22,5 mil unidades produtivas no Brasil, responsáveis por mais de 1,34 milhão das vagas de empregos. Ainda segundo esse relatório, o volume de exportações somou o montante de US\$ 4,5 bilhões (Prado, 2022).

Ao longo dos anos de 2014 e 2015 o Comitê Superior da Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira coordenou uma série de seminários e estudos no sentido de selecionar temas e futuras orientações de pesquisa, que deram origem, em 2016, ao Projeto Visão 2030. O objetivo é determinar, dentre outras coisas, objetivos e diretrizes para as aplicações das tecnologias da I4.0 no setor têxtil, estabelecendo-os em seis dimensões (talentos; tecnologia; mercado; investimentos; infraestrutura física; e infraestrutura político-institucional), o que denota a preocupação do setor em digitalizar seus processos (Bruno, 2017).

Diante do exposto, uma vez que a aplicação das tecnologias da I4.0 tem se demonstrado um fator impactante, de modo positivo, nos processos ao longo da cadeia têxtil, o objetivo da presente dissertação é identificar, através de uma revisão sistemática da literatura, a evolução/ implementação das tecnologias da indústria 4.0 no setor têxtil, apontando tendências e lacunas, além de apresentar um comparativo com a indústria automotiva, um importante *benchmark* na aplicação da quarta revolução industrial em seus processos.

1.1 MOTIVAÇÃO

Com grande importância nas revoluções industriais, o setor têxtil foi propulsor de importantes invenções durante a primeira revolução, que ocorreu no período de 1760 a 1840, além de ser uma das principais indústrias para as economias em desenvolvimento (Majumdar; Garg; Jain, 2021). O segmento de vestuário é caracterizado como uma indústria altamente competitiva e, pressionada por fatores como qualidade, diversidade e redução de custos, acabou por desenvolver o chamado *fast fashion*, ou moda rápida, que possibilita a oferta de produtos numa frequência maior (Bruno, 2017).

Para alcançar esse nível de excelência nos processos ao longo da cadeia têxtil entende-se como necessária a adoção de meios produtivos mais eficientes e modernos, integrando tecnologias avançadas para produção, gerenciamento e processos operacionais (Stanojeska, 2022). Muitas pesquisas têm demonstrado os resultados positivos na sustentabilidade econômica de muitos negócios de manufatura após a implementação da I4.0, com benefícios se estendendo para os níveis ambiental e social (Stulga et al., 2022).

Um exemplo de indústria que vem aplicando as tecnologias digitais em maior variedade, segundo a CNI (2022), é o setor automotivo, onde 35% das companhias utilizam 7 (sete) ou mais tecnologias digitais (CNI, 2022). Estudos observaram vantagens para esse segmento, como redução de custos e tempo de produção, além de aumento no volume produzido (Pais; Passos, 2023). Com esse protagonismo evidenciado, esse setor servirá como referência no sentido de estabelecer um paralelo com a adoção de tecnologias digitais por parte do setor têxtil.

Diante do exposto, entende-se como necessário um maior conhecimento, e até convencimento, das empresas do segmento têxtil, para a aplicação das tecnologias da I4.0 no sentido de ter maior competitividade e destaque no cenário mundial.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral foi comparar o nível de adoção das tecnologias da indústria 4.0 no setor têxtil e automotivo, através de uma comparação com o segmento automotivo. Para isso, os objetivos específicos foram:

- Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e uma análise bibliométrica nas áreas têxtil e automotiva;
- Descrever os principais setores que aplicam as tecnologias emergentes ao longo da cadeia têxtil;
- Comparar o grau de adoção das tecnologias do setor têxtil com o automotivo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentada uma revisão de literatura, abrangendo as principais características da indústria Têxtil e de Confecção (T&C), da indústria automotiva e da quarta revolução industrial, além de tratar acerca da revisão sistemática da literatura (RSL). Com o objetivo de estabelecer um paralelo com outro segmento industrial e ter uma visão primária de como se encontra o nível de produção de pesquisas sobre TD na indústria têxtil, buscou-se fazer uma comparação entre a indústria têxtil e a indústria automotiva.

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

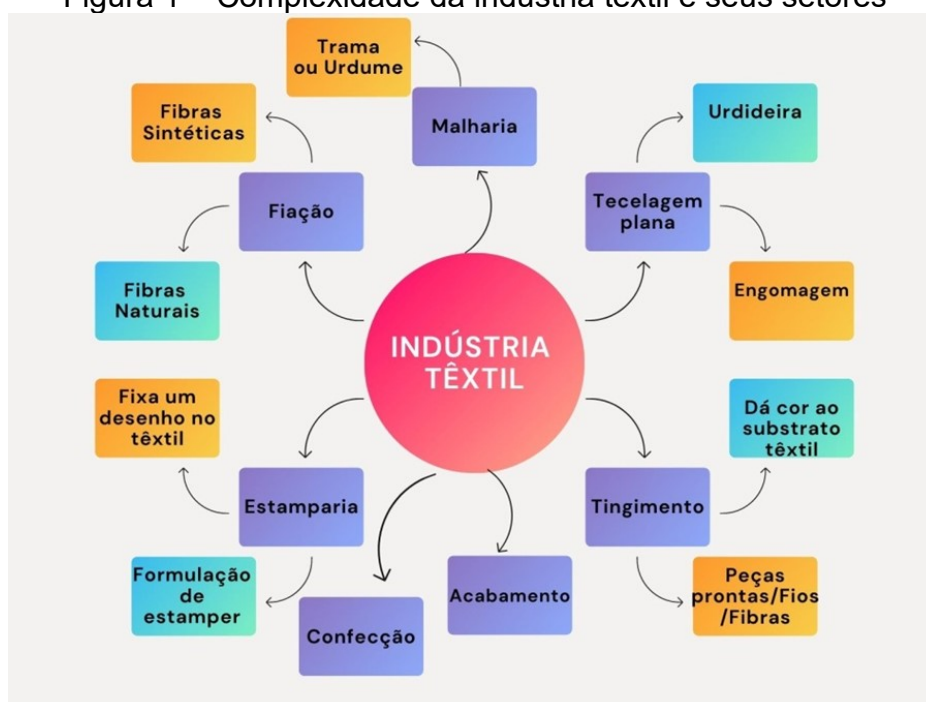
A indústria têxtil e de vestuário figura entre os setores mais altamente competitivos globalmente e, atualmente as empresas desse ramo enfrentam uma crescente pressão para incorporar tecnologias avançadas, à luz dos princípios da Indústria 4.0 (Ahmad *et al.*, 2021).

No Brasil, a indústria têxtil também ocupa posição de destaque na economia, sendo um dos principais contribuintes para o crescimento econômico do país, proporcionando oportunidades de emprego e impulsionando as receitas de exportação (Prado, 2021).

A manufatura têxtil destaca-se pela variedade de setores e suas ramificações, como representado na Figura 1, o que demonstra a complexidade desta indústria (Maestri; Oliveira; Steffens, 2018).

Conseqüentemente, esta manufatura envolve equipamentos e processos variados e depende fortemente de tecnologias de produção e deve considerar variáveis como insumos e o próprio layout dos equipamentos para obter resultados satisfatórios (Chang; Lee; Hung, 2021).

Figura 1 – Complexidade da indústria têxtil e seus setores



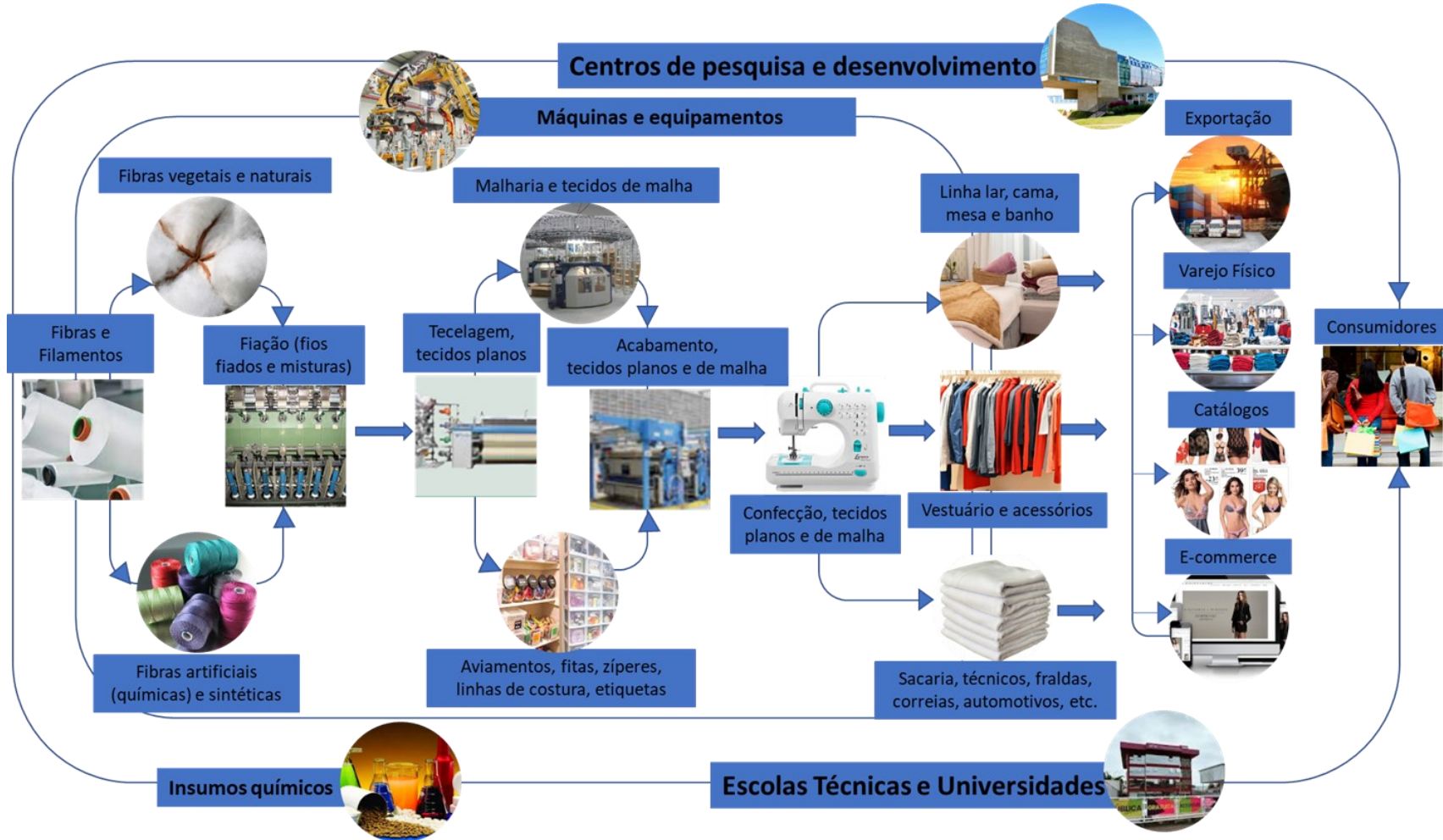
Fonte: Adaptado de Maestri, Oliveira e Steffens, 2018

Segundo a ABIT, (2015) o mercado têxtil e de confecção mundial é muito dinâmico, realizando lançamentos constantes de produtos e serviços. Ademais, a história da produção têxtil está intrinsecamente relacionada à origem da humanidade (Duarte; Sanches; Dedini, 2018).

Apesar das vantagens competitivas que as tecnologias da I4.0 podem trazer para a indústria têxtil, como a personalização em massa, os setores que compreendem esta área ainda apresentam um estágio inicial de transformação digital, com foco apenas em automação e controle de processos (Dal Forno *et al.*, 2023).

Com uma grande estrutura de cadeia produtiva e de distribuição, como pode-se ver na Figura 2, o segmento T&C pode se beneficiar significativamente com a aplicação bem conduzida das tecnologias emergentes da quarta revolução industrial ao longo de seus processos, uma vez que pode otimizar entregas e melhorar seus resultados.

Figura 2 – Estrutura da cadeia produtiva e de distribuição T&C



Fonte: A autora (2023)

O Brasil, além de ser um dos grandes produtores, é um dos maiores consumidores mundiais de produtos têxteis, no entanto possui um comércio internacional tímido, o que significa que produz o suficiente para atender o mercado interno e exporta e importa pouco (Prado, 2021).

Segundo o Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira de 2022, produzido pelo IEMI, a indústria têxtil brasileira, em 2021, registrou uma produção de aproximadamente R\$ 190,3 bilhões, o que representou 6,0% do valor total da produção na indústria de transformação do país. É importante ressaltar que esse cálculo exclui as indústrias de extração mineral e a atividade de construção civil. Esse número é significativo, considerando a ampla gama de produtos fabricados internamente pela indústria de transformação, como veículos e eletrodomésticos, que possuem alto valor agregado.

Ainda segundo esse mesmo relatório, a cadeia têxtil foi responsável pela geração de aproximadamente 1,3 milhão de empregos em 2021. Esse número equivale a 19,5% do total de trabalhadores empregados na produção industrial no mesmo período. Esses dados evidenciam a relevância do setor têxtil para a economia nacional, destacando-se pelo número de empregos na indústria de transformação do país.

Os dados da Tabela 1 exibem os valores produzidos pelo setor e o quantitativo de pessoas empregadas, além dos percentuais referentes à participação de mercado (*Market share*) da indústria têxtil dentro do cenário da indústria nacional. O item fibras e filamentos refere-se apenas a quantidade de indústrias.

