

SERVITIZAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA 4.0: UM FRAMEWORK HOLÍSTICO COM IA PARA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA, ECOSSISTEMAS E CAPACIDADES DINÂMICAS

*DIGITAL SERVITIZATION IN INDUSTRY 4.0: A HOLISTIC FRAMEWORK WITH AI FOR
TECHNOLOGY, ECOSYSTEM, AND DYNAMIC CAPABILITIES INTEGRATION*

IASMIM C RIBEIRO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

FERNANDO ANTONIO FORCELLINI

Comunicação:

O XIII SINGEP foi realizado em conjunto com a 13th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

SERVITIZAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA 4.0: UM FRAMEWORK HOLÍSTICO COM IA PARA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA, ECOSSISTEMAS E CAPACIDADES DINÂMICAS

Objetivo do estudo

Compartilhar uma visão holística da servitização digital na Indústria 4.0, interligando domínios e características identificadas na literatura para ampliar o conhecimento do fenômeno e apoiar organizações na implementação eficiente por meio de um framework com apoio da IA.

Relevância/originalidade

A originalidade reside em sistematizar o conhecimento fragmentado da literatura, preenchendo lacunas teóricas e oferecendo uma contribuição inovadora. A relevância está na proposta de um framework holístico que orienta empresas na transição estratégica para a servitização digital.

Metodologia/abordagem

Revisão Sistemática da Literatura

Principais resultados

O estudo propõe um framework holístico de cinco domínios interconectados. Ele sistematiza conhecimentos fragmentados da literatura para guiar empresas, superando desafios críticos e oferecendo um roteiro para a adaptação estratégica e entrega de valor sustentável.

Contribuições teóricas/metodológicas

O estudo contribui metodologicamente por meio de uma revisão sistemática que sistematiza o conhecimento fragmentado. A contribuição teórica é a proposta de um framework holístico, que preenche lacunas e guia a transição de empresas, representando uma integração sistêmica e inovadora.

Contribuições sociais/para a gestão

O estudo oferece um guia prático para a gestão, auxiliando gestores na tomada de decisões informadas para a implementação da servitização digital. Contribui socialmente ao apoiar a transição para uma economia circular com padrões sustentáveis de produção e consumo.

Palavras-chave: Servitização Digital, Indústria 4.0 , Transformação Digital, Modelo de Negócio, Digitalização

DIGITAL SERVITIZATION IN INDUSTRY 4.0: A HOLISTIC FRAMEWORK WITH AI FOR TECHNOLOGY, ECOSYSTEM, AND DYNAMIC CAPABILITIES INTEGRATION

Study purpose

Share a holistic view of digital servitization in Industry 4.0, interconnecting domains and characteristics identified in the literature to expand knowledge of the phenomenon and support organizations in efficient implementation through an AI-supported framework.

Relevance / originality

The originality lies in systematizing fragmented knowledge from the literature, filling theoretical gaps and offering an innovative contribution. The relevance lies in proposing a holistic framework that guides companies in the strategic transition to digital servitization.

Methodology / approach

Systematic Literature Review

Main results

The study proposes a holistic framework of five interconnected domains. It systematizes fragmented knowledge from the literature to guide companies, overcoming critical challenges, and offering a roadmap for strategic adaptation and sustainable value delivery.

Theoretical / methodological contributions

The study contributes methodologically through a systematic review that systematizes fragmented knowledge. The theoretical contribution is the proposal of a holistic framework that fills gaps and guides corporate transitions, representing systemic and innovative integration.

Social / management contributions

The study offers a practical guide for management, helping managers make informed decisions for implementing digital servitization. It contributes socially by supporting the transition to a circular economy with sustainable production and consumption patterns.

Keywords: Digital Servitization, Industry 4.0, Digital Transformation, Business Model, Digitization

SERVITIZAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA 4.0: UM FRAMEWORK HOLÍSTICO COM IA PARA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA, ECOSISTEMAS E CAPACIDADES DINÂMICAS

1 Introdução

As empresas enfrentam intensa pressão competitiva, buscando novas formas de diferenciação por meio da transição de modelos centrados em produtos para ofertas integradas de produtos-serviços (servitização), visando maior valor ao cliente e novas fontes de receita (Paschou, Adrodegari, Rapaccini, Sacconi & Perona, 2018; Soellner, Helm, Klee & Endres, 2024). Essa transformação é impulsionada pela Indústria 4.0 e tecnologias digitais (internet das coisas - IoT, *Big Data*, Inteligência Artificial), facilitando soluções inovadoras como manutenção preditiva e cocriação de valor (Bellavista, Bicocchi, Fogli, Giannelli, Mamei & Picone, 2023; Sala, Ardolino, Adrodegari & Pezzotta, 2025).

