

INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES: A DIAGNOSTIC TOOL DEVELOPED IN THE TEXTILE AND APPAREL SECTOR

Ana Julia Dal Forno - UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2441-5385>

Walakis Vieira Bataglini - UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8462-4897>

Fernanda Steffens - UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3402-3641>

Antonio Augusto Ulson De Souza - UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7115-2621>

Presenting a diagnostic instrument of the maturity of industry technologies 4.0 (Internet of things, cloud computing, big data, autonomous robots, 3d impression, increased reality, virtual simulation, horizontal integration and vertical systems and cybersecurity), adapted for the textile and apparel sector. Development of a diagnosis instrument for the maturity of industry technologies 4.0, adapted for the textile and confectionery, which can be tested in other sectors. The same has a score and visual management, with questions categorized in Likert 5. Review of literature with the terms "Industry 4.0" and "Textile" of 2011 until August 2019 in the databases and treated with SCIMAT software after a questionnaire with 49 questions, divided into five categories and applied in 19 departments and 72 people of the SC textile industry. The results of the diagnosis pointed out that the level of implementation of industry 4.0 in the textile area is still found at the stage of computerization, being considered the first (traditional) level, advancing subsequently in this order for connectivity levels, visibility, predictability and adaptability of the processes. The developed diagnostic tool can be used for both the company's internal evaluation, and for its positioning with its competitors, involving several companies in the same sector. There is also advancing industry literature 4.0 for the textile sector. It is possible to carry out an internal benchmarking in the company by detecting the strengths and weaknesses, as well as involving a multidisciplinary team of employees. Comparisons and improvements can be carried out by dimensions or sectors, which motivates the application and evaluation constant improvements.

Keywords: Industry 4.0, Technologies, questionnaire, benchmarking, diagnosis, Textile company, fourth industrial revolution

TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0: UM INSTRUMENTO PARA DIAGNÓSTICO APLICADO NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO

Apresentar um instrumento de diagnóstico da maturidade das tecnologias da indústria 4.0, adaptado para o setor têxtil e de confecção, construído com base nos referenciais tecnológicos que sustentam este processo evolutivo industrial. Desenvolvimento de um instrumento de diagnóstico da maturidade das tecnologias da Indústria 4.0, adaptado para o setor têxtil e de confecção, que pode ser testado em outros setores. O mesmo possui pontuação e gestão visual, com perguntas categorizadas em Likert 5. Revisão de literatura com os termos "industry 4.0" e "têxtil" de 2011 até agosto de 2019 nas bases de dados e tratadas com software SciMAT. Após desenvolvido questionário com 49 questões, divididas em cinco categorias e aplicado em 19 departamentos e 72 pessoas da indústria têxtil de SC. Os resultados do diagnóstico apontaram que o nível de implementação da Indústria 4.0 na área têxtil ainda se encontra no estágio da informatização, sendo considerado o primeiro nível (tradicional), avançando posteriormente nesta ordem para níveis de conectividade, visibilidade, previsibilidade e adaptabilidade dos processos. A ferramenta de diagnóstico desenvolvida pode ser utilizada tanto para a avaliação interna da empresa, quanto para o seu posicionamento com relação aos seus concorrentes, envolvendo várias empresas de um mesmo setor. Também há o avanço da literatura de indústria 4.0 para o setor têxtil. Através da utilização deste instrumento de avaliação é possível realizar um benchmarking interno na empresa detectando os pontos fortes e fracos, assim como envolver uma equipe multidisciplinar de colaboradores. As comparações e melhorias podem ser realizadas por dimensões ou setores, o que motiva a aplicação e avaliação constantes de melhorias.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Tecnologia, Questionário, Indústria têxtil, Benchmarking, Quarta Revolução Industrial, Diagnóstico

Tecnologias da Indústria 4.0: um instrumento para diagnóstico aplicado no setor têxtil e de confecção

1. Introdução

O tema indústria 4.0 vem ganhando cada vez mais destaque no meio acadêmico e empresarial. Uma pesquisa realizada pelos autores na base de dados *Google acadêmico*, identificou que, apenas ao longo do ano de 2020, foram publicados mais de 3010 documentos com essa palavra aparecendo no título do documento. Este grande número de trabalhos dedicados ao referido tema pode ser justificado pela busca de meios para alcançar os principais objetivos de gestão, comuns às indústrias em geral, como incremento na produtividade, melhor eficiência, linhas de produção mais flexíveis, diminuição nos custos e melhor alocação de recursos (KAGERMANN, et al., 2013; CNI, 2018).

A Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial é uma evolução das revoluções que a antecederam, desde o advento das máquinas a vapor, passando pelo uso da energia elétrica e a criação das linhas de montagem, informatização dos processos industriais, chegando à introdução de tecnologias como Internet of Things (IoT) e a criação dos assim chamados *Cyber-Physical Systems* (CPS) nos ambientes das fábricas (KAGERMANN et al., 2013; BLANCHET et al., 2014; GAUSEMEIER, 2016).

No Brasil, o desenvolvimento da Indústria 4.0 está concentrado nas indústrias de grande porte, localizadas nas áreas de maior concentração comercial. Um cenário industrial projetado para 2030 faz uma previsão de que o país se tornará um dos principais mercados consumidores dos componentes dessa revolução, tanto de serviços quanto de tecnologias, mas ainda há a necessidade de se desenvolver internamente no que diz respeito às tecnologias que integram esse conceito (GAUSEMEIER, 2016).

O Brasil ocupa a 71ª posição, dentre 141 países, num ranking sobre potencial de implementação e nível de desenvolvimento da Indústria 4.0, podendo vir a configurar-se como um grande mercado consumidor das tecnologias emergentes para a área de manufatura (SCHWAB, 2019).

Segundo a Confederação Nacional da Indústria, o percentual de empresas que adotaram ao menos uma das tecnologias emergentes que compõem a Indústria 4.0, no período compreendido entre 2016 e 2018, cresceu 10% e em 2020, dentre as companhias de grande porte, aproximadamente 60% estavam usando algum conceito da quarta revolução, mesmo que em estágio inicial (CNI, 2020).

Diante desse cenário, o objetivo desse artigo é desenvolver e aplicar um instrumento de diagnóstico da maturidade das tecnologias da indústria 4.0 no setor Têxtil e de Confecção. Como parte desta ferramenta, foi elaborado um questionário como meio de coleta de dados. A validação deste instrumento de avaliação foi realizada em uma indústria do setor têxtil e de confecção situada no norte do estado de Santa Catarina, Brasil. Esta escolha se deve ao fato que o Estado de Santa Catarina se destaca no cenário brasileiro por ser considerado um cluster têxtil, com grandes empresas dos diferentes setores que compõem a Indústria Têxtil, desde fiações, tecelagens e malharias.