Tabela 1 – Importância do setor têxtil na economia brasileira

Valor da produção 2021 (R\$ bilhões)		Pessoal ocupado 2021 (1.000 empregados)	
Fibras e filamentos	4,0	Fibras e filamentos	4,8
Têxteis básicos	64,5	Têxteis básicos	245,6
Confeccionados	183,1	Confeccionados	1.090,7
Total do setor	190,3	Total do setor	1.341
Indústria de transformação	3.185,4	Indústria de transformação	6.874
Market share	6%	Market share	19,5%

Fonte: Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira (2022)

2.2 INDÚSTRIA 4.0

O conceito mais aceito para definir Indústria 4.0 é o de “uma iniciativa estratégica do governo da Alemanha para estabelecer as políticas industriais do país”, e nasceu em 2010 – no início da segunda fase do projeto *The High-Tech Strategy 2020 for Germany*. O objetivo era ampliar, por meio de soluções tecnológicas, a presença e competitividade da manufatura alemã no cenário mundial (KPMG consultoria, 2022). A partir daí foi estabelecida uma parceria denominada The Industry-Science Research Alliance, que contou com a participação de representantes da indústria local e da Academia Nacional de Ciências e Engenharia (ACATECH). Em janeiro de 2011, esse grupo de trabalho propôs o tema “Indústria 4.0” durante a feira de Hannover e, em outubro do ano seguinte, apresentou ao governo da Alemanha um relatório intitulado de “Recomendações para a implementação da iniciativa estratégica INDÚSTRIA 4.0” (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013) junto com recomendações para a implementação do conceito I4.0 nas empresas alemãs.

Esse tema se expandiu para outros países, como os Estados Unidos da América, onde é tratado desde então como a Quarta Revolução Industrial ou Smart Manufacturing e, em linhas gerais, trata da fusão entre o ambiente físico e o digital. Há iniciativas ainda como a do governo da Malásia, chamado de Política Nacional da Indústria 4.0 (*Industry4WRD*), que é uma ação empreendida pelo Ministério do Comércio e Indústria Internacional “para transformar a indústria manufatureira da Malásia e seus serviços relacionados para serem mais inteligentes, sistemáticos e resilientes” (*Ministry Of International Trade And Industry – MITI, 2018*).

A quarta revolução industrial engloba as tecnologias de inteligência e da informação, consideradas disruptivas, e que estão permitindo níveis continuamente mais elevados de produção, promovendo uma verdadeira transformação digital (TD) (Bai *et al.*, 2020). Embora não haja um consenso sobre o conceito de I4.0, uma das definições existentes preconiza que a TD é um processo em que as tecnologias promovem revoluções, desencadeando respostas estratégicas de organizações que buscam alterar seus caminhos de criação de valor (Ponis; Lada, 2021).

De acordo com Ahmad *et al.*, (2021), a I4.0 possui como característica de produção o uso de sistemas ciberfísicos, ou em inglês *cyber-physical systems (CPS)*, cujas principais funções são atender aos desafios de uma produção dinâmica. Ainda segundo os autores, tais sistemas são baseados em tecnologias-chave, a citar: Identificação por radiofrequência (*Radio-Frequency Identification - RFID*); Big Data;

Computação em nuvem (*Cloud*); e Internet das Coisas, associadas a outras tecnologias, como manufatura aditiva, realidade aumentada e robótica colaborativa, dando origem às chamadas fábricas inteligentes, que podem dar origem a produtos inteligentes.

Segundo Simonis; Gloy; Gries, (2016) os CPS promovem a fusão de objetos reais (físicos) com o processamento de informações (virtuais), oferecendo um cruzamento de recursos para alcançar uma produção eficiente e altamente flexível.

Essas tecnologias formam a base para a automação, a análise de dados em tempo real, a conectividade de dispositivos e a melhoria da eficiência operacional. Possuem caráter interdependente e, quando integradas de maneira eficaz, possibilitam a transformação digital completa nas indústrias.

Desde então, as indústrias vêm operando em um ambiente cada vez mais competitivo e necessitam, portanto, inovar constantemente para alcançar uma melhor competitividade, através da qualidade de seus produtos (Bonnard *et al.*, 2021). De acordo com Ku, Chien e Ma, (2020), a indústria têxtil está em uma busca acelerada para atender demandas como customização em massa e fabricação de pequenos lotes, além de buscar a adoção de tecnologias como a realidade aumentada para, por exemplo, um operador ter suporte ao configurar uma máquina de malharia por ocasião da troca de produto (Simonis; Gloy; Gries, 2016).

Nesse sentido, os pilares tecnológicos da indústria 4.0, ilustradas no Quadro 1, quando bem aplicadas, podem trazer importantes vantagens competitivas para a indústria T&C.

Quadro 1 – Pilares tecnológicos da Indústria 4.0

Tecnologia	Definição
Manufatura aditiva (impressão 3D)	É uma tecnologia de fabricação que cria objetos tridimensionais (3D) sólidos usando uma série de estruturas de desenvolvimento aditivas ou em camadas
Realidade aumentada/ <i>Augmented reality</i>	É um tipo de ambiente de exibição interativo, baseado na realidade, que usa recursos de exibição, som e outros efeitos, gerados por computador, para aprimorar a experiência do mundo real
Robôs autônomos (Robótica)	São usados para replicar as ações humanas durante o processo de fabricação
<i>Big data & analytics</i>	Referem-se à estratégia de analisar grandes volumes de dados que são usados quando a mineração de dados tradicional e as técnicas de manipulação não podem revelar os <i>insights</i> e o significado dos dados subjacentes

Tecnologia	Definição
<i>Cloud Systems/</i> Sistemas de nuvem	Refere-se a quaisquer serviços de tecnologia da informação (TI) que são provisionados e acessados de um provedor de computação em nuvem
<i>Cybersecurity/</i> Cibersegurança	A segurança cibernética refere-se a métodos preventivos usados para proteger as informações de serem roubadas ou comprometidas
<i>Internet of Things/</i> Internet das Coisas	A IoT refere-se a um mundo interconectado, no qual vários objetos incorporados a sensores eletrônicos, atuadores ou outros dispositivos digitais podem se conectar uns aos outros e trocar os dados coletados
Simulação/ <i>Simulation</i>	Refere-se às tecnologias que usam o computador para imitar um processo ou sistema do mundo real
Inteligência artificial/ <i>Artificial intelligence</i>	Área da ciência da computação que enfatiza a criação de máquinas inteligentes que funcionam e reagem como humanos
<i>Blockchain</i>	É um banco de dados que mantém uma lista de registros completa, distribuída e sem adulteração, em constante crescimento, usando nova tecnologia de criptografia e autenticação
Sensores e atuadores/ <i>Sensors and actuators</i>	São dispositivos que respondem a um estímulo físico (como calor, luz, som, pressão, magnetismo ou um movimento específico) e transmitem um impulso resultante (como para medição ou operação de um controle)

Fonte: Adaptado de Bai *et al.* (2020)

Conhecer cada um dos pilares descritos no quadro anterior, que dá sustentação à implementação de uma fábrica inteligente, baseada em um sistema ciberfísico, torna-se fundamental para que a indústria têxtil consiga usufruir de cada uma delas em sua total eficácia. Estudos recentes têm demonstrado como o avanço das tecnologias possibilitou a digitalização de muitos setores, incluindo o têxtil e o vestuário (Taifa; Lushaju, 2020).

Apesar de a transformação digital se configurar como um fator-chave, que eleva a vantagem competitiva das empresas, como afirmam Hoque *et al.*, (2021), muitas empresas têm tido a transformação de suas plantas adiada devido, dentre outras coisas, às incertezas sobre os retornos financeiros e uma carência de pessoal especializado (Küstters; Prass; Gloy, 2017). Diante de cenários como esse, a estratégia competitiva I4.0 pode ser um importante caminho para uma retomada segura e significativa.

2.3 INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A indústria automotiva é descrita como uma das mais complexas, sofisticadas e tecnologicamente avançadas. Ela tem passado por uma transformação significativa nas últimas décadas, impulsionada por inovações como veículos híbridos, elétricos e

autônomos (Sell *et al.*, 2019). O segmento automobilístico está adotando uma série de tecnologias da Indústria 4.0 incluindo: análise de dados (data analytics) (Para *et al.*, 2019), internet das coisas e inteligência artificial (Sanz; Blesa; Puig, 2021) e realidade aumentada (Aivaliotis *et al.*, 2023).

Nesse contexto, diversos sistemas de dados anteriormente desconexos estão se integrando em um ambiente inteligente de Sistema Ciberfísico (CPS), que visa unificar os aspectos do mundo real e virtual. Isso tem como objetivo principal possibilitar uma compreensão mais aprofundada da dinâmica de fabricação (Krugh; Mears, 2018).

Além disso, a comunicação automatizada entre veículos e fábricas vem sendo aprimorada, facilitando a realização de diversas análises relacionadas aos automóveis, incluindo a identificação de padrões comportamentais com base no histórico de uso do motorista, consumo de combustível, indicadores de manutenção e outros parâmetros relevantes (Silva *et al.*, 2018).

Diante do exposto, fica evidenciado que a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos setores têxtil e automotivo representa um marco essencial para a competitividade e inovação dessas indústrias. No setor têxtil, o monitoramento em tempo real e a produção sob demanda não apenas impulsionam a eficiência operacional, mas também permitem a criação de produtos personalizados, alinhando-se com as demandas do mercado contemporâneo. Além disso, a rastreabilidade ao longo da cadeia de suprimentos melhora a transparência e a sustentabilidade, aspectos cada vez mais valorizados pelos consumidores.

Já na indústria automobilística, a adoção da Indústria 4.0 revoluciona não apenas a produção, mas também a experiência do cliente, com veículos conectados, manutenção preditiva e maior segurança. Essas transformações são cruciais para garantir a viabilidade desses setores em um cenário global altamente dinâmico e competitivo, promovendo um futuro mais eficiente, inovador e sustentável para ambas as indústrias.

3 METODOLOGIA

Para realização da presente dissertação foram seguidos alguns passos que envolveram: a elaboração das questões de pesquisa; definição dos termos e estratégias de busca; eleição das bases referenciais; definição dos critérios de inclusão e exclusão e designação dos softwares a serem utilizados para triagem e análise bibliométrica.

3.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Para identificar a estrutura do campo científico dessa dissertação, foi elaborada a seguinte questão de investigação: “Qual o nível de adoção das tecnologias advindas da I4.0 no segmento têxtil?”. Para aprofundar questão, foram definidos dois pontos, expostos no Quadro 2.

Quadro 2 – Questões de pesquisa

Questão	Descrição da pergunta
Q.1	Quais as principais áreas de aplicação e tecnologia emergente mais utilizada ao longo da cadeia têxtil?
Q.2	Como está a indústria têxtil em relação à indústria automotiva no que diz respeito ao uso dessas tecnologias?

Fonte: A autora (2023)

3.2 TERMOS E ESTRATÉGIAS DE BUSCA

Para levantamento bibliográfico foram identificadas as palavras-chave: “*Textile*”, “*Clothing*”, “*Apparel*” e “*Fashion*” para o setor têxtil; e “*Automotive Industry*”, “*Automobile Manufacture*”, “*Automotive Sector*”, “*Car Manufacturers*” e “*Automotive*”, para o setor automotivo, concatenadas com “Industry 4.0”. A partir daí, as strings iniciais de consulta para os dois setores foram definidas e estão expostas no Quadro 3.

Quadro 3 – Strings de consulta

Setor	Strings iniciais de consulta
Têxtil	("Textile" OR "Clothing" OR "Apparel" OR "Fashion" AND "Industry 4.0")
Automotivo	("Automotive Industry" OR "Automobile Manufacture" OR "Automotive Sector" OR "Car Manufacturers" OR "Automotive" AND "Industry 4.0")

Fonte: A autora (2023)

3.3 BASES DE DADOS

Para o levantamento bibliográfico desse trabalho foram eleitas as bases de dados Scopus e Web of Science. Em cada uma delas foi realizada a busca da informação para ambos os segmentos industriais, no modo avançado.

A base de dados Scopus é uma das maiores bases de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares, que abrange cerca de 36.377 títulos (22.794 títulos ativos e 13.583 inativos) de aproximadamente 11.678 editores (Coelho, 2022; Zhu; Liu, 2020).

A Web of Science (WoS) Core Collection, que inclui os três índices clássicos de citações de periódicos: o Science Citation Index Expanded (SCIE), o Social Sciences Citation Index (SSCI) e o Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) é o legado mais significativo de Eugene Garfield. Esses índices são amplamente adotados e utilizados em todo o mundo acadêmico (Mongeon; Paul-Hus, 2016).

A WoS foi pioneira como o primeiro banco de dados bibliográfico internacional de grande abrangência. Ao longo do tempo, consolidou-se como a fonte de dados bibliográficos mais influente, amplamente utilizada para a seleção de periódicos, avaliação de pesquisas, análises bibliométricas e diversas outras atividades. Durante mais de quatro décadas, a WoS permaneceu como a única fonte de dados bibliográficos disponível (Pranckutė, 2021).

3.4 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Em seguida, definiu-se os critérios de inclusão e exclusão dos estudos para esse trabalho. Foram excluídas da coleta outras revisões de literatura e tópicos fora do escopo da pesquisa. Os critérios de inclusão estão apresentados no Quadro 4. Para a base Scopus determinou-se a busca por documentos na área de “Engenharia” e na base Web of Science optou-se pelas áreas de “*Engineering Manufacturing*” e “*Engineering Industrial*”.

Quadro 4 – Critérios de inclusão dos estudos

Tipo de documento	Artigos
Período	2018 a 2022
Área	Engenharia (E correlatas)
Idioma	Inglês

Fonte: A autora (2023)

Após os ajustes, com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, as strings finais de busca, para cada setor ficaram definidas como apresentadas no Quadro 5. A área de estudo precisou ser adaptada para cada base, mas os demais critérios foram exatamente os mesmos.

Quadro 5 – *Strings* finais de consulta para cada setor de acordo com a base

Setor	Base	String final
TÊXTIL	SCOPUS	TITLE-ABS-KEY ("Textile" OR "Clothing" OR "Apparel" OR "Fashion" AND "Industry 4.0") AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))
	WoS	TS= ("TEXTILE" OR "CLOTHING" OR "APPAREL" OR "FASHION" AND "INDUSTRY 4.0") AND 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 (ANOS DA PUBLICAÇÃO) AND ARTIGO (TIPOS DE DOCUMENTO) AND ENGLISH (IDIOMAS) AND ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY OR ENGINEERING MANUFACTURING OR ENGINEERING INDUSTRIAL (CATEGORIAS DA WEB OF SCIENCE)
AUTOMOTIVO	SCOPUS	TITLE-ABS-KEY ("AUTOMOTIVE INDUSTRY" OR "AUTOMOBILE MANUFACTURE" OR "AUTOMOTIVE SECTOR" OR "CAR MANUFACTURERS" OR "AUTOMOTIVE" AND "INDUSTRY 4.0") LANGUAGE (ENGLISH) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "AR")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018))
	WoS	TS= (("AUTOMOTIVE INDUSTRY" OR "AUTOMOBILE MANUFACTURE" OR "AUTOMOTIVE SECTOR" OR "CAR MANUFACTURERS" OR "AUTOMOTIVE" AND "INDUSTRY 4.0")) AND 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 (ANOS DA PUBLICAÇÃO) AND ARTIGO (TIPOS DE DOCUMENTO) AND ENGINEERING INDUSTRIAL OR ENGINEERING MECHANICAL OR ENGINEERING MANUFACTURING OR ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY (CATEGORIAS DA WEB OF SCIENCE) AND ENGLISH (IDIOMAS)

Fonte: A autora (2023)

3.5 ESCOLHA DOS SOFTWARES

Para a triagem dos documentos foi escolhido o software online Rayyan, que auxilia pesquisadores com suas revisões sistemáticas e projetos de meta-análise.