A digitalização revoluciona operações industriais mediante soluções alinhadas à lógica de servitização digital (Sjödín, Kamalaldin, Parida & Islam, 2021), atuando como facilitadora estratégica para integração entre servitização e digitalização (Cimini, Rondini, Pezzotta & Pinto, 2018; Chirumalla, Leoni & Oghazi, 2023). Contudo, em 2025 persistem desafios críticos na implementação: resistência organizacional, lacunas de competências, complexidade na gestão de dados e ecossistemas, além de dificuldades em monetizar serviços digitais, gerando incertezas financeiras (Minaya, Avella, & Trespalacios, 2025; Pacubas, Lucero, Umpar & Armas, 2025).

Apesar do crescente interesse acadêmico desde seu surgimento como tema emergente, conforme apresentado por Kohtamäki, Parida, Oghazi, Gebauer e Baines (2019), a literatura sobre servitização digital permanece fragmentada e imatura devido à pluralidade de contextos, limitando compreensões mais profundas (Shen, Sun & Parida, 2023). Essa lacuna demanda pesquisas que sistematizem conhecimentos e explorem mecanismos subjacentes à integração entre servitização, digitalização e Indústria 4.0 e 5.0. Portanto, este artigo propõe uma visão holística da servitização digital na Indústria 4.0, interligando domínios e características identificadas na literatura para ampliar o conhecimento do fenômeno e apoiar organizações na implementação eficiente por meio de um *framework*.

2 Referencial Teórico

2.1 Tecnologias Digitais e a Indústria 4.0

A indústria 4.0 trata-se de uma transformação econômica que forçou as empresas a redefinirem as suas propostas de valor e a aumentar as ofertas de produtos tradicionais com serviços suplementares – PSS (Gaiardelli, Pezzotta, Rondini, Romero, Jarrahi, Bertoni & Cavaliere, 2021) e impulsiona a transformação digital nas organizações exigindo a servitização de produtos e dados, para diversos setores tendo os humanos, sensores e dispositivos digitais operando em estreita colaboração (Raptis, Cicconetti, Falelakis, Kalogiannis, Kanellos & Lobo, 2023). As tecnologias estimulam a mudança dos processos de produção para processos de produção inteligentes, aumentando a produtividade e eficiência nas empresas (Cimini et al., 2018). No entanto, as organizações precisam refinar os seus processos internos para explorar o potencial da servitização (Sjodin et al., 2023), considerando que a servitização e a digitalização são tendências que geram mudanças nas empresas manufatureiras e da convergência entre esses assuntos tem-se a ‘servitização digital’ (Chirumalla et al., 2023).

Dessa forma, tem-se a adoção de tecnologias como característica comum na convergência entre o sistema produto-serviço e a indústria 4.0 influenciando diretamente no cenário futuro das organizações (Gaiardelli et al., 2021). Sendo que para a evolução da indústria 4.0 há uma exigência de integração digital ponta a ponta das cadeias de abastecimento das organizações e uma nova lógica de concepção de processos que abranja fronteiras. Reforçando

o desenvolvimento da servitização digital com a importância do uso da tecnologia digital para sustentar a mudança de uma lógica centrada no produto para uma lógica centrada no serviço (Coreynen, Matthyssens & Van Bockhaven, 2017).

2.2 Servitização Digital

Relacionadas com a indústria 4.0 estão as necessidades de mudança e adaptação dos modelos de negócios organizacionais, além de ajuste da estratégia organizacional e aumento da colaboração com as partes interessadas dos serviços relacionados (Marini & Bianchini, 2016). As empresas industriais tradicionais foram afetadas pela introdução de novas tecnologias avançadas e consequentemente influenciou na evolução de ofertas de serviços (Ouyang, 2021), essa inserção das TIs contribui, portanto, para promover a servitização da produção, definida como a inovação estratégica das capacidades e processos das organizações para passar da venda de produtos para a venda de uma oferta integrada de produtos e serviços, ou seja, um Sistema Produto-Serviço (PSS) (Marini & Bianchini, 2016).