Esse artigo está estruturado em cinco seções, além da introdução. Na segunda seção, é apresentada a metodologia adotada para realização deste trabalho. Posteriormente, são apontados exemplos encontrados na revisão sistemática da literatura de aplicações dos princípios, práticas e tecnologias da indústria 4.0 dentro setor têxtil e de confecção. As seções seguintes abordam o processo de desenvolvimento e de aplicação da ferramenta desenvolvida. A seção 6 é dedicada às conclusões sobre a ferramenta de diagnóstico

desenvolvida e o nível de implementação da Indústria 4.0 dentro do setor têxtil e, por fim, as referências são listadas.

2. Metodologia

A metodologia proposta iniciou com a revisão sistemática da literatura a partir da utilização do *software* SciMAT. Após, seguiu-se para a elaboração de um questionário voltado para a verificação dos índices de maturidade das tecnologias componentes e das dimensões da indústria 4.0 na área têxtil e de confecção. O questionário foi validado, aplicando-o aos funcionários de diferentes setores da empresa selecionada para o estudo. Em seguida, os resultados obtidos a partir da aplicação do questionário foram analisados e foi realizada a verificação do posicionamento da empresa em relação as tecnologias componentes da Indústria 4.0. A Figura 1 apresenta a sequência das etapas da pesquisa.

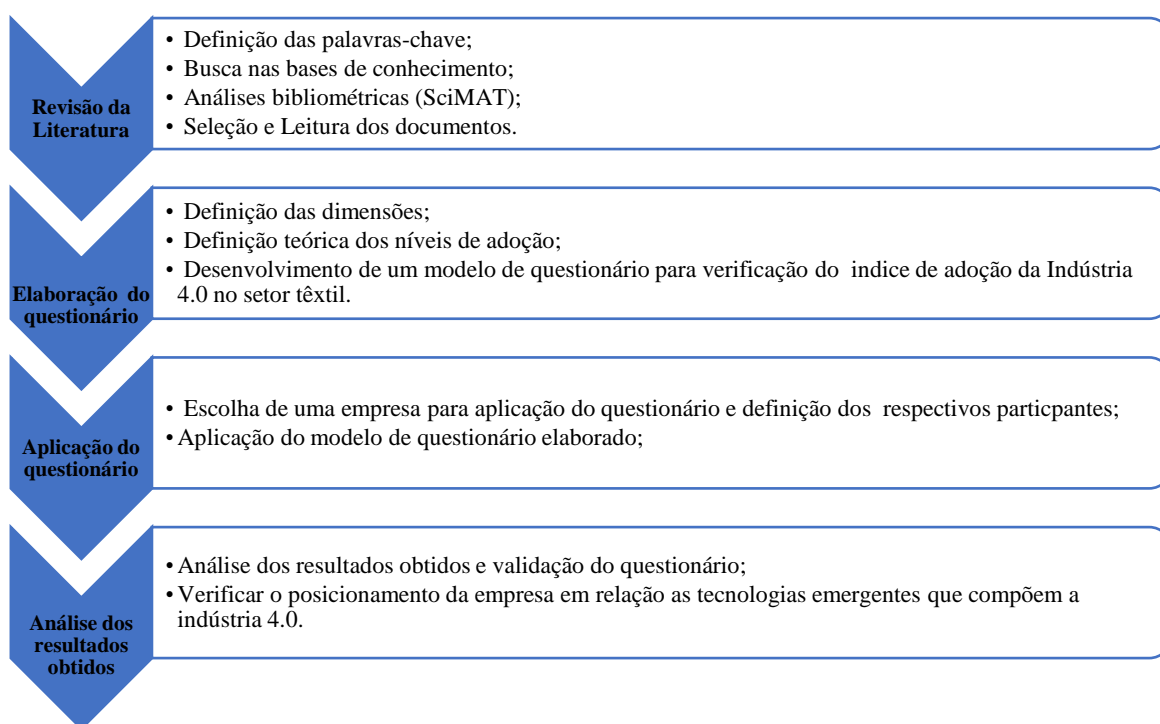


Figura 1 – Etapas da pesquisa. Fonte: elaborado pelos autores.

3. Revisão de Literatura

Os critérios definidos para seleção de documentos nas plataformas *Web of Science* e *Scopus* foram as publicações em inglês de janeiro de 2011 até 30 de agosto 2019, que em algum lugar da sua estrutura apresentavam a ocorrência simultânea das palavras “*Textile*” e “*Industry 4.0*” ou “*Textile*” e “*Industrie 4.0*”. A pesquisa nas plataformas resultou em 277 documentos que tiveram seus dados bibliométricos importados. O SciMAT (*Science Mapping Analysis Tool*) foi o *software* escolhido para o mapeamento, dada a sua capacidade de classificação, análise e processamento de dados. Outro fator relevante para esta escolha, foi que os relatórios emitidos pelo *software*, durante a análise, consideram medidas bibliométricas de qualidade (*h-index*, número de citações) (COBO, 2012).

O foco desse trabalho é a apresentação do instrumento de avaliação desenvolvido, e a revisão de literatura irá abordar os trabalhos que auxiliaram na elaboração do questionário tais como as vantagens e as tecnologias da indústria 4.0 – Internet das Coisas, Computação em nuvem, Big data, robôs autônomos, impressão 3D/manufatura aditiva, realidade

umentada, simulação virtual, integração horizontal e vertical de sistemas e cibersegurança, sendo este conjunto de tecnologias representado na Figura 2.

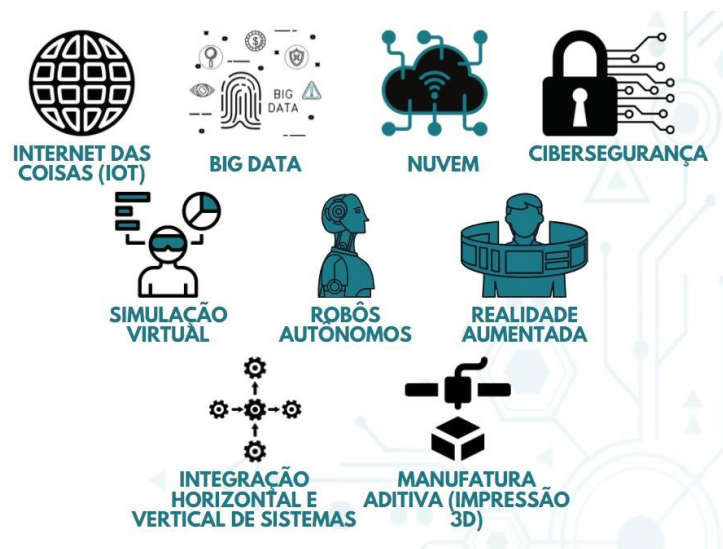


Figura 2 – Tecnologias emergentes da Indústria 4.0. Fonte: os autores.

A Tabela 1 apresenta as oportunidades encontradas na literatura de aplicação das tecnologias componentes do conceito de Indústria 4.0 dentro da área têxtil.

Tabela 1 – Tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na área têxtil. Fonte: elaborado pelos autores.