Para análise bibliométrica foi eleito o programa VOSviewer, versão 1.6.19, lançada em 23 de janeiro de 2023.

Para o gerenciamento bibliográfico determinou-se o uso do software Mendeley, versão desktop, atualização 1.19.8. Como protocolo para o levantamento bibliográfico foi escolhido o PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*).

3.5.1 Software Rayyan

Esse é um dos produtos de software do Qatar Computing Research Institute, uma entidade da Qatar Foundation for Education, Science and Community Development (Johnson; Phillips, 2018).

A principal função do Rayyan é facilitar o processo de triagem e seleção de artigos de pesquisa, economizando tempo e garantindo maior eficiência. Algumas das características e funcionalidades do Rayyan incluem: exportação de dados; resolução de duplicatas e conflitos; processo de seleção duplo cego; triagem colaborativa e importação de estudos (Rayyan, 2023).

O Rayyan é uma plataforma totalmente baseada na web, que também oferece compatibilidade offline por meio de seu aplicativo. Os usuários têm a flexibilidade de iniciar ou participar de um número ilimitado de revisões (Foster; Deardorff, 2017).

3.5.2 Software VOSviewer

O VOSviewer é um *software* de visualização de dados desenvolvido para auxiliar na análise e visualização de redes de termos e dados bibliométricos. Sua funcionalidade principal abrange duas áreas principais: a geração de mapas a partir de dados de rede e a capacidade de explorar e visualizar esses mapas (Van Eck; Waltman, 2023). As redes formadas podem incluir, por exemplo, revistas, pesquisadores ou publicações individuais, e podem ser construídas com base em relações de citação, acoplamento bibliográfico, cocitação ou coautoria. O VOSviewer também oferece funcionalidade de mineração de texto que pode ser usada para construir e visualizar redes de coocorrência de termos importantes extraídos de um corpo de literatura científica (VOSviewer, 2023).

O *software* VOSviewer desempenha um papel significativo no processamento de dados, abrangendo áreas como coleta, formatação, gerenciamento, análise e

simulação de dados. Além disso, essa aplicação é valiosa para os cientistas, pois auxilia na descoberta de insights inovadores em pesquisas, sendo capaz de representar o impacto de maneira eficaz em tópicos específicos (Soegoto *et al.*, 2022).

3.5.3 Gerenciador bibliográfico Mendeley

O Mendeley é um gerenciador de referências bibliográficas e uma plataforma de colaboração acadêmica amplamente utilizada por pesquisadores, estudantes e profissionais em diversas áreas. Ele foi desenvolvido para ajudar os usuários a organizarem, gerenciarem e citarem suas referências bibliográficas de maneira eficiente, oferecendo recursos como plataforma online e desktop, recursos de anotação e marcação e integração com processadores de texto (ELSEVIER, 2023a).

3.5.4 Fluxograma PRISMA

O fluxograma PRISMA serve como uma diretriz visual que ajuda os revisores a documentarem de forma clara cada passo do processo de revisão, desde a identificação inicial dos estudos até a inclusão final na análise. Isso ajuda a reduzir o risco de viés na seleção de estudos e permite que os leitores da revisão compreendam facilmente como os estudos foram escolhidos e quais critérios foram aplicados (Moher *et al.*, 2015).

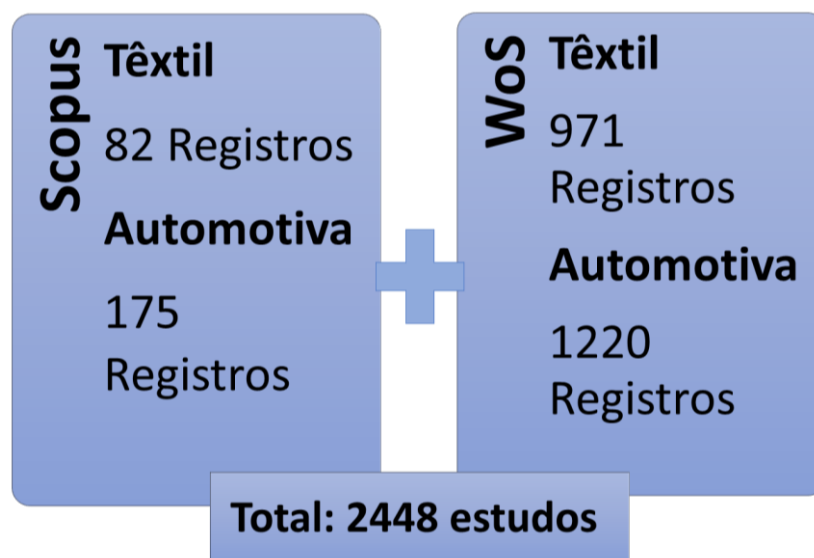
O uso do fluxograma PRISMA é fundamental para aumentar a transparência e a qualidade das revisões sistemáticas, permitindo que outros pesquisadores compreendam e avaliem o rigor do processo da seleção de estudos. Ele é composto por uma série de etapas sequenciais que incluem a identificação inicial de estudos, a triagem com base em critérios de inclusão e exclusão, a avaliação da qualidade metodológica e a síntese dos dados (Rethlefsen *et al.*, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As limitações previamente definidas foram aplicadas e nesse processo encontrou-se 2.448 registros, distribuídos como exposto no resumo da Figura 3. Na base Web of Science houve o retorno de 971 registros para o setor têxtil e 1.220 documentos sobre o setor automotivo. Na base Scopus os documentos apresentados foram: 82 estudos para o setor têxtil e 175 registros relacionados à indústria automotiva. A partir de então, todos os resultados tiveram seus metadados

exportados, sendo posteriormente analisados para obtenção de mapas bibliográficos no software VOSviewer. Cada setor foi analisado separadamente, com os registros encontrados em ambas as bases. Para que a análise das informações recuperadas em bases distintas fosse possível, os metadados foram exportados sob o formato RIS (*Research Information Systems*).

Figura 3 – Total de estudos recuperados

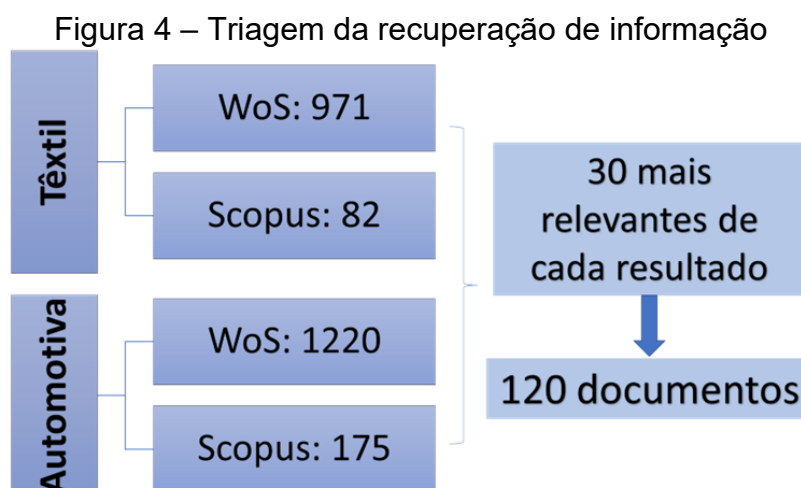


Fonte: A autora (2023)

As informações recuperadas em cada resultado de pesquisa foram organizadas pelo critério “mais relevantes”. Esta classificação nas bases de dados científicas é uma forma de ordenar os resultados de uma busca de acordo com a relevância dos artigos para o tema pesquisado. É baseada em algoritmos que levam em consideração diversos fatores, como a frequência com que as palavras-chave aparecem no texto, a qualidade da revista científica em que o artigo foi publicado e o número de citações que o artigo recebeu de outros pesquisadores (Cativo, 2023; Coelho, 2021; Elsevier, 2023).

Não foi possível observar na literatura um número mínimo de estudos necessários para cada estudo científico, pois isso depende muito do tipo de pesquisa, do campo acadêmico e das perguntas específicas que cada trabalho busca responder. Para essa dissertação o quantitativo foi definido diante da observação de outros estudos relevantes de RSL, que se utilizaram de um volume de cerca de 30 documentos, como Deepthi e Bansal, (2022) e Dantas *et al.*– (2019).

A partir de então, convencionou-se selecionar os 30 artigos mais relevantes de cada uma das 4 buscas, chegando-se a um quantitativo de 120 estudos selecionados, de acordo com o ilustrado na Figura 4. Os metadados desses trabalhos foram, então, encaminhados para triagem – 60 estudos de cada área – para o *software* Rayyan.

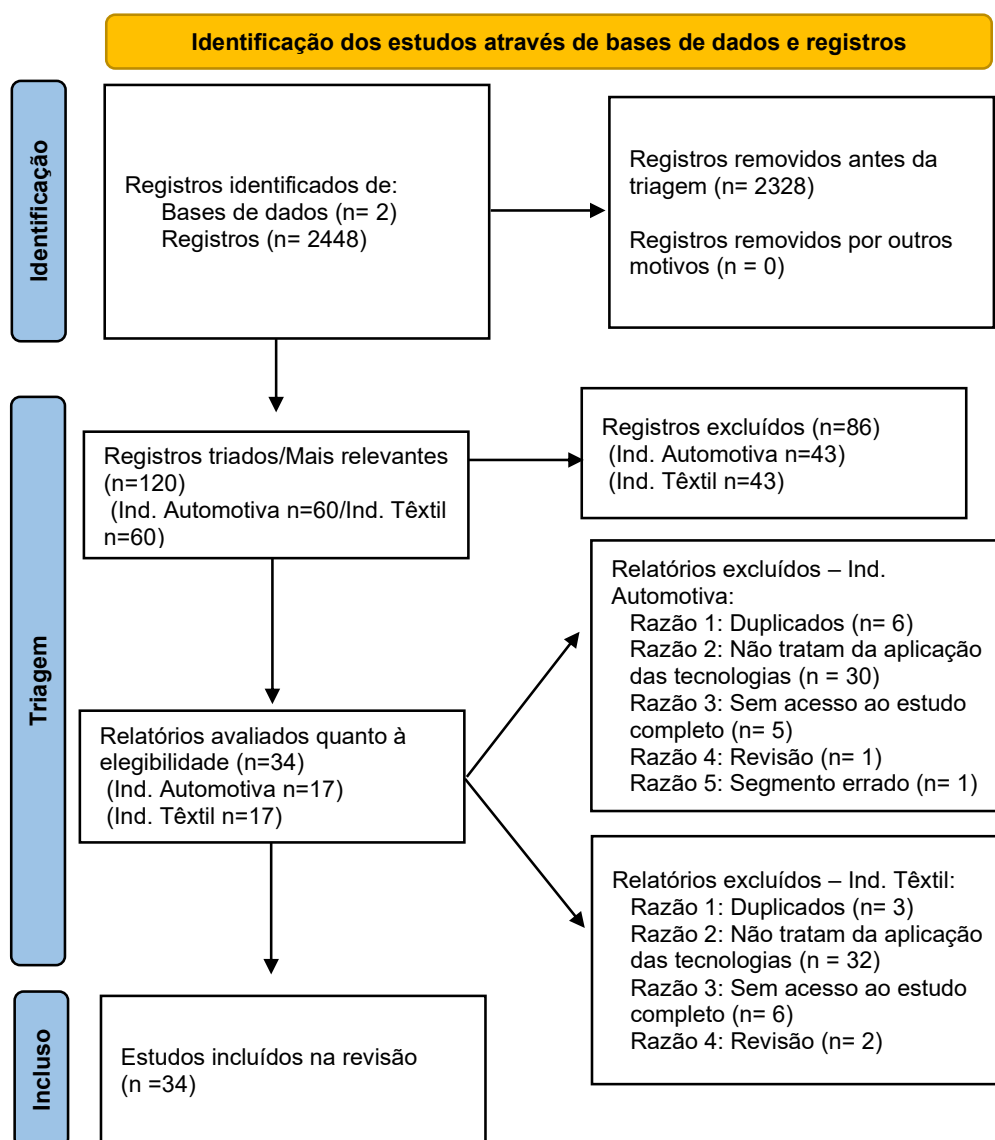


Fonte: A autora (2023)

O detalhamento desse resultado está exposto no fluxograma PRISMA, exibido na Figura 5. No *software* Rayyan foi realizada uma triagem para cada setor, 60 estudos por vez. O passo inicial foi a busca por possíveis duplicações e, em seguida, foi realizada a leitura dos títulos com o objetivo de identificar os trabalhos mais alinhados com o tema proposto. Na sequência, os resumos também foram lidos de forma crítica, para então seleção dos estudos.

Os critérios para inclusão e exclusão da lista final de estudos, após a triagem no Rayyan, também estão apresentados no fluxograma PRISMA.

Figura 5 – Fluxograma PRISMA com a triagem dos estudos



Fonte: A autora (2023)

A seguir serão descritas as etapas e os procedimentos adotados para seleção e eliminação dos artigos analisados.

4.1 PROCEDIMENTOS REFERENTES A RECUPERAÇÃO DA INFORMAÇÃO

A recuperação da informação em bases de dados científicos refere-se ao processo de localizar e obter informações relevantes a partir de uma coleção de documentos ou registros científicos armazenados em sistemas de informações como as chamadas "bases de dados", que contém uma vasta quantidade de documentos acadêmicos e científicos (De Lima; Campos, 2022).