Conforme aumenta a adoção de tecnologias digitais na servitização tem-se o fortalecimento da servitização digital (Chirumalla et al., 2023). E a indústria 4.0 permite que as empresas façam essa transição do processo de servitização (Cimini et al., 2018). Contudo, na busca de uma transição bem-sucedida para a servitização digital, faz-se necessária uma reconfiguração fundamental de recursos, estruturas organizacionais, práticas de trabalho, infraestrutura, cultura, entre outros elementos que compõem todo o ecossistema em que a empresa está inserida (Chirumalla et al., 2023). Portanto, para os autores, a mudança em curso para a digitalização e a indústria 4.0 proporciona novas oportunidades e benefícios às empresas industriais, através da servitização digital, melhorando a prestação de serviços avançados permitindo insights de dados e proximidade com os clientes.

3 Metodologia

Esta pesquisa utiliza uma revisão sistemática da literatura (RSL), metodologia teórica explícita, criteriosa e reproduzível que visa identificar, avaliar e interpretar pesquisas relevantes para responder a uma questão específica (Kitchenham & Charters, 2007). A RSL sintetiza resultados de múltiplos estudos mediante estratégias que minimizam vieses e erros aleatórios (Cook, Mulrow & Haynes, 1997), seguindo etapas-chave como formulação da pergunta de pesquisa, identificação de fontes, extração de dados, avaliação de vieses, síntese e interpretação (Pollock & Berge, 2018). Sua natureza sistemática deriva de critérios guiados por um protocolo pré-definido baseado em objetivos de pesquisa (Munzlinger, Narcizo & Queiroz, 2012). Conforme destacado por Munzlinger et al. (2012), adotamos um protocolo estruturado (Figura 1) para formalizar e documentar transparentemente todo o processo de execução da RSL.

Escopo da Pesquisa - Critérios Adotados para Seleção de Fontes	
<i>Bases de Dados</i>	<i>Scopus</i> : Para encontrar trabalhos acadêmicos publicados.
<i>Expressão Geral de Busca</i>	Os seguintes termos (<i>strings</i>) foram procurados em: Títulos, Resumos e Palavras-chave. • “Digital” AND “Servitization” AND “Industry” AND “4.0” OR “5.0”
<i>Tipos de Documento Aceitos</i>	• Article • Conference Paper
<i>Ano</i>	• Sem filtro
<i>Idioma</i>	• Inglês • Português
Método de Busca de Publicações - Seleção dos Dados	
<i>Seleção das publicações relevantes</i>	• Critérios de Inclusão: Produções que estão relacionadas com o tema ‘Servitização Digital’ na ‘Indústria 4.0 ou 5.0’ encontradas na base de dados Scopus. • Critérios de Exclusão: ○ Produções com tipos diferentes de Artigo ou Conference

	○ <i>Paper</i> : Produções de idiomas diferentes de inglês ou português.
<i>Seleção e extração dos dados</i>	• Inicialmente foram lidos todos os títulos e resumos dos materiais coletados. • Posteriormente as produções selecionadas para o trabalho foram analisadas por completo.
<i>Catálogo e Sumarização dos dados</i>	• A ferramenta Mendeley foi utilizada como repositório das produções encontradas. • A ferramenta MAXQDA e Excel foram utilizados para catalogação dos dados e como suporte para análise de conteúdo.
Análise das Publicações - Procedimentos para Análise	
<i>Análise Qualitativa</i>	• Realização de análise de conteúdo, a partir da descrição e interpretação do conteúdo das publicações selecionadas.

Figura 1 - Protocolo de Pesquisa

Fonte: Autores (2025).