<i>Tecnologia</i>	<i>Aplicação na área têxtil</i>
IOT	Utilizada principalmente para conexão e transferência de informação através das fábricas, fornecedores e clientes, que por intermédio da tecnologia, podem participar dos processos de desenvolvimento, melhoria e manufatura de produtos (XIA et al., 2012; LU, 2017; GONZALES et al., 2010;). Um exemplo é no planejamento e controle do processo produtivo: através da utilização das tecnologias IoT e CPS, informações referentes ao cliente, o produto e o processo são obtidos em tempo real, possibilitando o planejamento e a gestão da cadeia têxtil e de confecção a partir da verificação da capacidade real da fábrica, o status do processo e o desejo do cliente (LIAO et al., 2019; XIA et al., 2012; SURJIT et al., 2017).
Cloud Computing	A indústria têxtil e confecção tem encontrado na tecnologia da computação em nuvem oportunidades de criar novos modelos de negócios, bem como melhorar o fluxo de informações ao longo de sua cadeia e reduzir custos (DAMODARAM et al., 2010). Um exemplo é percebido na produção de itens personalizados no vestuário: através de serviços de computação em nuvem e a internet, plataformas de desenvolvimento compartilhado e serviços de customização de produtos têm sido utilizados como meio de envolver o cliente no processo, viabilizando assim, a produção de produtos personalizados (FERNÁNDEZ-CARAMÉS E FRAGA-LAMAS, 2019; JAIN et al., 2017; HASEEB, et al., 2019).

Big Data	As áreas de aplicação da tecnologia Big Data no segmento têxtil podem contemplar toda cadeia de valor, na qual, apoiada pelas tecnologias de IoT e computação em nuvem, transforma seus dados gerados ao longo da cadeia em informações que auxiliam as indústrias na busca por estratégias mais competitivas, assim como oferece incentivo para a criação de novos modelos de negócio (SHARMA et al., 2019; CLOPPENBURG et al., 2017). Em um exemplo de aplicação no segmento de moda, dados são coletados na rede mundial de internet (redes sociais, propaganda, catálogos virtuais) são processados e transformados em relatórios estatísticos com informações valiosas, como tendências, perfis e comportamentos dos clientes (SCHWAB, 2019; GHANI et al., 2015). Estas informações permitem um melhor planejamento da coleção, bem como proporcionar o desenvolvimento eficaz e personalizado de produtos (JAIN et al., 2017; CHEN et al., 2017; ACHARYA et al., 2018; SALAH et al., 2014);
Robótica Industrial	A indústria têxtil e de confecção, perante os desafios de redução de custos e escassez de mão-de-obra qualificada, tem aumentado significativamente o uso da robótica, principalmente em seus processos produtivos, logísticos e de estocagem (JU, 2014; HASEEB <i>et al.</i> , 2019). Um exemplo de aplicação na Manufatura têxtil são os cobots robôs que podem executar atividades colaborativas com os humanos, como dobrar peças, coletar pacotes, preparar lotes e embalar produtos (ANWAR <i>et al.</i> , 2018; KARABEGOVIĆ, 2017; GUIZZO, 2018; ŠKRINJAR <i>et al.</i> , 2018).
Manufatura Aditiva	O interesse em torno da impressão 3D no universo têxtil tem aumentado consideravelmente, com propostas de aplicação da tecnologia em artigos convencionais ou inovadores, como os chamados têxteis inteligentes (LEIST, 2017). No vestuário já é possível assistir desfiles onde modelos usam acessórios ou vestuários completos produzidos a partir da MA (SCHWAB, 2019; CELASCHI, 2017; ARRIBAS <i>et al.</i> , 2018). Um outro exemplo é aplicação 3D sobre um substrato têxtil: a partir da técnica de impressão de FDM, os filamentos depositados, depois de solidificados, formam a estrutura 3D impressa, sendo utilizados como decoração no vestuário (SABANTINA, 2015).
Realidade Aumentada	A necessidade de eliminar qualquer atividade que não agregue valor ao produto final tem levado as empresas a entrar na corrida da produção tecnológica proporcionada pela quarta revolução industrial (SCHWAB, 2019; SAGGIOMO <i>et al.</i> , 2016). Neste contexto, a Realidade Aumentada, quando aplicada na área têxtil propõe novas formas de atuação para o desenvolvimento de produto, treinamento produtivo, processos de manufatura e comércio. Um exemplo de aplicação, apresenta um sistema de assistência virtual baseada em RA que, atua como apoio nas estações de trabalho, fornecendo informações visuais ao colaborador, incluindo especificidades da tarefa (sequência de execução, posicionamento de peças, tempo de duração) ou a localização de objetos, com suas respectivas descrições e funcionalidades (SAGGIOMO et al., 2016; KRITZINGER et al., 2018);
Simulação	Na área têxtil, a tecnologia tem sido utilizada por áreas que vão desde o desenvolvimento de produto, manufatura até o varejo (XIA et al., 2012; GONZALEZ et al., 2010; SCHWAB, 2019). Um exemplo é utilização da

Cibersegurança	<p>tecnologia de simulação no processo Desenvolvimento de produtos, onde através da utilização de softwares de design e modelagem em 3D é possível criar um protótipo virtual do produto têxtil, simulando com fidelidade seu aspecto, caimento, movimentos e aplicação (SABANTINA et al., 2015; VOLINO E CORDIER et al., 2005; SILVA et al., 2016).</p> <p>A cibersegurança pode ser definida como uma tecnologia que emprega um conjunto de ferramentas, políticas e ações com objetivo de proteger dados, informações, serviços e sistemas de uma organização das ameaças cibernéticas (MOURTZIS, 2019; GOES, 2019; LIU <i>et al.</i>, 2012).</p>
-----------------------	--

4. Construção do questionário

A contribuição principal deste trabalho é o desenvolvimento de um instrumento de diagnóstico da maturidade das tecnologias da Indústria 4.0, adaptado para o setor têxtil e de confecção, inovador na área, construído com base nos referenciais tecnológicos que sustentam este processo evolutivo industrial.

Para estruturação do instrumento investigativo, verificou-se critérios e modelos de questionários desenvolvidos e validados em outros setores industriais, bem como, a definição das dimensões analisadas. O questionário escolhido como modelo base foi proposto pela IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* (LICHTBLAU et al., 2015), desenvolvido pela Associação Alemã de Fabricação de Máquinas e Instalações Industriais (VDMA).

São cinco dimensões de questões: Demografia, Tecnologias, Estratégia, Habilidades digitais e Benefícios da implementação do conceito de indústria 4.0. O questionário utilizou a escala de Likert 5, na qual cada questão tinha como opções os níveis de 0 (inexistente) até 4 (adaptabilidade), de acordo com a realidade da empresa. Na Tabela 2 é detalhado cada um dos níveis adotados.