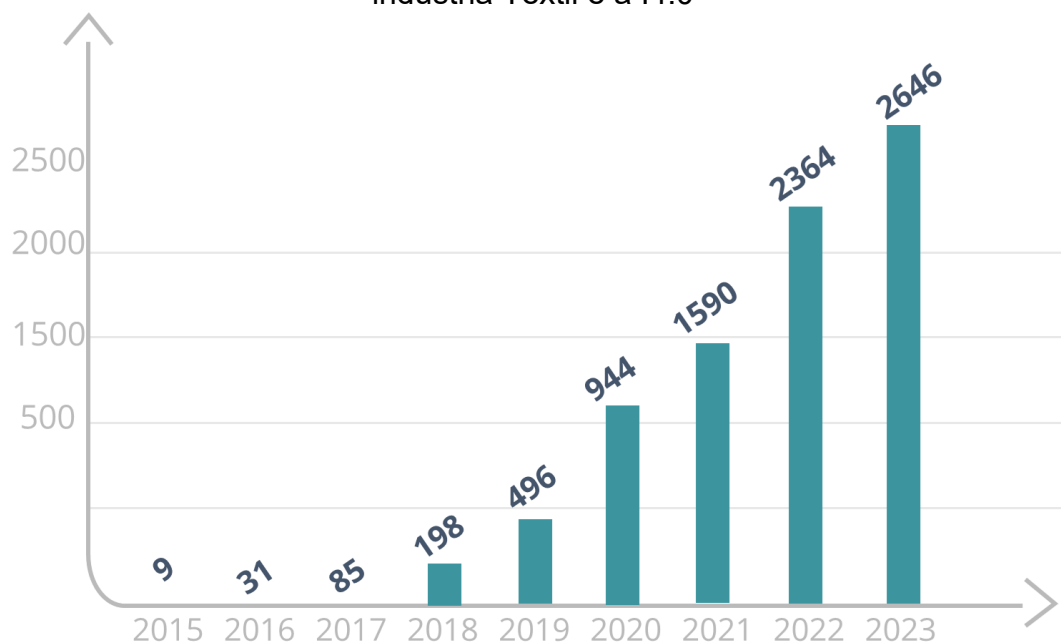
Nas seções a seguir será apresentada a análise dos resultados após as buscas nas duas bases selecionadas relacionando a Indústria 4.0 e o segmento têxtil e automotivo.

4.1.1 Base de dados Scopus – indústria Têxtil

Os documentos foram recuperados na base Scopus com a *string* inicial definida no Quadro 3. Em um primeiro momento foi realizada uma busca ampla, ou seja, em qualquer local do documento (Título, Resumo, Palavras-chave, Introdução etc.) e sem qualquer restrição, com obtenção de 8.363 registros.

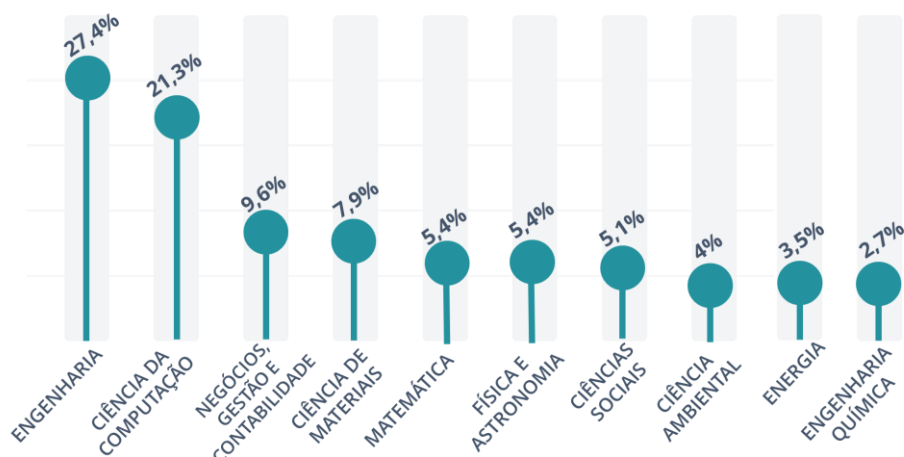
Os primeiros trabalhos foram publicados no ano de 2015 e seguem em crescimento, chegando a 2.646 publicações em 2022, conforme ilustrado na Figura 6. Mais da metade dessas publicações, 65%, refere-se a artigos e em sua maioria na área da Engenharia (18,9%), conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 6 – Estudos publicados entre 2015 e 2023 na base Scopus relacionando indústria Têxtil e a I4.0



Fonte: Fonte: A autora (2023)

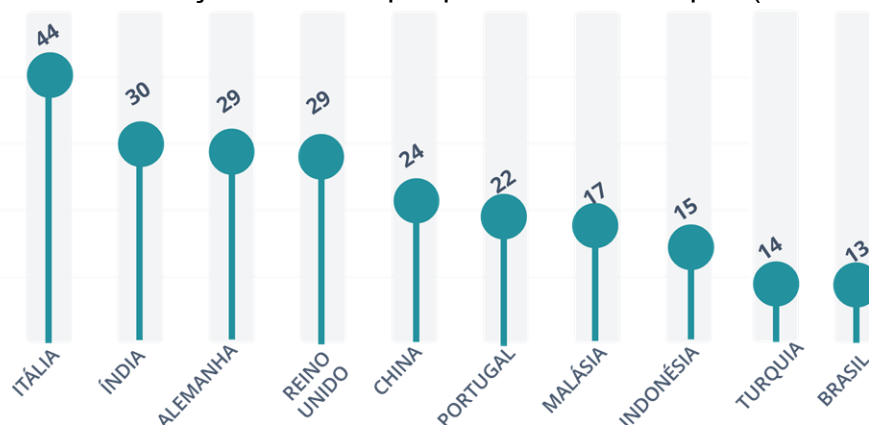
Figura 7 – Principais áreas de estudos na base Scopus entre 2015 e 2023



Fonte: Fonte: A autora (2023)

Quando se limitou a busca apenas aos “Títulos, Resumos e Palavras–chave”, houve um retorno de 422 documentos. Também com publicações crescentes ao longo do tempo, esse resultado demonstrou a predominância de estudos do tipo “Artigos de conferência”, com 39,3% dos documentos, seguido de “Artigos”, com 38,9%, publicados na sua maioria na área de “Engenharia” (27 %). Ao se delimitar o espaço de tempo para o período dos últimos cinco anos, 2018 a 2022, foram encontrados 359 estudos, o que demonstra que é o período com maior volume de publicações, tendo como maior país produtor de conhecimento científico a Itália, conforme demonstrado na Figura 8. A área temática “Engenharia” ainda concentra o maior volume de publicações (27,6%) com 145 manuscritos de conferência e 140 artigos, 40,5 % e 39,1 %, respectivamente. A limitação seguinte foi o tipo de documento, elegendo–se os artigos.

Figura 8 – Produção científica por país na base Scopus (2018–2022)



Fonte: A autora (2023)

Os resultados sugerem que a Itália possui mais estudos científicos indexados na base, relacionando indústria têxtil e I4.0 nos últimos 5 anos devido a diversos fatores. No geral, os artigos sugerem que o foco da Itália na inovação, sustentabilidade e investigação em áreas relacionadas pode ter contribuído para esse cenário.

Dos 140 artigos, limitou-se a área de estudos como “engenharia”, resultando em 85 estudos e, uma vez limitado ao idioma definido previamente, inglês, restaram 82 trabalhos, cujos metadados foram exportados, em conjunto com os dados da segunda base de dados, para análise bibliográfica no VOSviewer.

Após a aplicação dos filtros de pesquisa, a string final utilizada foi:

```
TITLE-ABS-KEY ("Textile" OR "Clothing" OR "Apparel" OR "Fashion" AND "Industry 4.0") AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI")) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE, "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE, "English"))
```

A partir desse resultado, e com os estudos organizados pelo critério “Mais relevantes”, já justificado anteriormente, os 30 primeiros trabalhos foram selecionados e seus metadados foram salvos para triagem no Rayyan.

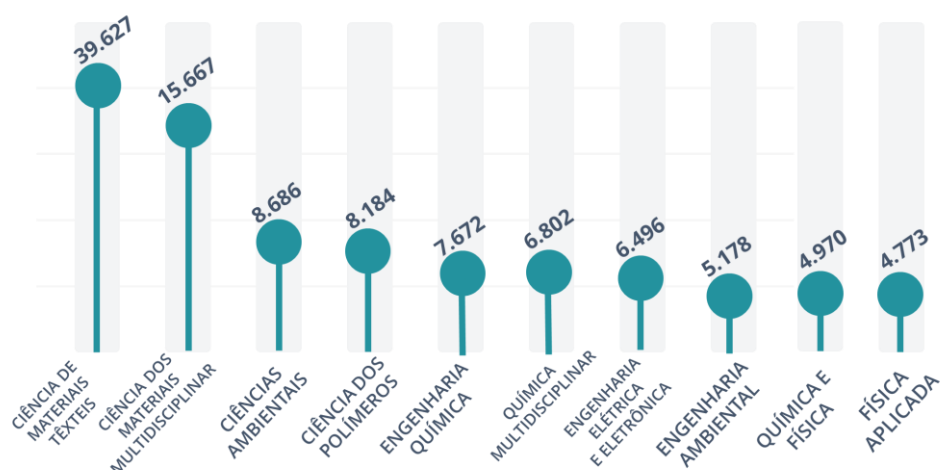
4.1.2 Base de dados Web of Science – indústria Têxtil

Ao realizar o levantamento dos documentos pertinentes à relação entre a Indústria Têxtil e a I4.0 na base referencial Web of Science, o protocolo foi semelhante ao usado anteriormente. Num primeiro momento também foi realizada a consulta buscando os termos em todos os campos do documento, no modo de pesquisa avançado, na coleção principal da Web of Science. O retorno foi de 144.010 resultados, com registros desde 1945.

A base oferece análise dos resultados de modo diferente da base Scopus, mas traz informações completas, desde autores, anos de publicação, até “Microtópicos de citação”. Um desses aspectos, que podem ser exibidos em gráficos de barras ou do tipo *Tree Map*, é o número de documentos publicados em cada categoria, organizados por ordem decrescente.

Na Figura 9 são demonstradas as 10 categorias com mais documentos indexados na base, relacionando Indústria Têxtil com a I4.0, tendo a “Ciência de Materiais Têxteis” como área que mais produziu trabalhos científicos, a partir de uma perspectiva geral.

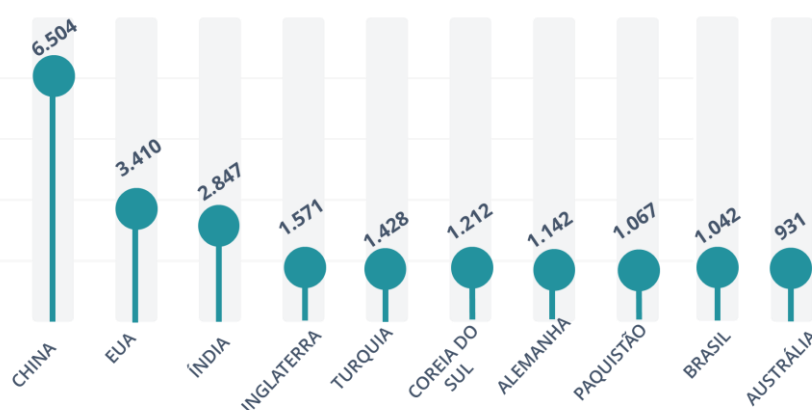
Figura 9 – Principais áreas de estudos na base (Web of Science) 1945–2023



Fonte: A autora (2023)

Ao limitar o espaço de busca nos documentos no campo “TS” (Tópico), que abrange o título, resumo e palavras-chave, houve um resultado de 95.699 documentos. Aplicando-se os mesmos critérios para limitação dos documentos, primeiramente pelo espaço de tempo de 5 anos, de 2018 a 2022, o resultado foi um retorno de 35.455 estudos, com a categoria “Ciência de Materiais Multidisciplinar” assumindo a posição de maior produtora de conteúdo, com 4.331 estudos indexados, seguida pela categoria “Ciência de Materiais Têxteis”, que apresentou 4.181 trabalhos. Ao refinar os documentos pelo tipo “Artigo” encontrou-se 25.582 registros, com maior número de publicações ainda na categoria “Ciência de Materiais Têxteis”, com 3.610 documentos, seguida pela categoria “Ciência de Materiais Multidisciplinar”, com 3.439 publicações, tendo a República Popular da China como o país que mais produziu conhecimento científico, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Países com artigos indexados na base WoS 2018-2023



Fonte: A autora (2023)

O protagonismo da China é justificável, uma vez que o país lidera o ranking mundial de produção de têxteis, com valores superiores a US\$ 421 bilhões (Júnior, 2021).

Ao limitar ainda mais os critérios de busca, optou-se pelas categorias de engenharias Multidisciplinar, de Manufatura e Industrial, como anteriormente definido. A partir desse limitante, o retorno foi de 1.002 documentos, sendo que mais da metade, 601 registros, foram na categoria Engenharia Multidisciplinar. Ao aplicar o último critério para inclusão dos trabalhos, selecionou-se a opção do idioma em inglês para os idiomas dos artigos, o que resultou num total de 971 documentos.

A *string* final para as buscas na base foi, então: TS= ("TEXTILE" OR "CLOTHING" OR "APPAREL" OR "FASHION" AND "INDUSTRY 4.0") AND 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 (ANOS DA PUBLICAÇÃO) AND ARTIGO (TIPOS DE DOCUMENTO) AND ENGLISH (IDIOMAS) AND ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY OR ENGINEERING MANUFACTURING OR ENGINEERING INDUSTRIAL (CATEGORIAS DA WEB OF SCIENCE).

O retorno final, organizado pelo critério “mais relevantes”, padrão dessa base e previamente justificado nesse trabalho, teve seus metadados exportados sob o formato RIS para posterior análise bibliográfica no VOSviewer.