Considera-se que uma revisão sistemática da literatura de alta qualidade buscará a identificação das pesquisas relevantes em todo o mundo, com isso essas produções serão avaliadas e os resultados serão sistematicamente reunidos para responder uma questão de pesquisa (Pollock et al., 2018). O processo de pesquisa deste estudo teórico está composto em nove passos baseado no trabalho apresentado por Petticrew e Roberts (2006) segue:

- a) **Formular a pergunta de pesquisa:** A pergunta que a RSL visa responder é: *Quais características e relações entre os domínios-chave sustentam uma visão integrada da servitização digital na Indústria 4.0?*
- b) **Definir protocolo de pesquisa:** Estratégia de busca e análise dos trabalhos selecionados, conforme exibido na Figura 1.
- c) **Fazer a busca nas bases de dados:** Busca pelas expressões levantadas na base de dados Scopus, que apresentou um total de 130 documentos.
 - Pesquisa realizada: *“Digital” AND “Servitization” AND “Industry” AND “4.0” OR “5.0”* em Resumo, Título e Palavras-chave
 - Expressão: *(TITLE-ABS-KEY (digital) AND TITLE-ABS-KEY (servitization) AND TITLE-ABS-KEY (industry) AND TITLE-ABS-KEY (4.0) OR TITLE-ABS-KEY (5.0))*
- d) **Retirar publicações:** Remoção de publicações seguindo os critérios de exclusão do protocolo de pesquisa, baseado nas expressões selecionadas:
 - **1º Filtro:** pelo tipo de documento igual a Artigo ou *Conference Paper*
 - Excluído: 30 publicações | Restou: 100 publicações
 - **2º Filtro:** pela língua do documento igual a Português ou Inglês
 - Excluído: 02 publicações | Restou: 98 publicações
 - **3º Filtro:** Documento indisponível gratuitamente para leitura completa – arquivos não encontrados.
 - Excluído: 05 publicações | Restou: 93 publicações
- e) **Selecionar artigos:** Após os procedimentos realizados **93** publicações foram selecionadas para leitura de todo o trabalho.
- f) **Recuperar publicações:** Os artigos foram armazenados na ferramenta *Mendeley*.
- g) **Extraír e catalogar dados:** Os dados relevantes para composição das discussões e resultados deste artigo foram catalogados na ferramenta MaxQDA e em documento *excel*.
- h) **Sintetizar:** Os dados extraídos de todas as publicações foram sintetizados em dimensões e características da servitização digital, apresentadas no capítulo de resultados e análise deste artigo.
- i) **Redigir resultados e publicar:** O resultado deste trabalho é um artigo teórico com a proposta de um *framework*, o qual se pretende-se publicar.

4 Análise dos resultados e Discussões

A partir de uma análise dedutiva apresenta-se os resultados identificados na RSL, seguido do levantamento das características da SD encontradas na literatura agrupadas em domínios. Foram analisadas 93 publicações, distribuídas entre: artigos (54) e artigos de conferências (39), sendo 92 estudos em inglês e 1 em português. As produções compreendem o período de janeiro de 2015 a julho de 2025, conforme distribuição temporal apresentada na Figura 2, que foram separados em três fases distintas:

- fase embrionária (2015-2017) com 3.3% dos artigos que exploraram o conceito de servitização e as tecnologias disruptivas como Big Data; o ciclo de explosão temática (2018-2020) com 20.4% das publicações, coincidindo com o período de crescimento da Indústria 4.0, consolidação de *frameworks* de PSS digitais habilitados por IoT e *analytics* como modelos "as-a-Service" em máquinas operatrizes. Destaca-se também a Pandemia da Covid-19 em 2020 que acelerou a digitalização de serviços; e pôr fim a fase atual (2021-2025/julho) com 76.3% dos estudos concentrados em ecossistemas de serviços inteligentes, impulsionados pela inteligência artificial generativa e gêmeos digitais, uso de realidade aumentada e virtual para treinamentos operacionais. O pico entre 2023 e 2024, com 37 artigos, reflete a maturidade de temas como IA generativa e PSS resilientes, enquanto os 7 artigos de 2025 destacam fronteiras emergentes como metaverso industrial e redes 6G.

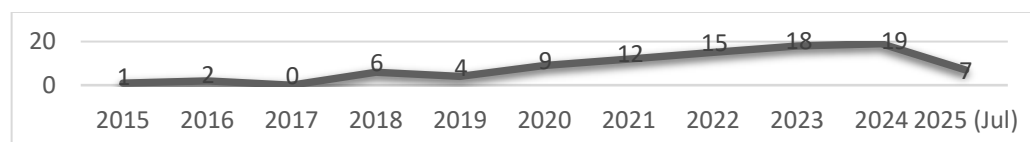


Figura 2 - Quantidade de Publicações por Ano

Fonte: Autores (2025).