Tabela 2 - Nível das respostas do questionário

Nível	Descrição
0 - Inexistente	Inexistente ou sem potencial de aplicação, todas as atividades são executadas manualmente, não existe nem informatização nem automatização dos processos.
1 - Informatização	Planejamento e desenvolvimento de projetos iniciais para Indústria 4.0; existe algumas atividades automatizadas e os processos são informatizados, mas não conectados.
2 - Conectividade	Projetos iniciais de Indústria 4.0 implementados, benefícios já são observados; a maioria das atividades são automatizadas e os processos são informatizados e conectados com áreas específicas.
3 - Previsibilidade	Projetos de Indústria 4.0 implementados, benefícios e retorno econômicos já são observados; atividades automatizadas e os processos são informatizados e conectados com todas as áreas específicas de seu contexto de atuação, obtendo seus respectivos dados em tempo real, permitindo simular diversos cenários para tomada de decisão.
4 - Adaptabilidade	Projetos maduros e sólidos; benefícios e retornos econômicos são claros, atividades automatizadas e os processos são informatizados e conectados com toda a fábrica, informações referentes ao produto e o processo são obtidas em tempo real, permitindo simular diversos cenários para tomada

	de decisão, onde os dispositivos são capazes de trocar autonomamente as informações, desencadeando ações e controles de forma independente.
--	---

As questões da Dimensão 1 estão relacionadas aos dados iniciais dos respondentes, tais como área de atuação, função, idade, grau de escolaridade e área de formação acadêmica, definindo o perfil do indivíduo.

A Dimensão 2 possui questões que estão direcionadas para as tecnologias da indústria 4.0 (Tabela 3).

Tabela 3 - Questões da Dimensão 2 (Tecnologias). Fonte: os autores.

<i>Questão</i>	<i>Tecnologia</i>	<i>Descrição</i>
1	Internet das coisas	Nível de implantação das redes de equipamentos, sensores e ou dispositivos móveis conectados à internet que compartilham dados e informações.
2	Internet das coisas	Quantidade de equipamentos/sistemas que estão conectados e podem ser controlados pela rede
3	M2M	Grau de comunicação e interação entre as máquinas e outros dispositivos computacionais (sensores, atuadores)
4	Tecnologias de rastreamento	Utilização das tecnologias de rastreamento (RFID, sensores) para obter em tempo real informações sobre o produto, o processo ou o cliente.
5	Integração de sistemas	integração e colaboração entre máquinas/sistemas locais com os equipamentos de outros setores da empresa
6	Monitoramento remoto	Quantidade de equipamentos, produtos ou serviços com monitoramento remoto
7	Computação em nuvem	Nível de utilização dessa tecnologia no setor do respondente (recursos computacionais de armazenamento de arquivos, equipamentos virtuais, banco de dados, redes e softwares acessados remotamente através da internet)
8	Acesso remoto de sistemas	Disponibilidade de acesso remoto através da internet de sistemas e softwares usados para gestão e produção do setor
9	Conectividade e interoperabilidade	Nível de integração e comunicação dos equipamentos e sistemas locais com a fábrica
10	Flexibilidade dos sistemas computacionais	Nível de disponibilidade em reduzir ou aumentar o serviço contratado de armazenamento de arquivos, equipamentos virtuais, banco de dados, redes e softwares
11	Big Data	Nível de implantação da tecnologia Big Data no setor do respondente (coleta, armazenamento, processamento e análise de um grande conjunto dados, de diferentes fontes e formatos, com objetivo de fornecer informações úteis para tornar a gestão dos processos mais eficiente e inteligente)

12	Automatização da coleta de dados	Grau de automação da coleta de dados (estoque, tempo do processo, percentual de segunda qualidade, eficiência ou taxa de ocupação)
13	Nível de transformação dos dados para personalização de produtos ou serviços	Quantidade de dados coletados que são transformados em informações específicas para desenvolvimento de produtos ou serviços personalizados ao cliente.
14	Nível de transformação dos dados para tomada de decisão	Quantidade de dados coletados que são transformados em informações específicas para a gestão do processo, melhoria do produto ou atendimento do cliente
15	Robôs colaborativos	Nível de implantação dessa tecnologia no setor do respondente (equipamentos com sensores de percepção de movimento, desenvolvidos para auxiliar ou executar tarefas normalmente atribuídas a seres humanos)
16	Nível de autonomia dos robôs	Onde 4 corresponde a tarefas complexas, realizadas automaticamente sem a supervisão do indivíduo, 1 representa a execução de tarefas simples, operadas ou supervisionadas por uma pessoa e 0 corresponde a nenhuma utilização da robótica.
17	Impressão 3D (Manufatura Aditiva)	Nível de impressão (modelos físicos desenvolvidos por intermédio da impressão de dados, que podem ser produtos completos ou partes deles, provenientes de um modelo virtual, sendo fabricados diretamente por meio da impressão)
18	Realidade Aumentada	Nível de implantação dessa tecnologia no setor do respondente (combinação de objetos reais e virtuais em um ambiente real, oferecendo aos usuários uma percepção de profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos)
19	Simulação Virtual	Nível de virtualização do processo, produto ou sistema de produção, gerada por computador, incluindo etapas de fabricação, materiais utilizados, produtos, máquinas, movimentos e até pessoas.
20	Grau da simulação virtual	Grau de desenvolvimento e análise de produto por meio de simulações virtuais
21	Simulação de processos	Quantidade de processos que usam a tecnologia para simular cada etapa de seu processo, permitindo visualizar diferentes cenários para tomadas de decisão.
22	Cópia virtual do processo	Nível na qual a tecnologia de simulação é utilizada para criar uma cópia virtual do processo, sincronizando o sistema teórico com a realidade e

		vice-versa, através de dados coletados em tempo real.
23	Integração de Sistemas	Nível de implementação dessa tecnologia no setor do respondente (conexão dos sistemas internos de informação tais como ERP, MES, CAD, SCADA, PLM, onde dados referentes a recursos, máquinas e processos estão completamente integrados, proporcionando uma visão sistêmica e atuação coordenada dos processos na empresa.
24	Integração horizontal	Nível de implementação dessa tecnologia no setor do respondente (conexão de sistemas de informação externos à fábrica tais como SCM, CRM, PLM; onde informações e dados referentes a cadeia de valor podem ser compartilhados, promovendo colaboração entre a fábrica, fornecedores e clientes.
25	Cibersegurança	Nível de implementação dessa tecnologia no setor do respondente (conjunto de ferramentas, técnicas, políticas e ações com objetivo de proteger dados, informações, serviços e sistemas de uma organização das ameaças cibernéticas).
26	Segurança da nuvem	Nível de concretização de soluções que visam a segurança dos dados armazenados internamente ou na nuvem.
27	Segurança dos dados	Nível de implementação de soluções que visam garantir a integridade, autenticidade e privacidade dos dados compartilhados dentro e fora da empresa.
28	Segurança dos serviços digitais	Nível de implementação de soluções que visam garantir a disponibilidade e o funcionamento correto dos serviços digitais utilizados através da internet para criar, produzir ou comercializar produtos

A Dimensão 3, teve como objetivo avaliar o grau de implementação do conceito da indústria 4.0 nos processos, investimentos realizados, projetos e acompanhamento dos mesmos. A Dimensão 4, nomeada “Habilidades Digitais”, objetivou verificar o nível de conhecimento dos colaboradores em relação à Indústria 4.0, bem como suas respectivas tecnologias componentes, distribuídas em cinco questões.