4.1.3 Base de dados Scopus – Indústria Automotiva

Ao realizar o levantamento bibliográfico na literatura de estudos relacionando a indústria automotiva e a I4.0 na base Scopus, usou-se a string inicial (Quadro 3), buscando no modo avançado e em qualquer lugar do documento. Houve um retorno de 12.497 estudos, conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Estudos publicados entre 2013 e 2023 na base Scopus relacionando indústria têxtil e I4.0

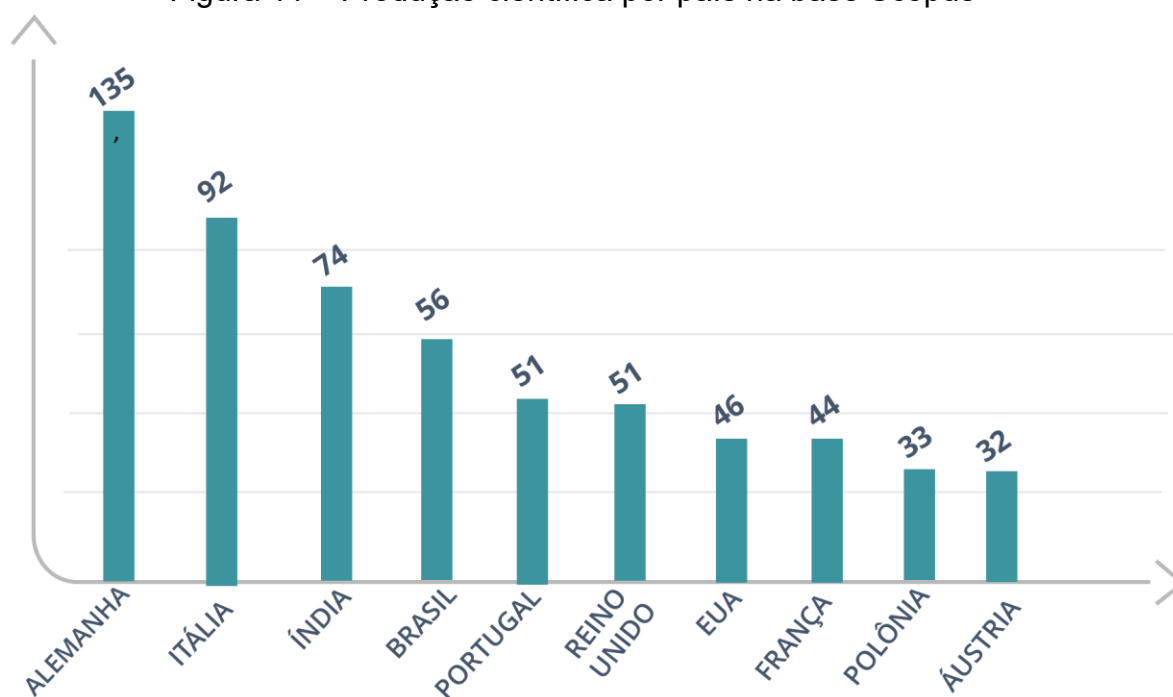
ANO	ESTUDOS
2023	2.720
2022	3.614
2021	2.440
2020	1.701
2019	1.088
2018	522

ANO	ESTUDOS
2017	265
2016	104
2015	34
2014	7
2013	2
TOTAL	12.497

Fonte: A autora (2023)

Ao analisar esse panorama conjunto de trabalhos, tem-se que os primeiros dois estudos foram publicados em 2013, pela Alemanha, e tratava-se de *papers* de conferência. Ao delimitar a procura pela informação somente nos campos “TITLE–ABS–KEY”, ou seja, título do documento, resumo e palavras–chave do estudo, que é a busca padrão da base, obteve-se uma recuperação de 862 estudos. Nesse cenário, o país líder de trabalhos relacionando ambas as áreas é a Alemanha, seguida pela Itália, Índia, Brasil e Reino Unido. Os dez países que mais indexaram estudos na base estão expostos na Figura 11.

Figura 11 – Produção científica por país na base Scopus



Fonte: A autora (2023)

Quando restringido à categoria de "Artigos", o número total de registros encontrados foi de 360, com a Índia emergindo como líder na produção científica, o que se justifica uma vez que o governo indiano tem incentivado o setor automotivo a adotar tecnologias avançadas para aumentar a produtividade e a competitividade (Swarnima; Mehra; Dasot, 2017).

Dando continuidade à aplicação dos critérios, foram selecionados os trabalhos na área "Engenharia", onde o volume encontrado foi de 220 estudos. Dentro do espaço delimitado de 5 anos, de 2018 a 2022, houve um retorno de 177 estudos, dentre os quais, 175 encontravam-se no idioma inglês.

Os 175 trabalhos, mantidos sob a classificação "mais relevantes", foram salvos sob o formato RIS para posterior análise bibliométrica no VOSviewer e, dentre esses, os 30 documentos com maior relevância para esse estudo, tiveram seus metadados exportados para o *software* Rayyan.

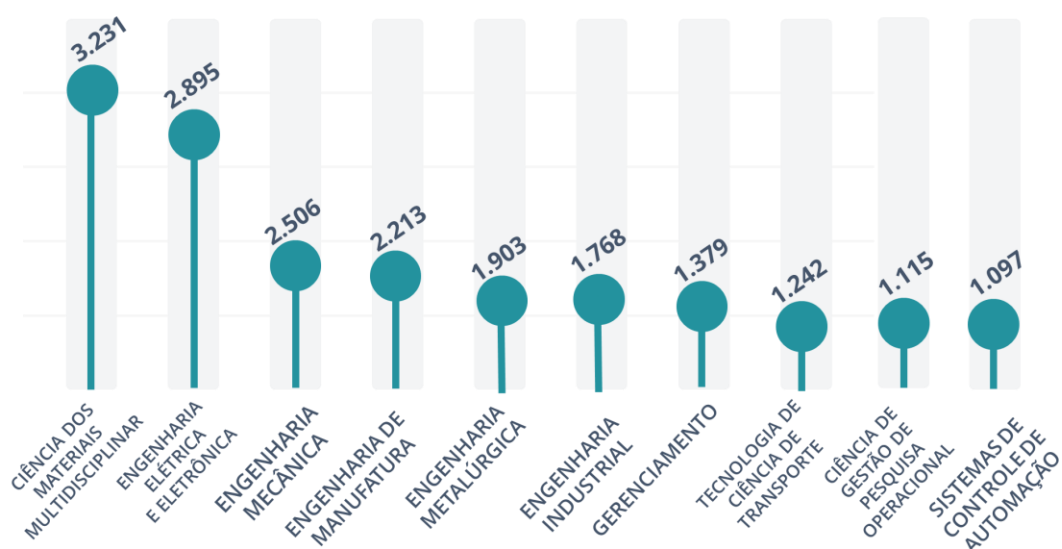
4.1.4 Base de dados Web of Science – indústria Automotiva

Em se tratando do levantamento bibliográfico realizado na base WoS, a busca foi feita, primeiro, visando localizar os termos que compõe a string de consulta em qualquer parte do documento, no modo avançado, conforme definido na Quadro 3. Houve um retorno de 20.718 resultados, buscando na coleção principal do WoS.

Nesse cenário, a categoria de pesquisas científicas "Ciência de Materiais Multidisciplinar" registra maior produção, com 3.283 documentos. Quando limitada a busca no campo do documento para "TS" (Tópico), a saber, título, resumo e palavras-chave, o retorno foi de 19.888 registros, ainda com a categoria "Ciência de Materiais Multidisciplinar" liderando o quantitativo de estudos gerados, com 3.231 trabalhos, conforme exposto na Figura 12.

Refinando o resultado para exibir apenas pesquisas publicadas entre 2018 e 2022, o retorno foi de 7.886 documentos. Ao limitar o tipo de documento que interessa ao presente trabalho, artigos, os resultados apresentados foram 4.897 registros, com publicações majoritariamente na área da Ciência dos Materiais Multidisciplinar, aproximadamente 16% delas.

Figura 12 – Quantitativo de estudos por categoria (Web of Science)



Fonte: A autora (2023)

Ajustando os critérios para quatro categorias correlatas à engenharia – “*Engineering Industrial*”, “*Engineering Mechanical*”, “*Engineering Manufacturing*” e “*Engineering Multidisciplinary*” – a base retornou 1.250 resultados. Finalmente, buscando por trabalhos escritos somente no idioma inglês, obtém-se da coleção principal da WoS o total de 1.220 documentos.

Esse quantitativo de trabalhos teve seus metadados armazenados sob o formato RIS para posterior mapeamento bibliométrico, usando o *software* VOSviewer. Organizados em forma padrão da base pelos documentos mais relevantes, os 30 primeiros registros desse montante foram selecionados para triagem no *software* Rayyan.

4.2 MAPAS BIBLIOMÉTRICOS

Nessa seção serão apresentados os mapas, para cada setor, resultantes das análises produzidas pelo *software* VOSviewer.

4.2.1 Coocorrência de termos para Indústria Têxtil usando VOSviewer

Para criação do primeiro mapa de redes foi usada a função de mineração de texto do VOSviewer. Esta função é muito útil para entender a estrutura e os padrões nos textos, identificar tópicos ou temas emergentes e auxiliar na tomada de decisões com base na análise de grandes volumes de informações textuais (VAN ECK; WALTMAN, 2023).

Executando a leitura dos dados a partir dos arquivos do tipo RIS, os campos selecionados para extração das informações, nos documentos, foram “Títulos” e “Resumos” e o método de contagem determinada foi "*Full Counting*", que leva em consideração todas as coocorrências, independentemente da distância entre os termos dentro de um documento. Isso significa que, ao usar a opção "*Full Counting*", o *software* considerará todas as vezes que dois termos aparecem juntos em um documento, independentemente de estarem próximos um do outro ou separados por várias palavras.

Ao determinar que o número mínimo de documentos em que ocorrem os termos seja 10 estudos, dos 24.739 termos encontrados, 618 encontraram-se sob esse critério, o que deixaria a análise muito difusa. Elevando a quantidade de ocorrências para no mínimo 60 documentos, 51 palavras atingiram esse limite. Para cada um dos 51 termos, foi calculada uma pontuação de relevância. Com base nessa pontuação, foram selecionados os termos mais relevantes.

A escolha padrão do programa é selecionar 60% dos termos mais relevantes, obtendo com isso 31 palavras, o que possibilitou uma melhor avaliação. Não houve necessidade de ajuste com tesouro. O *software* gerou uma lista de 3 *Clusters*, dispostos Quadro 6. O mapa está ilustrado na Figura 13.

Quadro 6 – Mineração de palavras para a indústria têxtil

<i>Clusters</i>	<i>Palavras</i>	
1	<i>clothing</i> <i>composite</i> <i>degrees c</i> <i>effect</i> <i>experiment</i> <i>fabric</i> <i>fiber</i> <i>influence</i>	<i>parameter</i> <i>sample</i> <i>simulation</i> <i>structure</i> <i>textile</i> <i>type</i> <i>work</i> <i>yarn</i>
2	<i>approach</i> <i>case study</i> <i>company</i> <i>data</i> <i>framework</i> <i>industry</i> <i>technology</i>	<i>literature</i> <i>problem</i> <i>product</i> <i>production</i> <i>research</i> <i>system</i> <i>textile industry</i>
3	<i>effectiveness</i>	

Fonte: A autora (2023)

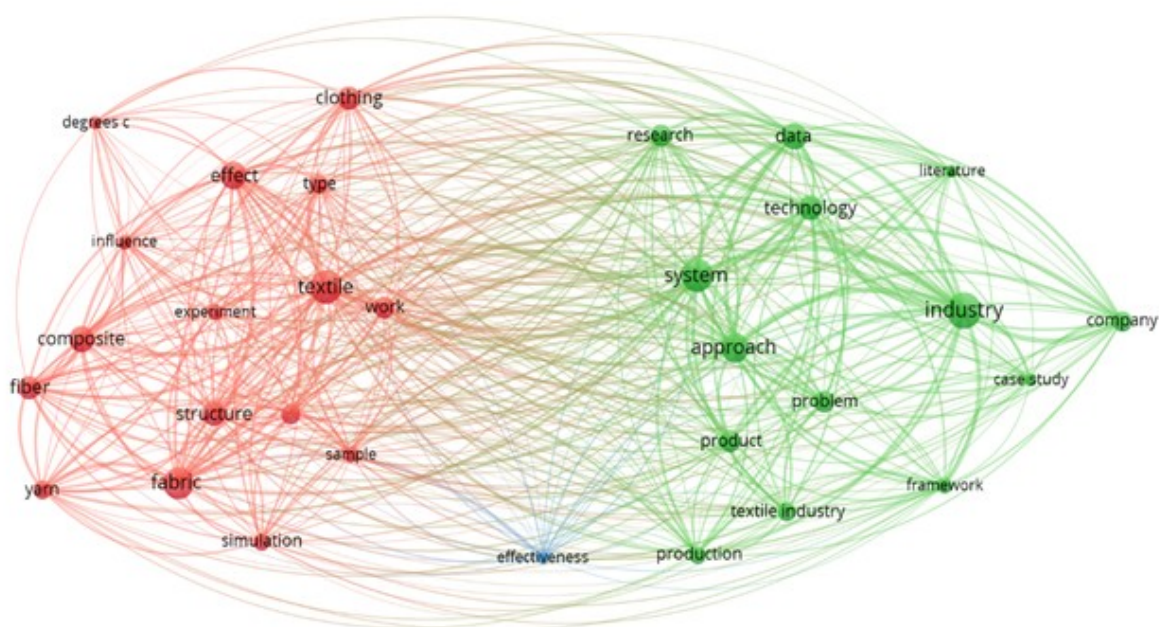
O *cluster* 1 (16 itens) parece se concentrar em palavras-chave relacionadas a experimentos, simulações e materiais têxteis. As palavras incluem *clothing*, *fabric*,

fiber, *structure* e *yarn*. Isso sugere que esse *cluster* pode estar associado a estudos que envolvem experimentação e análise de materiais têxteis, como tecidos e fibras, e sua estrutura.

Já o *cluster 2*, com 14 itens, abrange palavras-chave relacionadas a abordagens de pesquisa, estudos de caso, empresas, sistemas e problemas da indústria têxtil. As palavras-chave incluem *approach*, *case study*, *company*, *research*, *textile industry* e *framework*. Sugere-se que este *cluster* se refere a pesquisas e estudos que exploram problemas e soluções na indústria têxtil, muitas vezes usando abordagens de estudos de caso.