4.1 Relevância Global das Publicações

A pesquisa em servitização e digitalização é global, com Alemanha, Reino Unido, Suécia, Finlândia, EUA, China, Itália, Espanha e Brasil como países com contribuições significativas. Nota-se que a servitização digital é, em grande parte, um fenômeno europeu, com universidades italianas (Brescia, Politécnico di Milano) atuando como *hubs* centrais, conectando instituições alemãs (Fraunhofer IPA), nórdicas (Universidade de Vaasa) e brasileiras (UFRGS, UFSCar). Considerando a coautorias dos artigos, esta análise revela um núcleo de autores altamente produtivos e interconectados, liderados por Marko Kohtamäki (Finlândia), Federico Adrodegari (Itália) e Alejandro Frank (Brasil), que publicaram coletivamente 15 artigos (16% da amostra) destacando uma rede transnacional de colaboração entre autores. Ressalta que o Brasil emerge como único representante do sul global relevante com 10% das publicações, destacando-se em estudos sobre modelos de negócio híbridos.

Os periódicos mais citados e influentes incluem o *Journal of Manufacturing Technology Management*, *Technological Forecasting and Social Change*, *Industrial Marketing Management*, *Journal of Business Research*, *International Journal of Production Economics* e *International Journal of Operations & Production Management*. Esses periódicos cobrem diversas áreas como gestão, negócios, engenharia e ciência da computação. Observa-se uma evolução clara com trabalhos iniciais entre 2015 e 2019, 58% dos trabalhos, que priorizaram conferências técnicas como *Procedia CIRP* e *IEEE International Conferences* para divulgação ágil de *proofs-of-concept*, enquanto estudos recentes entre 2023 e 2025, migraram para periódicos de alto impacto e relevância para validação de maturidade teórica.

4.2 Análise de Palavras-Chave: Tendências e Transições Estruturais

A análise das palavras-chave dos estudos selecionados revela a pluralidade temática da servitização digital. Termos de alta frequência como *"industry 4.0"*, *"digital transformation"*, *"servitization"*, *"digitalization"*, *"dynamic capabilities"*, *"value creation"* e *"management"* refletem a convergência entre digitalização, transformação de serviços na manufatura e inovação em modelos de negócios, com ênfase em gestão de *stakeholders* e capacidades dinâmicas (exemplo: cidades inteligentes).

Complementarmente, palavras-chave como *"digital servitization"* (68%), *"smart PSS"* (49%) e *"circular economy"* (32%) evidenciam a transição de modelos transacionais para sistêmicos, nos quais as empresas migram da venda de produtos isolados para ecossistemas de serviços integrados, priorizando valor contínuo, sustentabilidade e otimização digital. Este mapeamento confirma a consolidação do campo na intersecção entre PSS digitais e Indústria 4.0, mas também aponta lacunas em dimensões humanas e geográficas, demandando pesquisas mais inclusivas e aplicadas. Apresenta-se a seguir uma linha do tempo destacando os principais assuntos identificados nos estudos ao longo dos anos entre 2015 e 2025.

4.3 Evolução Temporal da Servitização Digital (2015 a 2025)

As empresas que implementam transformação digital exigem processos sustentáveis e resilientes para adaptar-se a ecossistemas em constante evolução (Jankovic-Zugic, Medic, Pavlovic, Todorovic & Rakic, 2023). Esta RSL evidencia que essas mudanças contínuas impactam drasticamente comportamentos e estratégias organizacionais, demandando foco multidimensional para competitividade, conforme a Indústria 4.0 redefine *design*, fabricação, operações e serviços de produtos (Grandinetti, Ciasullo, Paiola & Schiavone, 2020). A Figura 3 sintetiza visualmente essa evolução, representando a trajetória dos estudos sobre servitização digital e suas tecnologias associadas nos últimos anos.