Por fim, a última Dimensão, denominada “Benefícios da Implantação do Conceito da Indústria 4.0”, compreendeu sete questões referente ao grau de percepção do respondente quanto às vantagens dessa revolução, tais como: personalização em massa; flexibilidade; tomadas de decisão com base em dados atualizados; maior produtividade; novos modelos de negócios; e o equilíbrio entre a vida pessoal e o trabalho.

5. Resultados

Antes da aplicação efetiva do instrumento de diagnóstico desenvolvido, foi realizado uma análise prévia do modelo elaborado, onde foram selecionados sete profissionais, sendo três engenheiros têxteis, dois engenheiros de produção e dois engenheiros químicos. Após a

entrega dos questionários respondidos, realizou-se uma entrevista com cada participante para incorporar as contribuições dos mesmos no aprimoramento do instrumento de diagnóstico, como melhoria da redação de questões para torná-las mais acessíveis ao público alvo.

5.1 Definição da amostra

Na escolha da empresa para aplicação do instrumento de diagnóstico desenvolvido, considerou dois critérios: representatividade da empresa no setor e na região; diversidade de processos desenvolvidos em sua cadeia produtiva. A empresa escolhida está localizada no Norte do Estado de Santa Catarina, Sul do Brasil. Sua atividade é concentrada na produção de artigos de vestuário, possuindo marcas próprias de moda infantil e adulta, produzindo anualmente cerca de 23 milhões de peças.

Os participantes selecionados para a aplicação do questionário na empresa são colaboradores que atuam nos níveis técnicos/analistas, coordenadores e supervisores, nos diferentes setores: Desenvolvimento de Produto; Modelagem; Engenharia de Produto; Engenharia de Decoração (setor responsável pela viabilidade técnica e cálculos de custo de aviamentos, entre outros acessórios decorativos); Engenharia de Processos (setor relacionado aos programas de melhoria contínua e inovação); Sala de Malhas; Corte; Estamparia; Bordado; Costura; Controle de Qualidade; Dobração; Expedição; Distribuição; Planejamento e Controle de Produção (PCP); Suprimentos/Almoxarifado; Manutenção; Tecnologia de Informação; e Gestão de Pessoas.

A aplicação do questionário aconteceu entre os dias 05 e 12 de maio de 2021, estando o mesmo disponível na plataforma *Google Forms*¹, assim como o vídeo introdutório².

5.2 Resultados da aplicação do questionário

Para a validação do instrumento de avaliação instrumento desenvolvido para diagnóstico de maturidade das tecnologias da Indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção, o questionário foi aplicado para uma população amostral de 72 pessoas da indústria selecionada.

O nível de maturidade de cada uma das tecnologias componentes do conceito de Indústria 4.0, na empresa participante, é apresentada de forma resumida pelo gráfico da Figura 3.

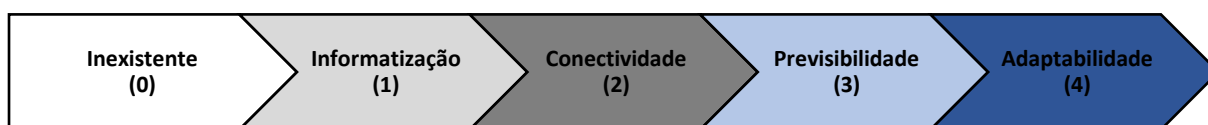


Figura 3 – Radar 4.0 global das tecnologias emergentes. Fonte: elaborado pelos autores.

Analisando a Figura 3 verifica-se que para os respondentes da empresa participante as tecnologias de Cibersegurança (2,30), Computação em nuvem (2,28), IoT (2,13), e Big Data (2,09) são as que se encontram em um nível de maior maturidade dentro da organização, posicionando-se no nível 2, que se refere a conectividade. Observa-se, portanto, a existência de projetos iniciais implementados, sendo a maioria das atividades automatizadas e os processos informatizados e conectados.

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSelugdJnnFC6ht8wuZo6wvmzqj5bp5gDvX0wtPFGW2qij0Wyy/viewform>¹

<https://www.youtube.com/watch?v=Gfn9TBfCKvE>.²

As tecnologias de Integração dos sistemas de informação (1,85) e Simulação (1,16) foram avaliadas como nível 1 de maturidade, encontrando-se na fase de informatização. Ou seja, os projetos de implementação estão sendo planejados e alguns em fase de desenvolvimento; existem processos executados já informatizados, mas não conectados.

Ainda sobre a Figura 4, observa-se também que as tecnologias Robótica (0,71), Realidade Aumentada (0,42) e Manufatura Aditiva (0,30) são, segundo os respondentes, as tecnologias que se encontram em um nível de menor maturidade dentro de todas as avaliadas, posicionando em um momento de transição entre nível 0 (Inexistente) e o nível 1 (Informatização).

Um fato relevante é que os resultados apresentados são uma média das 19 áreas participantes, que se analisadas individualmente apresentam uma análise distinta do Radar Global, como ilustrado na Figura 4.

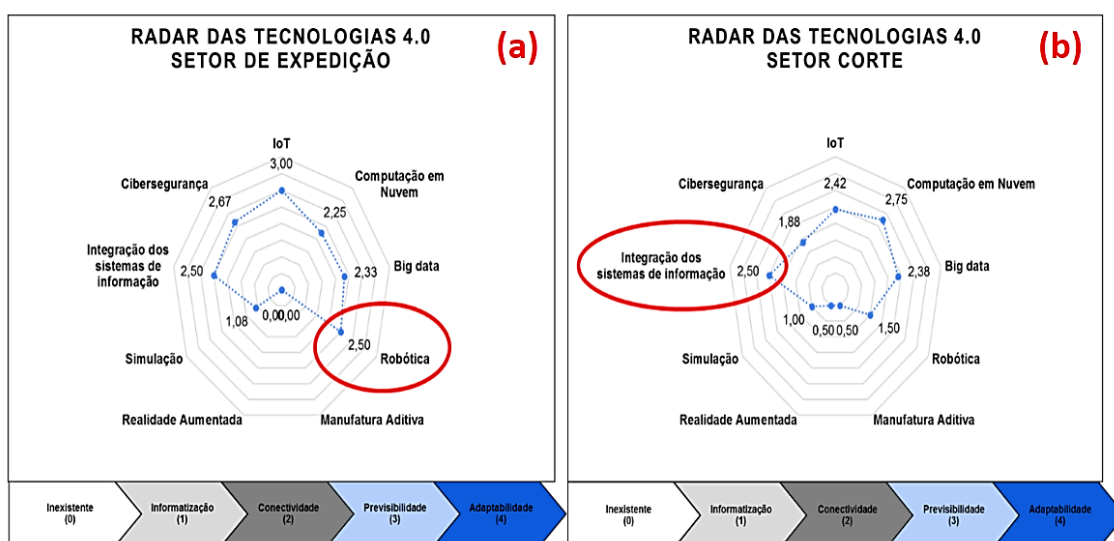


Figura 4 – Radar setorial das tecnologias emergentes. Fonte: elaborado pelos autores.