O *cluster 3* contém apenas uma palavra-chave: "*effectiveness*". Pode indicar um tópico específico de interesse relacionado à eficácia ou efetividade em algum contexto dentro da indústria têxtil, talvez relacionado a um produto ou processo específico. No geral, esses *clusters* sugerem que as pesquisas relacionadas à indústria têxtil abordam desde experimentação com substratos fibrosos têxteis até abordagens da indústria relacionadas a questões relativas aos processos têxteis.

Figura 13 – Rede de termos a partir do VOSviewer para indústria têxtil



Fonte: A autora (2023)

4.2.2 Coocorrência de palavras-chave para indústria têxtil usando VOSviewer

Ao gerar a rede de palavras-chave baseada nas informações bibliográficas, também usando arquivos do tipo RIS, gerados a partir das informações de título, resumo e palavras-chave, foram encontradas 6126 palavras-chave, a partir das quais 308 se enquadravam no limite sugerido pelo *software* de 5 ocorrências para cada palavra-chave. Ao determinar um número mínimo de ocorrência em 15 documentos, o número de palavras-chave encontrado foi de 47, que tiveram calculadas suas forças de ligação umas com as outras. Analisando as palavras geradas verificou-se a necessidade de um ajuste nos termos, agrupando termos semelhantes, através da aplicação de um tesouro.

A partir de então, refazendo o processo, para uma ocorrência mínima em 15 documentos, 39 palavras foram encontradas dentro desse limite. Os 20 termos com maior ocorrência nos documentos estão expostos na nuvem de palavras da Figura 14. Houve a formação de 5 *clusters* demonstrados no Quadro 7.

Figura 14 – Nuvem de palavras para a indústria Têxtil



Fonte: A autora (2023)

Figura 15 – Palavras-chave para a indústria têxtil

<i>Clusters</i>	<i>Palavras-chave</i>
1	<i>Behavior, composite, damage, fabrics/textiles, finite element analysis (FEA), forming, mechanical testing, mechanical-behavior, mechanical-properties, permeability, prediction, simulation, strength, textile composites</i>
2	<i>Circular economy, framework, impact, implementation, industry 4.0, innovation, management, performance, protective clothing, supply chain management, sustainability, textile industry</i>
3	<i>Adsorption, degradation, design, fabrication, fibers, nanoparticles</i>
4	<i>Genetic algorithm, machine learning, model, optimization, systems</i>
5	<i>Concrete, FRP (Fiber Reinforced Plastics)</i>

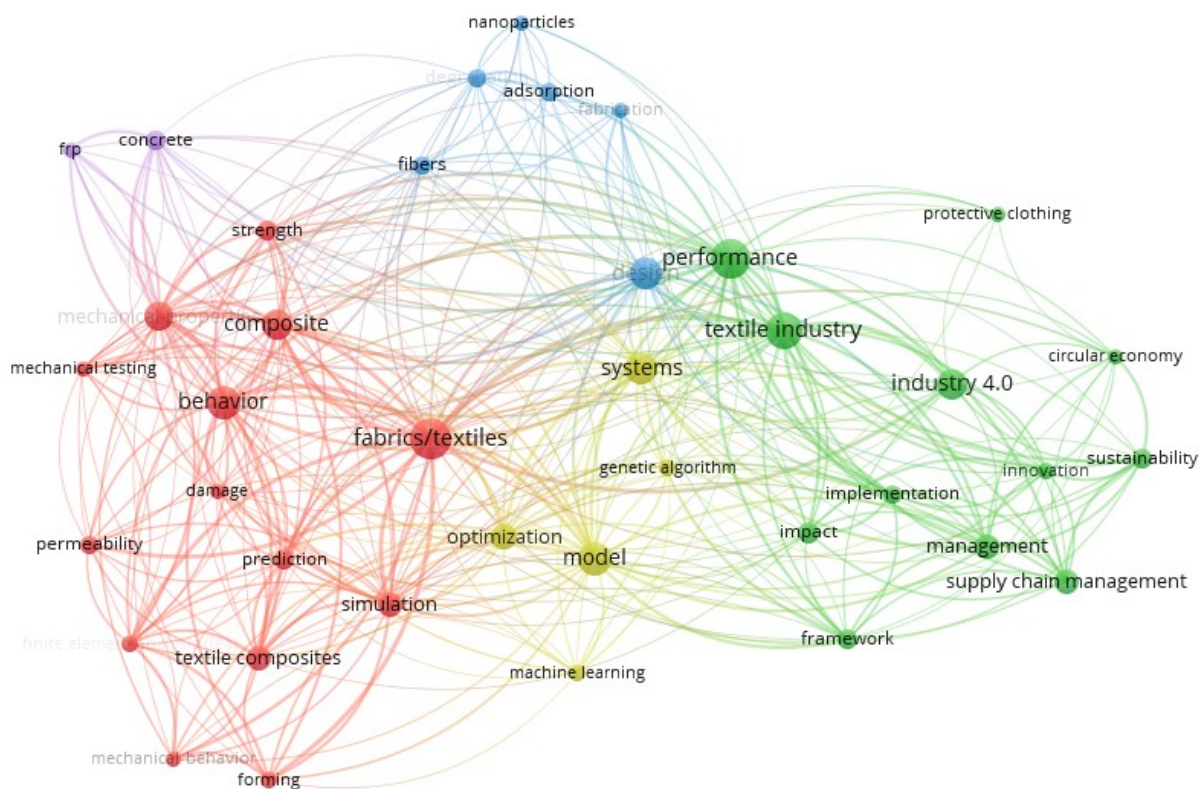
Fonte: A autora (2023)

O *cluster* 1 demonstra foco principal nos compósitos reforçados por substratos fibrosos têxteis, com ênfase às pesquisas sobre análise de elementos finitos e simulação, com o objetivo de estudar o comportamento mecânico das estruturas têxteis e suas propriedades. O *cluster* 2, com 12 itens, traz ênfase na economia circular e sustentabilidade na indústria têxtil, com abordagem da I4.0 e inovação na gestão da cadeia de suprimentos, além de apresentar interesse na performance e no impacto ambiental dos produtos têxteis.

Já o *cluster* 3 (6 itens) apresenta foco em questões relacionadas à adsorção e degradação de materiais têxteis, com destaque no *design* e fabricação de fibras têxteis com nanopartículas. É possível inferir no *cluster* 4 uma concentração em algoritmos genéticos e aprendizado de máquina, além do desenvolvimento de modelos e otimização de sistemas relacionados a materiais têxteis.

O mapa que apresenta esses *clusters* está exposto na Figura 15.

Figura 16 – Redes bibliográficas de coocorrência de palavras-chave



Fonte: A autora (2023)

4.2.3 Rede de coautoria para indústria têxtil usando VOSviewer

Outro mapa de redes gerado diz respeito aos autores. Para essa análise foram determinados ao menos quatro documentos de autoria de cada estudioso para que o nome fizesse parte da rede. Dos 3.901 autores encontrados, 55 se encaixaram nesse limite imposto. Após análise, o *software* detectou que alguns desses 55 pesquisadores não colaboravam entre si e sugeriu a exibição do conjunto de rede com 18 autores, divididos em 5 *clusters*. Os autores e seus respectivos *clusters* estão expostos na Quadro 8. A Figura 17 traz a visualização dessa rede de coautorias.

Quadro 7 – Clusters de autores setor têxtil

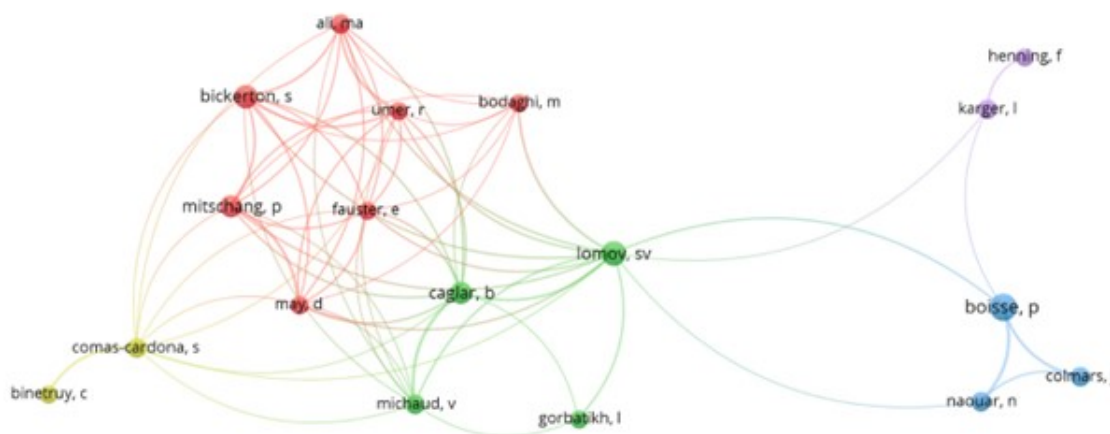
Clusters	Pesquisadores
1	Ali, Ma Bickerton, S Bodaghi, M Fauster, E May, D Mitschang, P

Clusters	Pesquisadores
	Umer, R
2	Caglar, B Gorbatikh, L Lomov, SV Michaud, V
3	Boisse, P Colmars, J Naouar, N
4	Binetruy, C Comas-Cardona, S
5	Henning, F Karger, L

Fonte: A autora (2023)

A presença de múltiplos autores pode indicar colaborações em estudos relacionados à Indústria 4.0 no setor têxtil. É importante notar que os nomes dos autores não fornecem informações específicas sobre as áreas de pesquisa ou contribuições individuais. *Clusters* menores podem representar uma área mais específica de pesquisa dentro do segmento têxtil relacionada à Indústria 4.0.

Figura 17 – Rede bibliográfica de autores



Fonte: A autora (2023)

A presença de menos autores pode sugerir uma concentração em um conjunto particular de tópicos ou abordagens, ou ainda instituições específicas que estão tratando sobre o assunto.

4.2.4

Coocorrência de palavras–chave para indústria automotiva usando VOSviewer

O primeiro mapa criado foi o de coocorrência de palavras–chaves, baseado nos dados bibliográficos dos estudos relacionando a indústria automobilística com a I4.0, gerados pelas bases, sob formato RIS. As palavras–chave analisadas foram informadas pelo autor e aquelas atribuídas pela Scopus e Web of Science. Esse mapa permite a visualização das áreas que concentram os estudos relacionando os temas de interesse do presente trabalho. Foram selecionados os 1.220 metadados da base Web of Science e as 175 informações da base Scopus.

O tipo de análise, então, foi o de coocorrência de palavras e o método de contagem eleito o “*Full counting*”, que faz uma contagem total das palavras–chave encontradas. Foram encontradas 7.456 palavras–chave, com 376 termos encontrados quando o número mínimo de ocorrências de uma palavra era 5 documentos, como mostrado na Figura 17. Esse critério foi modificado, do mesmo modo como realizado para o segmento têxtil, para uma ocorrência mínima de 15 documentos, ou seja, as palavras–chave só seriam listadas se fossem mencionadas em ao menos quinze estudos, o que retornou uma lista de 75 palavras–chave. Para uma melhor análise, essas palavras foram ajustadas, agrupando–se palavras com mesmo significado e aquelas compostas que foram separadas pelo *software*, produzindo–se um tesouro para que se obtivesse uma listagem de palavras o mais acuradas possível.

Após a aplicação de um tesouro, o número de palavras–chave encontrados foi 65, expostas na Figura 18. Para cada uma das 65 palavras–chave, foi calculada a força total dos links de coocorrência com as outras palavras–chave. As palavras–chave com a maior força de link total serão selecionadas. Uma nuvem de palavras foi gerada para exibição do grupo de 20 termos mais citados, exposta na Figura 17. Pode–se visualizar, na Figura 18, as redes de ligação entre as palavras–chave.

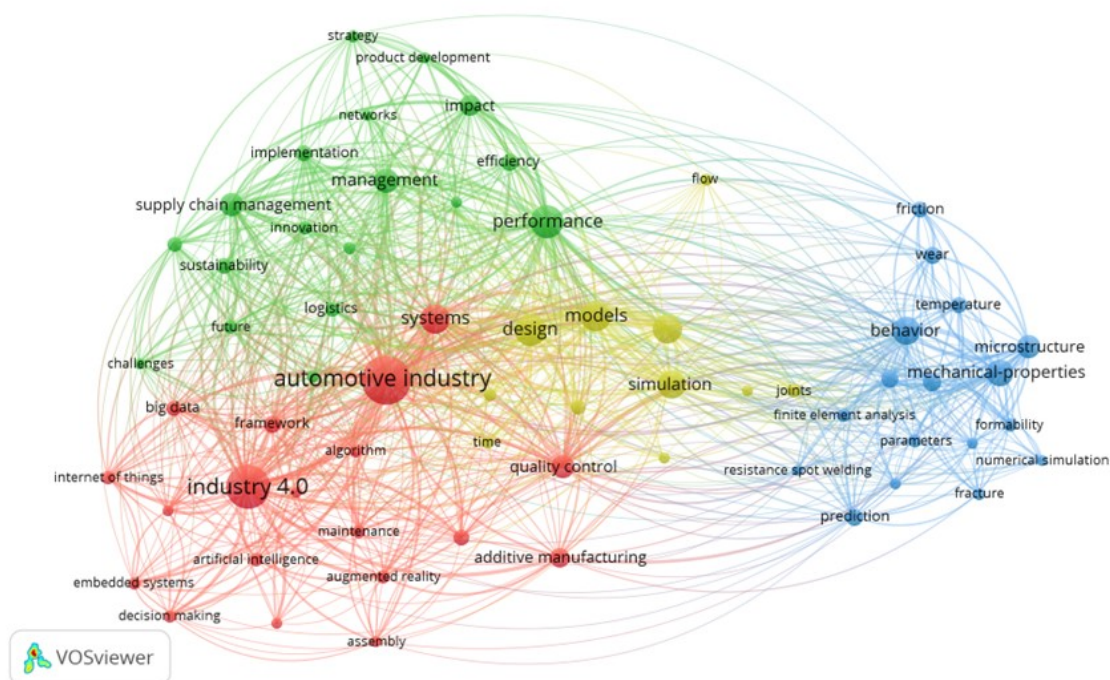
Figura 18 – Nuvem de palavras da Indústria Automotiva



Fonte: A autora (2023)

Dentre as palavras com mais ocorrência, relacionadas às tecnologias da Indústria 4.0, habilitadoras da transformação digital, estão: *Simulation*, *Big data*, *Additive manufacturing*, *Internet of Things*, *Augmented reality*, *Machine learning*, *Artificial Intelligence*, *Digital Twin* e *3d Printing*.