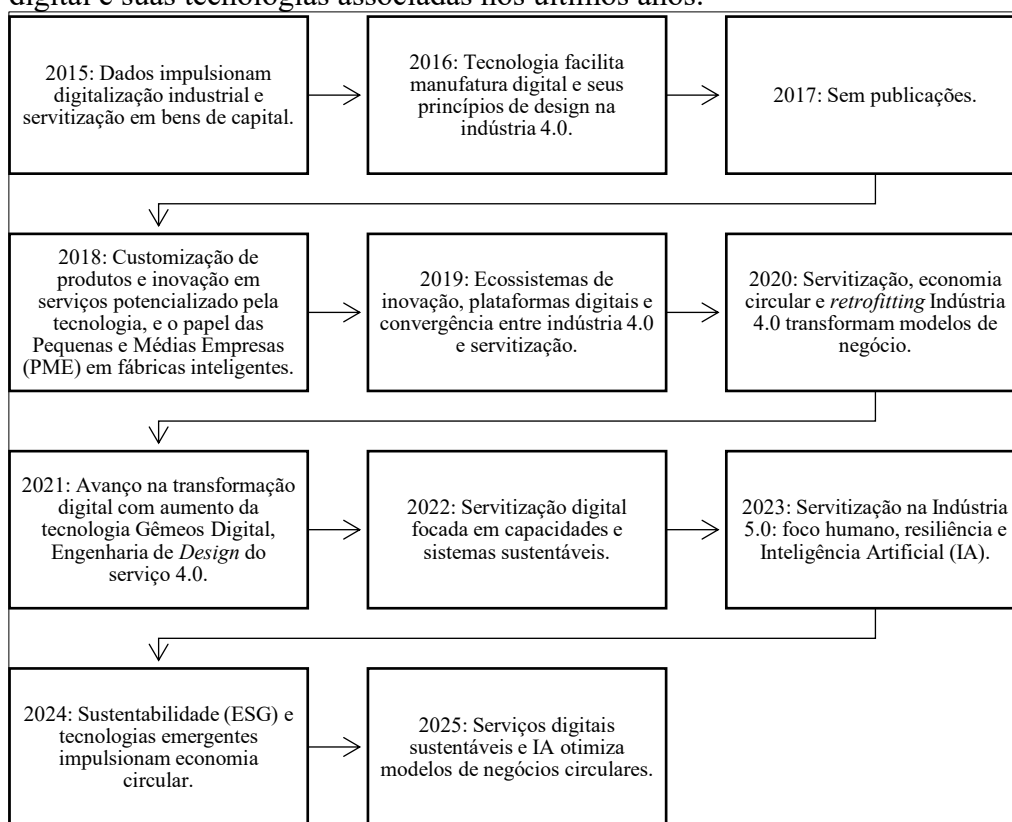


Figura 3 – Linha do Tempo das Pesquisas

Fonte: Autores (2025).

A linha do tempo revela uma clara progressão, desde a aplicação inicial da servitização em 2015, impulsionada pela digitalização, até a busca por modelos mais inteligentes, sustentáveis e centrados no ser humano na Indústria 5.0. A Inteligência Artificial emerge como um elemento-chave para otimizar tanto a oferta de serviços quanto a criação de valor em um contexto de economia circular. Essa consolidação bibliométrica não só apoiam no mapeamento do estado da arte, mas sinaliza a necessidade de pesquisas transculturais e aplicadas. A seguir, apresentam-se as dimensões e características para detalhar a visão holística da SD para atender o objetivo do estudo, como também um *framework* interligando os domínios da RSL com as Capacidades Dinâmicas e o papel da IA na superação dos paradoxos e na orquestração de ecossistemas.

4.4 Visão Holística da Servitização Digital com seus Domínios e Características

A servitização digital representa uma transformação estratégica na qual as empresas, tradicionalmente focadas em produtos, evoluem para oferecer soluções integradas de produtos e serviços, alavancando as tecnologias da Indústria 4.0 e, mais recentemente, da Indústria 5.0. Esta transição visa gerar maior valor para os clientes, diferenciar-se no mercado e aumentar a competitividade (Bettiol, Capestro, Di Maria & Micelli, 2022). A literatura destaca que essa mudança contínua afeta drasticamente os comportamentos e estratégias das empresas, exigindo foco em diferentes vertentes para sobreviver no ambiente competitivo.