As áreas da Expedição (Figura 4-a.) e do Corte (Figura 4-b.), por exemplo, apresentam, respectivamente as tecnologias de Robótica (2,50) e de Integração dos sistemas de informação (2,50) como bem desenvolvidas em seu Radar Setorial, dados que divergem da média geral apresentada da Figura 3.

A Figura 5 apresenta o estágio referencial de cada uma das dimensões fundamentais para implementação e avaliação de maturidade da Indústria 4.0.

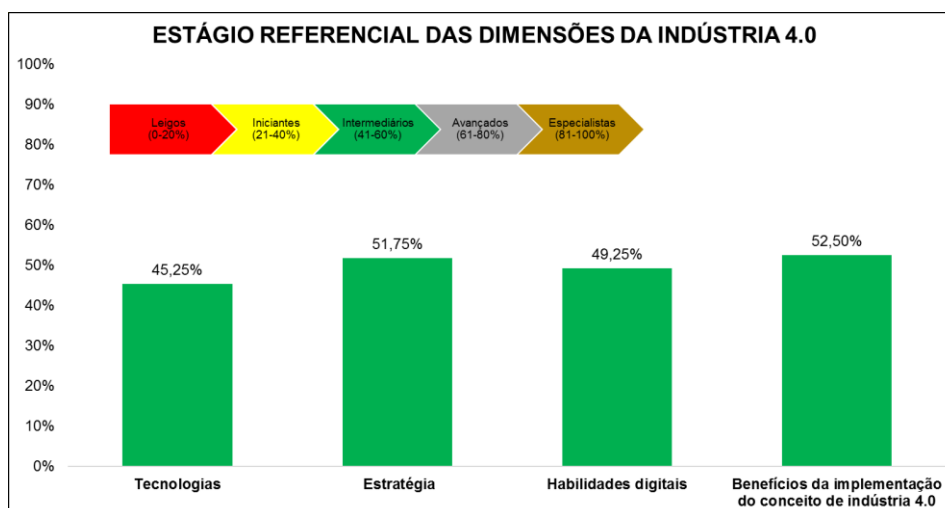


Figura 5 – Estágio referencial das dimensões Indústria 4.0. Fonte: elaborado pelos autores.

Observando a Figura 5, percebe-se que a empresa selecionada, mesmo sendo uma grande indústria nacional do segmento do vestuário, apresentou resultados que a posicionam em um referencial intermediário quanto as dimensões necessárias para implementação e maturidade da Indústria 4.0.

A dimensão Tecnologias, ao apresentar um resultado de 45,25%, posiciona a empresa participante em um estado intermediário de utilização e implementação das tecnologias e recursos que integram o conceito de Indústria 4.0. As áreas de Desenvolvimento de Produto (60,49%) e Costura (32,14%) destacam-se como os extremos da dimensão.

Em estudo anterior realizada sobre o conceito de Indústria 4.0 no Brasil, utilizando outro instrumento de avaliação, também na forma de questionário como instrumento investigativo, apresentando como resultado final o percentual de adoção de onze tecnologias digitais de manufatura e o nível de adoção destas em diferentes segmentos industriais (CNI, 2016). A ferramenta desenvolvida neste trabalho difere da utilizada pela CNI em dois aspectos: o primeiro é o fato de utilizar uma abordagem focada nos processos têxteis e de confecção; e por fim, a característica de investigar outros pilares fundamentais para implementação, como a estratégia de investimento, as habilidades digitais e a verificação dos benefícios que caracterizam o conceito de Indústria 4.0.

Na Figura 6 é apresentada uma análise comparativa entre os resultados obtidos nos dois questionários (desenvolvido neste trabalho e CNI, 2016) para o índice de adoção das tecnologia digitais de manufatura. O objetivo é avaliar a condição da empresa participante em um cenário da realidade brasileira.

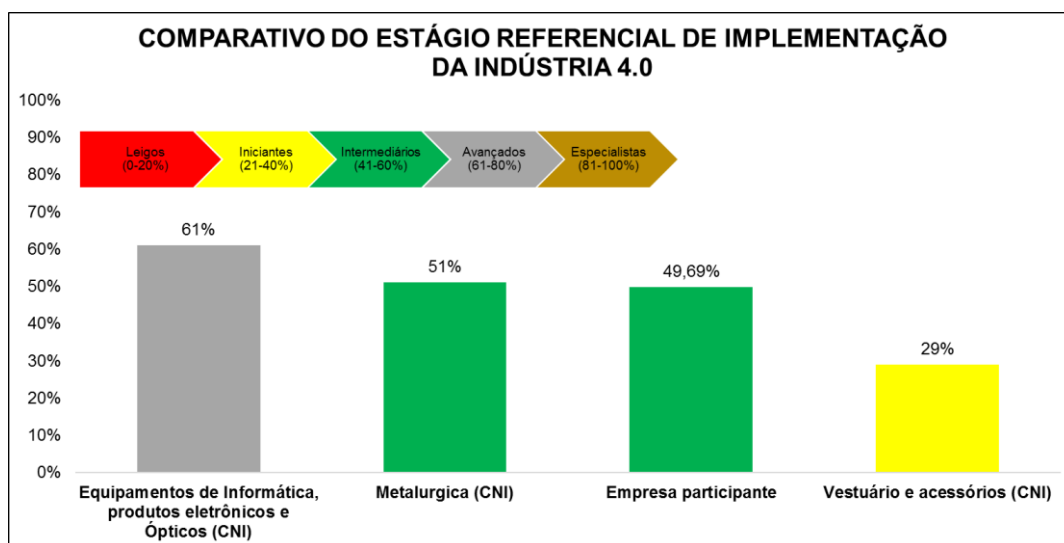


Figura 6 - Comparativo do estágio referencial de implementação da Indústria 4.0.

Fonte: elaborado pelos autores.

Ao analisar a Figura 6 observa-se que a empresa participante demonstra-se bem posicionada e melhor desenvolvida quanto à adoção das tecnologias digitais de manufatura (aproximadamente 50%), quando comparada à média nacional do seu segmento (29%). Porém, quando comparada com outras áreas da indústria, tais como setores de Produtos eletrônicos (61%), Metalúrgica (53%), demonstra um atraso na implementação e utilização das tecnologias componentes do conceito de Indústria 4.0.