Figura 19 – Mapa de redes das palavras-chave



Fonte: A autora (2023)

As 65 palavras-chave foram agrupadas em *Clusters*, expostos no Quadro 9.

Quadro 8 – *Clusters* de Palavras-chave setor automotivo

<i>Clusters</i>	<i>Palavras-chave</i>
1	<i>additive manufacturing, algorithm, artificial intelligence, assembly, augmented reality, automobile manufacture, automotive industry, big data, decision making, digital twin, embedded systems, framework, industry 4.0, internet of things, machine learning, maintenance, quality control, smart manufacturing, systems</i>
2	<i>challenges, efficiency, future, impact, implementation, innovation, integration, logistics, management, manufacturing, networks, performance, product development, strategy, supply chain management, sustainability, technology, uncertainty</i>
3	<i>alloy, aluminum, behavior, finite element analysis (FEA), formability, fracture, friction, mechanical-properties, microstructure, numerical simulation, parameters, prediction, resistance spot welding, steel, strength, temperature, wear</i>
4	<i>design, flow, genetic algorithm, joints, methodology, models, optimization, simulation, time, topology optimization, vibration</i>

Fonte: A autora (2023)

O *cluster* 1 apresenta concentração em tecnologias de manufatura avançadas, como impressão 3D (*additive manufacturing*). Demonstra também o uso de algoritmos, inteligência artificial e aprendizado de máquina na manufatura. É possível observar tópicos relacionados a sistemas e tecnologias digitais, como Realidade Aumentada (*augmented reality*), internet das coisas e gêmeo digital (*digital twin*), sugerindo aplicação dessas tecnologias na indústria automotiva, com foco em tomada de decisões, manutenção inteligente e controle de qualidade.

O *cluster* 2 apresenta abordagem voltada para os desafios, eficiência e impactos na manufatura e na cadeia de suprimentos que a adoção das tecnologias da I4.0 pode trazer. O grupo demonstra ênfase na inovação, integração de tecnologias e estratégias de gestão, além de preocupação com a sustentabilidade e a incerteza que a transformação digital ainda traz para a indústria, ao mesmo tempo em que explora

as tecnologias emergentes e sua influência no desempenho e no desenvolvimento de produtos.

Os 17 itens do cluster 3 apresentaram foco em materiais metálicos, especialmente ligas de alumínio e aço, além do estudo do comportamento mecânico desses materiais com base em análise de elementos finitos, microestrutura e propriedades mecânicas. Traz também considerações sobre resistência, fricção, soldagem por resistência e simulações numéricas e pesquisas sobre propriedades de materiais e como elas são afetadas por temperatura e desgaste.

No quarto e último agrupamento, as palavras-chave demonstram, através de seus 11 termos, ênfase em *design*, otimização e simulação de sistemas e processos, bem como uso de algoritmos genéticos e modelagem para otimizar o *design* e a eficiência. Sugere também exploração de técnicas de simulação para entender o fluxo e a vibração em sistemas e juntas.

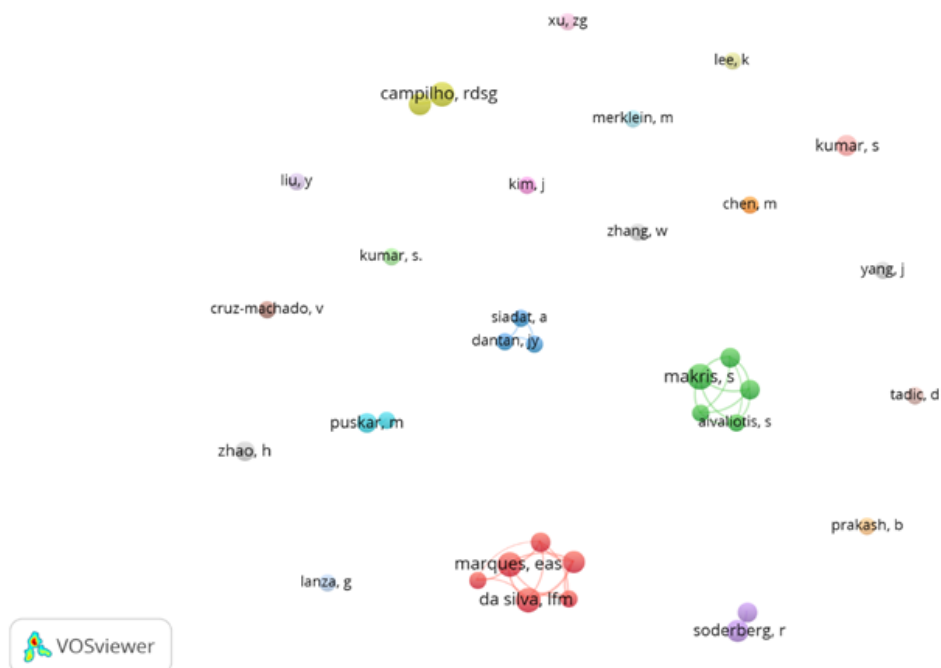
Em suma, esses *clusters* demonstram as áreas de pesquisa e desenvolvimento relacionadas à manufatura avançada, inovação, materiais metálicos, design e otimização de sistemas que estão em curso no segmento automotivo.

4.2.5 Rede de coautoria para indústria automotiva usando VOSviewer

O segundo mapa criado para ajudar a analisar o universo de pesquisas abrangendo a aplicação das tecnologias da estratégia indústria 4.0 no setor automotivo foi o de redes de relações de coautoria. Os 1.220 documentos recuperados da base WoS e os 175 estudos da base Scopus tiveram suas informações analisadas.

Ficou determinado como número mínimo de documentos de um autor 4 estudos. Dos 4.982 pesquisadores encontrados, 35 atingiram esse limite. Todos os autores foram exibidos, não apenas os que estavam ligados entre si. Os pesquisadores foram agrupados em 21 clusters, mas a partir do sétimo grupo, cada *cluster* conta com apenas um autor. O mapa gerado pelo software VOSviewer está exposto na Figura 20.

Figura 20 – Redes de coautoria para segmento automotivo



Fonte: A autora (2023)

A partir desses dados, tem-se uma visão geral dos autores ativos na pesquisa da indústria automotiva nos últimos 5 anos. Há uma diversidade de organizações listadas, incluindo universidades, instituições de pesquisa e institutos tecnológicos. Isso reflete a natureza interdisciplinar da pesquisa na indústria automotiva. Os autores estão distribuídos globalmente, com representação em países da Europa (Portugal, Grécia, Suécia), Ásia (Índia) e outras regiões. Isso sugere que a pesquisa na indústria automotiva é uma área globalmente relevante.

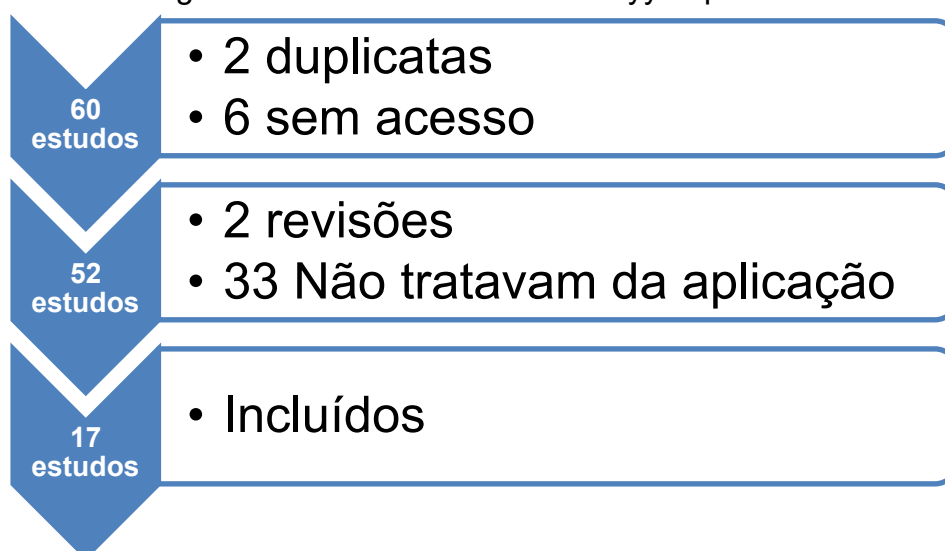
4.3 TRIAGEM NO SOFTWARE RAYYAN PARA A INDÚSTRIA TÊXTIL

Foram analisados os 60 documentos das duas bases de dados, com os 30 primeiros de cada lista organizados com base no critério de "mais relevantes". Em seguida, esses documentos foram exportados para o *software* online Rayyan.ai e passaram por uma verificação em busca de possíveis duplicatas, resultando na identificação de 4 documentos duplicados. Após uma análise detalhada, 2 desses documentos duplicados foram excluídos, deixando um total de 58 estudos únicos.

Posteriormente, os títulos e resumos dos 58 estudos foram revisados para selecionar aqueles que estavam mais alinhados com o objetivo do presente estudo. Nessa segunda triagem, 32 estudos foram excluídos porque não tratavam diretamente da aplicação das tecnologias da I4.0, mas sim de investigações relacionadas à conscientização das empresas sobre a transformação digital e suas tecnologias habilitadoras e outras questões relacionadas a recursos humanos.

Além disso, seis documentos foram excluídos porque não permitiam o acesso à íntegra dos estudos e dois deles era uma revisão da literatura. Após essa etapa de triagem, exposta na Figura 21, restaram 17 trabalhos relevantes, cujos arquivos em PDF foram exportados para o *software* Mendeley na versão *desktop*, atualização 1.19.8. Tais estudos foram considerados como a base principal para esse estudo.

Figura 21 – Triagem de estudos no software Rayyan para a indústria têxtil



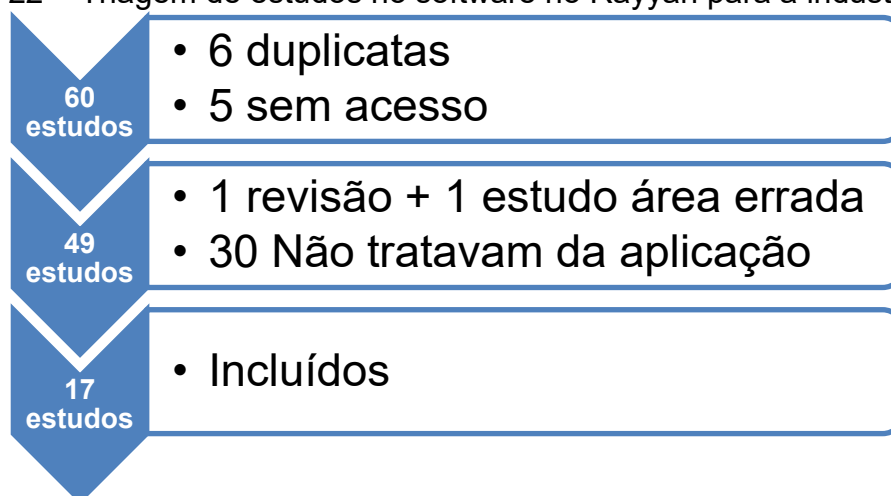
Fonte: A autora (2023)

Os 17 estudos incluídos foram escolhidos por tratarem efetivamente de pesquisas que envolvem, ainda que de maneira experimental, a aplicação de uma ou mais tecnologias emergentes da estratégia I4.0 em algum elo de sua cadeia.

4.4 TRIAGEM NO SOFTWARE RAYYAN PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Os 60 documentos de ambas as bases, sendo os 30 primeiros de cada listagem organizada pelo critério “mais relevantes”, foram exportados para o *software* on–line Rayyan.ai e passaram inicialmente por uma varredura em busca de possíveis duplicatas. Desses, 10 documentos estavam duplicados e, após análise, os 5 documentos repetidos foram excluídos, restando 55 estudos. Após esse processo, os títulos e resumos foram lidos para que se selecionasse os trabalhos mais alinhados ao objetivo do presente estudo. Nessa segunda triagem foram excluídos 30 estudos por não tratarem de aplicação das tecnologias em si, mas de investigações acerca da prontidão e consciência das empresas sobre a transformação digital e suas tecnologias habilitadoras. Outros cinco documentos foram excluídos por não permitirem acesso à íntegra dos estudos, um por se tratar de uma revisão, mais um por ter sido uma duplicata não detectada na triagem inicial e um último por tratar de um segmento diferente daqueles objetos desse trabalho. Terminada essa etapa, exposta na Figura 22, restaram 17 trabalhos.

Figura 22 – Triagem de estudos no software no Rayyan para a indústria automotiva



Fonte: A autora (2023)

Os 17 trabalhos resultantes dessa seleção foram então adicionados ao gerenciador Mendeley, versão desktop, e seus arquivos sob formato PDF anexados às informações bibliográficas para leitura crítica de seus conteúdos.

CENÁRIO DAS APLICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS ADVINDAS DA CHAMADA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NO SETOR TÊXTIL

Esse estudo revelou cenários distintos em relação ao uso das tecnologias da I4.0 em dois setores: o têxtil e o automotivo. A pesquisa empreendida demonstrou claramente que, no setor têxtil, o uso dessas tecnologias ainda está em estágio incipiente, com avanços relativamente limitados em comparação com outros setores industriais. Embora haja uma crescente conscientização sobre as vantagens potenciais da I4.0, a implementação efetiva nesse segmento tem sido gradual e, em muitos casos, limitada a experimentações e pilotos.

Questões como a complexidade das operações têxteis, a adaptação de infraestruturas existentes e a resistência à mudança têm desempenhado um papel significativo na moderação do progresso. Contudo, fica claro que o setor têxtil está começando a explorar e aprofundar seu envolvimento com a I4.0, reconhecendo a necessidade de melhorar a automação, qualidade, rastreabilidade e eficiência em suas operações.

A digitalização e a aplicação de tecnologias avançadas estão desempenhando um papel crescente na evolução desse setor. Todos os artigos sugerem que as tecnologias da Indústria 4.0 têm potencial para transformar o setor têxtil, destacando os benefícios potenciais das tecnologias da Indústria 4.0, como aprendizado de máquina, inteligência artificial e gestão da cadeia de suprimentos.