Por meio de uma abordagem de codificação indutiva, uma visão holística da servitização digital na Indústria 4.0 e 5.0 foi estruturada em cinco domínios interligados (Figura 4), abrangendo 81 características, que são cruciais para a compreensão e implementação bem-sucedida dessa transformação, no apêndice A está a lista de códigos codificados dos autores:

1. **Tecnologia:** este domínio é o alicerce de todo o ecossistema em que as organizações, especialmente as empresas de serviço ou em transição estão inseridas. A adoção e evolução de novas tecnologias digitais são impulsionadoras diretas de mudanças e, ao mesmo tempo, apoiam a sustentação de cada transformação.
 - **Características do Domínio Tecnologia (15):** *Analytics, Big Data* (Dados), *Ciberfísico*, Cloud, Digitalização, Gêmeo Digital, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Plataforma tecnológica, Robôs, Sombra Digital, Tecnologias digitais, Tecnologias disruptivas, TICs (Tecnologias da Informação e da Comunicação) e Transformação digital.
 - **Autores:** D1, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D17, D18, D19, D20, D21, D22, D23, D24, D25, D26, D27, D28, D29, D30, D31, D33, D34, D35, D36, D37, D38, D39, D40, D41, D42, D43, D44, D46, D47, D48, D49, D51, D53, D54, D55, D56, D57, D59, D60, D61, D62, D63, D64, D65, D66, D67, D85, D87, D88, D89, D91, D92 e D93.
2. **Indústria (Ecossistema):** este domínio enfatiza a importância da indústria vista como um ecossistema interconectado, onde a criação de valor ocorre através da oferta de soluções avançadas de serviços digitais e inovadoras. A Indústria 4.0 impulsiona uma jornada de transformação digital que favorece a digitalização das organizações, tornando-as, suas áreas internas, processos e capacidades organizacionais mais coesos na introdução da digitalização na cadeia de valor.
 - **Características do Domínio Indústria (Ecossistema) (13):** Âmbito ambiental, Âmbito econômico, Âmbito político, Âmbito social, Concorrentes, Serviços inteligentes e integrados, Fornecedores, Indústria 4.0, Inovação Digital, Organizações colaborativas, Organizações virtuais, Plataforma de serviço e Cadeia de valor global.

- **Autores:** D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D10, D11, D12, D13, D14, D16, D17, D19, D20, D21, D22, D23, D24, D27, D29, D30, D31, D33, D34, D35, D36, D37, D38, D40, D42, D43, D47, D48, D49, D53, D54, D55, D57, D59, D60, D61, D63, D66, D67, D70, D76, D85, D87, D88, D90, D91 e D92.
3. **Organização:** a digitalização transforma as estratégias organizacionais, levando a uma mudança completa nos modelos de negócio para integrar tecnologias e oferecer soluções de valor digitalizadas, impulsionando a servitização digital em empresas de manufatura e serviço.
- **Características do Domínio Organização (35):** Automação, Ciclo de vida do produto (curto e ágil), Clientes, Competências em rede, Competências organizacionais, Competências colaboradores, Critérios de decisão para seleção de serviços, Desempenho organizacional (financeiro), Economia circular, Eficiência de recursos dos sistemas de produção, Estratégia organizacional, Gestão de pessoas, Gestão do conhecimento, Investimento tecnológico, Manufatura 4.0, Maturidade digital, Modelo de negócio, Níveis de maturidade, Parceiros externos, Pós-venda com o cliente, Processo - Gerenciamento e operações de manufatura digital, Processo de servitização, Processo de manufatura inteligente, Produtividade, Prontidão digital, Responsabilidade social corporativa (5.0), Serviços dinâmicos, Serviços web, Sistemas orgânicos, Sistemas sociotécnicos, Sustentabilidade empresarial, Transformação de serviço, Modularização de produtos, Soluções integradas e Processos operacionais sustentáveis.
 - **Autores:** D2, D3, D4, D5, D7, D9, D10, D12, D15, D17, D18, D19, D22, D23, D24, D25, D26, D27, D28, D30, D33, D34, D35, D37, D38, D39, D40, D41, D42, D43, D46, D48, D51, D54, D55, D57, D59, D60, D63, D66, D67, D70, D76, D85, D88, D90, D91 e D93.
4. **PSS – Sistema Produto-Serviço:** o ambiente competitivo força as empresas a atuar de forma rápida e eficiente com processos ágeis, estruturados e transparentes, a fim de redefinir propostas de valor com o aumento de serviços complementares. A Indústria 4.0 possibilita uma ampla variedade de melhorias nos PSS existentes, cada vez mais interconectados entre produtos e serviços digitais, ressaltando a necessidade de um *design* de produto e serviço orientado a dados.
- **Características do Domínio PSS – Sistema Produto-Serviço (08):** Design do produto, Design do serviço orientado a dados, Serviços - Soluções preventivas e preditivas, Tipos de Serviços (Dominantes, avançados, simples), Dimensões de serviços: ecossistema de serviços, plataforma de serviços e cocriação de valor, Servitização, Servitização Digital e Multinível da servitização digital.
 - **Autores:** D3, D5, D7, D10, D11, D12, D13, D15, D16, D17, D18, D20, D21, D23, D24, D26, D28, D29, D34, D38, D40, D42, D51, D55, D56, D63 e D64.
5. **Jornada da Servitização Digital:** a jornada da servitização digital está entrelaçada com todos os demais domínios e exige um roteiro claro para transformar e melhorar processos de desenvolvimento de serviços digitais, competências organizacionais e dos colaboradores, bem como outras capacidades dinâmicas das empresas.
- **Características do Domínio Jornada da Servitização Digital (10):** Capacidades dinâmicas, Cocriação ágil com os fornecedores, Cocriação de valor com o cliente, Colaboração 4.0, *Design* de serviço, PSS inteligente, Qualidade de relacionamento, Redes colaborativas, Satisfação do cliente e *Stakeholders*.
 - **Autores:** D5, D7, D15, D21, D34, D35, D42, D47, D49, D54, D55, D63, D66, D88 e D90.