Analisando a dimensão Estratégia, na avaliação pelo instrumento desenvolvido no presente trabalho, observa-se um resultado de 51,75%, portanto, os investimentos em equipamentos, tecnologias e capacitação técnica encontram-se também em estágio intermediário na empresa participante. As áreas de Manutenção (78,57%) e Gestão de pessoas (30,36%) destacam-se como os extremos da dimensão.

A dimensão Habilidades digitais apresenta um resultado de 49,25 %, posicionando a empresa em um nível intermediário quanto ao conhecimento dos participantes sobre temas relacionados às tecnologias digitais utilizadas no processo de manufatura. Os setores de Tecnologia da Informação (81,67%) e Dobração (30,01%) destacam-se como os extremos da dimensão.

Por fim, a dimensão Benefícios apresenta um resultado de 52,50%. Este percentual sinaliza o quanto os benefícios propostos pela Indústria 4.0 são percebidos na empresa participante. Os setores de Desenvolvimento de Produto (80,95%) e Bordado (25,01%) destacam-se como os extremos da dimensão.

O diagnóstico sobre o estágio referencial de implementação da Indústria 4.0 na empresa participante é obtido através da média aritmética das 4 dimensões: tecnologias, estratégia, habilidades digitais e benefícios, sendo apresentado na Figura 7.

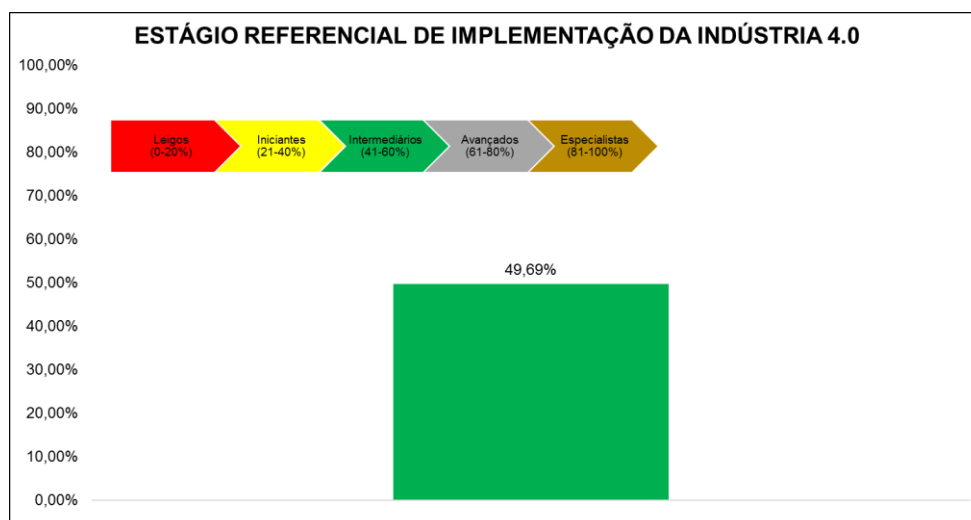


Figura 7 – Estágio referencial de implementação da Indústria 4.0. Fonte: elaborado pelos autores.

A empresa participante, com resultado de 49,69%, conforme observado Figura 7, é enquadrada como em um estágio intermediário de implementação da indústria 4.0. Segundo a ferramenta de diagnóstico desenvolvida, neste estágio, a empresa começa a incorporar a implementação da Indústria 4.0 em seu planejamento estratégico. Além disso, as iniciativas são bem definidas e existem investimentos expressivos em algumas áreas. Os principais processos de manufatura são automatizados, porém a infraestrutura das outras áreas não atende os requisitos para expansão futura.

Algumas informações do processo de produção são coletadas automaticamente, sendo usadas de forma limitada. Os sistemas de informação são integrados em algumas áreas e as informações entre elas são compartilhadas. Soluções sobre cibersegurança já estão em andamento.

As habilidades e conhecimentos necessários para a expansão da indústria 4.0 dentro da estrutura estão concentradas em áreas específicas e alguns dos benefícios esperados deste nível de implementação da indústria 4.0 já são observados.

6. Conclusão e recomendações

Os projetos de implantação das tecnologias de Realidade Aumentada, Manufatura Aditiva e simulação na área têxtil ainda são embrionários, normalmente implementados através de ferramentas e softwares orientados para a criação e desenvolvimento de novos modelos de processo, produtos e comércio. Estas tecnologias, ao serem empregadas ao processo produtivo, resultam em uma grande vantagem, a “personalização em massa”, onde o atendimento individual dos desejos do cliente pode ser realizado em escala industrial, sem comprometer a produtividade. A partir do questionário, verifica-se que as tecnologias com maior maturidade encontradas têm suas aplicações voltadas a melhorar e garantir a segurança do fluxo de informações e dados entre os processos da cadeia têxtil e do vestuário, a citar: IoT, computação em nuvem e Big Data e Cibersegurança; porém, as tecnologias com o menor nível de maturidade são a de realidade aumentada e manufatura aditiva.

O instrumento de avaliação desenvolvido possibilitará, através de sua disseminação e aplicação em outras empresas, que análises comparativas sobre o nível maturidade e o grau de implementação da Indústria 4.0 na área têxtil e de confecção poderão ser mais abrangentes. Assim, o mesmo mostrou-se adequado para ser utilizado para elaboração de

um diagnóstico atual da empresa com relação a implementação da Indústria 4.0 e a sua maturidade, produzindo relatórios setoriais sobre as quatro dimensões fundamentais para implementação do conceito: tecnologias, estratégia, habilidades digitais e benefícios da implementação. Estes relatórios, permitem estabelecer áreas e dimensões prioritárias para obtenção de uma maior maturidade do conceito dentro da empresa, e por consequência, a potencialização dos benefícios propostos.

Os testes de validação e aplicação piloto realizados cumprem com os requisitos necessários para aceitação do modelo, visto que o grupo amostral empregado para a validação do modelo foi representativo de diferentes profissionais, áreas de formação e níveis de instrução. O instrumento de diagnóstico da maturidade das tecnologias da indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção é considerado uma ferramenta efetiva para aplicação em uma única empresa ou ter seu uso expandido, em nova pesquisa, para todo um segmento têxtil industrial e outros setores.