USO DAS TECNOLOGIAS DA I4.0 NA INDÚSTRIA TÊXTIL EM COMPARAÇÃO COM A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

O contraste entre a indústria têxtil e a indústria automotiva, em se tratando da aplicação das tecnologias emergentes da I4.0, é evidente. Com base nos estudos analisados, as tecnologias da I4.0 estão sendo implementadas nas indústrias têxtil e de automóveis, mas em graus variados.

Enquanto as tecnologias da Indústria 4.0 na indústria têxtil ainda estão em estágios iniciais de implementação, com foco em *softwares* e ferramentas para desenvolvimento de processos e produtos, o uso dos conceitos da I4.0 no processo de varejo da indústria automotiva, demonstra altos níveis de customização e melhores relações com os clientes.

A indústria automotiva abraçou as tecnologias emergentes da quarta revolução industrial para otimizar processos de manufatura, melhorar a qualidade do produto e atender às crescentes demandas dos consumidores. A automação, a análise de dados em tempo real e a conectividade em toda a cadeia de suprimentos tornaram-se parte integrante da indústria automobilística moderna.

A indústria têxtil somente agora tem estudado o uso de robôs em seus processos, como a aplicação de manipulação robótica para dobra de roupas (VERLEYSEN et al., 2020) ou o uso da tecnologia *blockchain* na rastreabilidade de sua cadeia de suprimentos (AGRAWAL et al., 2021).

A indústria automotiva já alcança níveis avançados de customização, chegando ao nível de desenvolver a Internet de Veículos Inteligentes (IoIV), que representa uma evolução da aplicação dos princípios da Internet das Coisas (IoT) no setor automotivo, promovendo avanços significativos tanto no âmbito dos veículos inteligentes quanto na automação industrial (SILVA et al., 2018).

Foi criado um sistema que possibilita a impressão 3D de peças a partir de materiais reciclados, permitindo a reintegração dessas peças no mercado (DE MATTOS NASCIMENTO et al., 2022) e usa *blockchain* para compartilhamento de veículos (FRAGA-LAMAS; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, 2019).

No geral, os documentos sugerem que, embora ambas as indústrias estejam a adotar tecnologias da Indústria 4.0, o nível de implementação e as áreas de foco diferem entre elas, com aplicação em maior escala no segmento automotivo.

PRINCIPAIS ÁREAS DE APLICAÇÃO AO LONGO DA CADEIA TÊXTIL

Os artigos mostram que uma das áreas que mais têm aplicado tecnologias da Indústria 4.0 é a área de produção, estudando o uso de robôs colaborativos para dobras de roupas (VERLEYSEN et al., 2020) e equipamentos de corte e costura, como o desenvolvimento de um novo equipamento, em caráter conceitual, capaz de produzir

golas e punhos para camisas de forma quase totalmente automática (SANTOS; CAMPILHO; SILVA, 2021).

Além disso, há ainda um trabalho a respeito do uso da estratégia de Gêmeo Digital para otimizar decisões de produção para o *fast fashion* (DOS SANTOS et al., 2021). Outra área em destaque é a logística, realizando a gestão da cadeia de suprimentos através do uso de tecnologias para rastreabilidade (Agrawal *et al.*, 2021) e otimização de estoque (TSAI, 2018). O varejo vem desenvolvendo soluções personalizadas de design de moda através de um sistema orientado por dados (Sharma *et al.*, 2021).

O Quadro 10 apresenta uma lista expondo as áreas e tecnologias mais utilizadas.

Autor	Setor	Tecnologia
(SANTOS; CAMPILHO; SILVA, 2021)	Confecção	Robótica (equipamento conceitual capaz de produzir golas e punhos para camisas de forma quase totalmente automática)
(AGRAWAL; KOEHL; CAMPAGNE, 2018)	Logística/ <i>Supply chain</i>	TAG (Fabricação, codificação e validação de uma etiqueta de segurança inovadora de dois fatores, baseada em aleatoriedade de partículas, que é impressa na superfície têxtil)
(LEE; LIN, 2021)	Confecção	Algoritmo; aprendizado de máquina e visão computacional (detecção de objetos com uso da visão computacional, com foco na aplicação dessa tecnologia no campo do vestuário de moda)
(BONNARD et al., 2021)	Produção (Chão de fábrica)	<i>Big Data/Analytics</i> (plataforma de computação em nuvem que coleta, armazena e processa dados dos chãos de fábrica)
(AGRAWAL et al., 2021)	Logística/ <i>Supply chain</i>	<i>Blockchain</i> (<i>Framework</i> de rastreabilidade baseado em <i>blockchain</i> para cadeias de suprimentos têxteis multinível)
(DOS SANTOS et al., 2021)	Produção (Chão de fábrica)	<i>Digital Twin (DT)</i> (Um <i>Digital Twin</i> focado no planejamento de recursos operacionais, tomada de decisões)
((TEN BHÖMER et al., 2019)	Design de produtos	<i>Software</i> preditivo (Ferramentas de design de software preditivo para designers de moda/ processo de personalização de malhas)

Autor	Setor	Tecnologia
(SHARMA et al., 2021)	Design de produtos/ Varejo	Big data/Realidade virtual em 3D (Sistema interativo de design para permitir que consumidores personalizem produtos de moda de acordo com suas preferências)
(TSAI, 2018)	PCP/Produção	Sensores (Usados em tempo real e sistemas de detecção para controlar o progresso da produção e atingir metas de planejamento)
(SERRAT; LUMBRERAS; RUIZ, 2018)	Varejo/Confecção	<i>Deep learning</i> (método automático para obter medidas precisas de uma única imagem de uma peça de vestuário, o que aceleraria o processo de medição manual feito antes do envio das roupas)
(OU et al., 2019)	Tecelagem (Tear malhas)	Sensores (Ao projetar cuidadosamente a estrutura do tricô com fios condutores e dielétricos, os pesquisadores descobriram que a resistência do tecido de tricô pode ser controlada programaticamente)
Verleysen <i>et al.</i> , (2020)	Produção (Chão de fábrica)	Sensores/ Aprendizado de máquina/ Robótica (Os pesquisadores aplicam o aprendizado por reforço para ensinar um agente físico a dobrar uma peça retangular de tecido com base em informações táteis)
Longo <i>et al.</i> , (2021)	Design de produtos/ Varejo	<i>Big data</i> (Plataforma <i>data-driven</i> para apoiar marcas de roupas na implementação de estratégias de personalização em massa)

Fonte: A autora (2023)

Os estudos refletem uma tendência crescente na indústria têxtil de adotar tecnologias da Indústria 4.0 para melhorar processos, produtos e serviços. A digitalização, análise de dados, automação e personalização estão se tornando elementos-chave para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades na indústria têxtil moderna.

5 CONCLUSÃO

De acordo com o observado nos estudos analisados, as áreas de logística (*supply chain*), confecção e produção, são os segmentos têxteis que estão buscando aplicar mais tecnologias em seus processos.

Foi possível observar que o setor automotivo aplica tecnologias da quarta revolução industrial em um grau mais avançado. Entretanto, o setor têxtil demonstra estar se aprofundando rumo à transformação digital de seus processos, ao longo de sua complexa cadeia. A implementação dessas tecnologias varia de empresa para empresa, mas em geral, a Indústria 4.0 está permitindo que a cadeia têxtil se torne mais ágil, eficiente, sustentável e orientada para o cliente, mantendo-se competitiva em um mercado global em constante evolução.

A indústria têxtil, em nível mundial, tem se mostrado hesitante na implementação da transformação digital, tanto por falta de conhecimento a respeito dessa estratégia como pela carência de apoio de governantes e executivos, tomadores de decisão. Ainda assim há algumas tecnologias que vem sendo usadas por esse segmento, como manufatura aditiva, robótica avançada e gêmeo digital.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Sugestões para futuras pesquisas:

- Realizar uma análise regional explorando como diferentes regiões do mundo estão adotando as tecnologias da Indústria 4.0 na indústria têxtil com o objetivo de investigar quais os fatores que podem estar influenciando possíveis diferenças no que se refere ao nível de adoção.
- Analisar estudos de casos em empresas têxteis que estão na vanguarda da adoção da Indústria 4.0, verificando os benefícios específicos que essas empresas obtiveram em termos de eficiência, qualidade e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, T. K. et al. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. **Computers and Industrial Engineering**, v. 154, n. May 2020, p. 107130, 2021.
- AGRAWAL, T. K.; KOEHL, L.; CAMPAGNE, C. A secured tag for implementation of traceability in textile and clothing supply chain. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 99, n. 9–12, p. 2563–2577, 6 dez. 2018.
- 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.
- BONNARD, R. et al. Big data/analytics platform for Industry 4.0 implementation in advanced manufacturing context. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 117, n. 5–6, p. 1959–1973, 2021.
- BRUNO, F. D. S. **A Quarta Revolução Industrial do Setor Têxtil e de Confecção: a Visão de Futuro para 2030**. [s.l: s.n.]. v. 2^a ed.
- CNI, C. N. DA I. A DIFUSÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 EM EMPRESAS BRASILEIRAS. p. 54, 2020.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, C. **Sondagem especial - Ano 21, n. 83 (Abril 2022)**. Brasília/DF: [s.n.].
- DE MATTOS NASCIMENTO, D. L. et al. A sustainable circular 3D printing model for recycling metal scrap in the automotive industry. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 33, n. 5, p. 876–892, 4 jul. 2022.
- DOS SANTOS, C. H. et al. Decision-making in a fast fashion company in the Industry 4.0 era: a Digital Twin proposal to support operational planning. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 116, n. 5–6, p. 1653–1666, 2021.

FRAGA-LAMAS, P.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry. **IEEE Access**, v. 7, p. 17578–17598, 2019.

HOQUE, M. A. et al. **Technology adoption in the apparel industry: insight from literature review and research directions**. **Research Journal of Textile and Apparel** Emerald Group Holdings Ltd., , 2 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RJTA-08-2020-0090/full/html>>. Acesso em: 11 jun. 2022

JÚNIOR, B. DE O. M. Setor têxtil- produção, comércio internacional e perspectivas para Brasil, Nordeste, Ceará e Pernambuco em 2021. p. 1–10, 2021.

KÜSTERS, D.; PRASS, 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.

LALIC, B.; RAKIC, S.; MARJANOVIC, U. Use of industry 4.0 and organisational innovation concepts in the Serbian textile and apparel industry. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, v. 27, n. 3, p. 10–18, 2019.

LEE, C.-H.; LIN, C.-W. A Two-Phase Fashion Apparel Detection Method Based on YOLOv4. **Applied Sciences**, v. 11, n. 9, p. 3782, 22 abr. 2021.

MAJUMDAR, A.; GARG, H.; JAIN, R. Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. **Computers in Industry**, v. 125, 2021.

OU, J. et al. SensorKnit: Architecting Textile Sensors with Machine Knitting. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 6, n. 1, p. 1–11, mar. 2019.

PAIS, M. A Indústria 4.0 como Vantagem Competitiva no Setor Automóvel Industry 4.0 as a Competitive Advantage in the Automotive Sector Mariana Pais e Clotilde Passos. v. d, p. 347–373, 2023.

PONIS, S. T.; LADA, C. Digital transformation in the Greek fashion industry: A survey. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, v. 14, n. 2, p. 162–172, 2021.

PRADO, M. V. **Brasil Têxtil 2022 - Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira (Resenha)**. São Paulo/SP: [s.n.].

SANTOS, P. M. M.; CAMPILHO, R. D. S. G.; SILVA, F. J. G. A new concept of full-automated equipment for the manufacture of shirt collars and cuffs. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 67, p. 102023, fev. 2021.

SERRAT, J.; LUMBRERAS, F.; RUIZ, I. Learning to measure for preshipment garment sizing. **Measurement**, v. 130, p. 327–339, dez. 2018.

SHARMA, S. et al. Development of an intelligent data-driven system to recommend personalized fashion design solutions. **Sensors**, v. 21, n. 12, 2021.

SILVA, M. et al. A customer feedback platform for vehicle manufacturing compliant with industry 4.0 vision. **Sensors (Switzerland)**, v. 18, n. 10, p. 3298, 1 out. 2018.

STANOJESKA, M. INDUSTRY 4 . 0 : AN INNOVATIVE SOLUTION FOR MONITORING THE PRODUCTION PROCESS AND QUALITY CONTROL IN A TEXTILE FACTORY. **XII International Symposium Engineering Management and Competitiveness 2022 (EMC 2022)**, n. August, p. 7, 2022.

STULGA, P. et al. Towards Sustainable Manufacturing with Industry 4.0: A Framework for the Textile Industry. **Proceedings of the Design Society**, v. 2, p. 283–292, 26 maio 2022.

TAIFA, I. W. R.; LUSHAJU, G. G. Establishing basic requirements for textile and garment mass production units in the Tanzanian context. **Research Journal of Textile and Apparel**, v. 24, n. 4, p. 321–340, 2020.

TEN BHÖMER, M. et al. Designing Predictive Tools for Personalized Functionalities in Knitted Performance Wear | Disseny d'eines predictives per obtenir funcions personalitzades en peces de roba esportiva de punt | Diseño de herramientas

predictivas para obtener funciones perso. **Temes de Disseny**, v. 2019, n. 35, p. 42–75, 2019.

TSAI, W.-H. Green production planning and control for the textile industry by using mathematical programming and industry 4.0 techniques. **Energies**, v. 11, n. 8, 2018.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. VOSviewer manual. **Leiden: Univeriteit Leiden**, n. January, p. 54, 2023.

VERLEYSSEN, A. et al. Simpler Learning of Robotic Manipulation of Clothing by Utilizing DIY Smart Textile Technology. **Applied Sciences**, v. 10, n. 12, p. 4088, 13 jun. 2020.

WANG, B.; HA-BROOKSHIRE, J. E. Exploration of Digital Competency Requirements within the Fashion Supply Chain with an Anticipation of Industry 4.0. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, v. 11, n. 3, p. 333–342, 2018.

YUAN, Y.; HUH, J.-H. Customized CAD modeling and design of production process for one-person one-clothing mass production system. **Electronics (Switzerland)**, v. 7, n. 11, 2018.