Referências Bibliográficas

- ACHARYA, A., SINGH, S. K., PEREIRA, V., SINGH, P. (2018). Big data, knowledge co-creation and decision making in fashion industry. *International Journal of Information Management*, v. 42, p. 90-101.
- ANWAR, Muhammad, KHAN, Sher Zaman, SHAH, Syed Zulfiqar Ali (2018). Big Data Capabilities and Firm's Performance: A Mediating Role of Competitive Advantage. *Journal of Information & Knowledge Management*, v. 17, n. 04, p. 1850045,
- ARRIBAS, Veronica, ALFARO, José A. (2018). 3D technology in fashion: from concept to consumer. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, v. 22, n. 2, p. 240-251.
- BLANCHET *et al.* (2014). Industry 4.0: *The new industrial revolution How Europe will succeed*. Think Act. Roland Berger: Munique.
- CELASCHI, Flaviano. (2017). Advanced design-driven approaches for an Industry 4.0 framework: The human-centred dimension of the digital industrial revolution. *Strategic Design Research Journal*, v. 10, n. 2, p. 97-104.
- CHEN, Min, MA, Y., LI, Y., WU, D., ZHANG, Y., YOUN, C. (2017). Wearable 2.0: enabling human-cloud integration in next generation healthcare systems. *IEEE Communications Magazine*, v. 55, n. 1, p. 54-61.
- CLOPPENBURG, F., MÜNDEL, A., GLOY, Y., GRIES, T. (2017). Industry 4.0—How will the nonwoven production of tomorrow look like?. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 132001.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (2016). Indústria 4.0: **Novo Desafio para a indústria Brasileira**. Indicadores CNI, v. 17, p. 13.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (2018). **Investimentos em indústria 4.0 / Confederação Nacional da Indústria**. – Brasília.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (2020). **Difusão das Tecnologias da Indústria 4.0 em Empresas Brasileiras**. Brasil. Brasília.
- COBO, Manuel J., LÓPEZ-HERRERA, A.G., HERRERA-VIEDMA, E., HERRERA, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 63, n. 8, p. 1609-1630.

- DAMODARAM, A. K., RAVINDRANATH, K. (2010). Cloud computing for managing apparel and garment supply chains-an empirical study of implementation framework. *Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, v. 7, n. 6, p. 325.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M.; FRAGA-LAMAS, Paula. (2019). A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories. *IEEE Access*, v. 7, p. 45201-45218.
- GAUSEMEIER, J., KLOCKE, F. (2016). *Industrie 4.0, International Benchmark, options for the future and recommendations for manufacturing research*. VDI Nachrichten.
- GHANI, W.S.D.W.A., KHIDZIR, N.Z., GUAN, T.T., DAUD, K.A.M. (2015). Enterprise mobile cloud application for textile cyberpreneurs: big data issues, challenges and opportunities. In: *Proceeding of 9th International Conference on Information Technology in Asia 2015 (CITA'15)*. Universiti Malaysia Sarawak (UNIMAS), pp. 38-41. ISBN 9781479999392.
- GONZALEZ, A.; RINALDI, R.; BANDINELLI, R. (2010). Critical management issues for implementing RFID in the Fashion Industry Supply Chain. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 21(3), DOI: 10.1504/IJMTM.2010.035437.
- GUIZZO, Erico. (2018). Your next t-shirt will be made by a robot. *IEEE Spectrum*, v. 55, n. 1, p. 50-57.
- HASEEB, M.; HUSSAIN, H. I.; ŚLUSARCZYK, B., JERMSITTIPARSERT, K. (2019). Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance. *Social Sciences*, 8(5), 154.
- JAIN, Sheenam, BRUNIAUX, J., ZENG, X., BRUNIAUX, P. (2017). Big data in fashion industry. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. p. 152005.
- JU, Zhangfeng, YANG, Chenguang, MA, Hongbin. (2014). Kinematics modeling and experimental verification of baxter robot. In: *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*. IEEE. p. 8518-8523.
- KAGERMANN, Henning et al. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry*; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.
- KARABEGOVIĆ, Sc Isak. The role of industrial and service robots in fourth industrial revolution with focus on China. *Journal of Engineering*, v. 5, n. 2, p. 110-117, 2017.
- KRITZINGER, Werner, KARNER, Matthias, TRAAR, Georg, HENJES, Jan, SIHN, Wilfried (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, v. 51, n. 11, p. 1016-1022.
- LEIST, Steven K., GAO, D., CHIOU, R., ZHOU, J. (2017). Investigating the shape memory properties of 4D printed polylactic acid (PLA) and the concept of 4D printing onto nylon fabrics for the creation of smart textiles. *Virtual and Physical Prototyping*, v. 12, n. 4, p. 290-300.
- LIAO, W., WANG, T. (2019). A Novel Collaborative Optimization Model for Job Shop Production-Delivery Considering Time Window and Carbon Emission. *Sustainability*, 11(10), 2781.
- LICHTBLAU, Karl, STICH, V., Bertenrath, R., BLUM, M., BLEIDER, M., MILLACK, A., SCHMITT, K., SCHMITZ, E., SCHRÖTER, M. (2015). *IMPULS-industrie 4.0-readiness*. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln.
- LIU, J., XIAO, Y., LI, S., LIANG, W., CHEN, C. P. (2012). Cyber security and privacy issues in smart grids. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(4), 981-997.

- LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1-10, 2017.
- MOURTZIS, Dimitris. Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*, p. 1-23, 2019.
- SABANTINA, Lilia, KINZEL, F., EHRMANN, A., FINSTERBUSCH, K. (2015). Combining 3D printed forms with textile structures-mechanical and geometrical properties of multi-material systems. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 012005.
- SAGGIOMO, Marco, LOEHRER, M., KERPEN, D., LEMM, J. (2016). Human-and Task-Centered Assistance Systems in Production Processes of the Textile Industry: Determination of Operator-Critical Weaving Machine Components for AR-Prototype Development. In: *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. IEEE. p. 560-568.
- SALAH, Hadi, MACINTOSH, E., RAJAKULENDRAN, N. (2014). MaRS Market Insights Wearable Tech: Leveraging Canadian Innovation to Improve Health.
- SCHWAB, Klaus W. E. (2019). **The Global Competitiveness Report**. Genova: World Economic Forum.
- SHARMA, Rajat; KUMAR, Vishal. (2019). The Multidimensional Venture of developing a Smart City. In: *International Conference on Big Data and Computational Intelligence (ICBDICI)*. IEEE, 2019. p. 1-7.
- SILVA, F. S., BERNARDES, G, ARAGÃO, F.V., CHIROLI, D.M.G., ZOLA, F.G. (2016). **Simulação do processo produtivo de uma indústria de confecção utilizando o software Flexsim**. In: Simpósio de Engenharia de Produção.
- ŠKRINJAR, J.P., ŠKORPUT, P., FURDIĆ, M. (2018). Application of unmanned aerial vehicles in logistic processes. In: *International Conference "New Technologies, Development and Applications"*. Springer, Cham, p. 359-366.
- SURJIT, R.; RATHINAMOORTHY, R.; VARDHINI, K.J. Vishnu. (2017). **ERP for textiles and apparel industry**. CRC Press.
- VOLINO, Pascal; CORDIER, Frederic; MAGNENAT-THALMANN, Nadia. (2005). From early virtual garment simulation to interactive fashion design. *Computer-aided design*, v. 37, n. 6, p. 593-608.
- XIA, Feng, LAURENCE, T., WANG, Lizhe, VINEL, Alexey (2012). Internet of things. *International Journal of Communication Systems*, v. 25, n. 9, p. 1101.