Essa visão holística, composta por domínios dinâmicos e suas características interconectadas, é essencial para empresas de serviço e de manufatura que buscam navegar e evoluir no complexo cenário da servitização digital na Indústria 4.0 e 5.0, garantindo uma economia circular com padrões sustentáveis de produção e consumo, e aproveitando as oportunidades geradas por essas transformações. Esses domínios identificados conectados entre si apoiam na necessidade de se ter um desenvolvimento de fabricação de produto e desenvolvimento de serviços mais inteligente, digital, sustentável, maleável, flexível e adaptável as mudanças e as novas tecnologias.

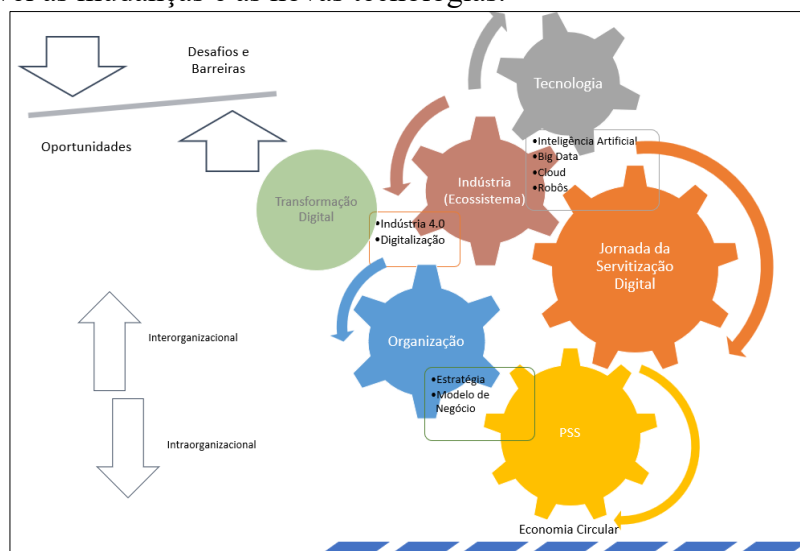


Figura 4 – Visão holística da servitização digital

Fonte: Autora (2023).

A servitização digital, impulsionada pela Indústria 4.0, exige que as empresas redefinam suas ofertas, integrando produtos e serviços de forma inovadora. Essa transição multifacetada é influenciada por cinco domínios interconectados: Tecnologia, Organização (adaptabilidade), Indústria (Ecosistema) com a colaboração externa, PSS com ofertas centradas no cliente e a Jornada da Servitização Digital com a evolução contínua. A Tecnologia impulsiona os demais domínios, permitindo a cocriação de valor, a personalização e a otimização da cadeia de valor. A sinergia entre esses domínios é crucial para que as empresas não apenas sobrevivam, mas também prosperem e gerem valor sustentável nesse novo cenário industrial.

4.5 Framework para Servitização Digital: Integração de Domínios e Potencial Estratégico da IA

A servitização digital representa uma transformação estratégica e os resultados deste trabalho revelaram um conjunto de particularidades da SD na Indústria 4.0, que abrangem diferentes dimensões plurais. As características são amplas, mas se encaixam com as necessidades de evolução da indústria e das organizações. Este estudo propõe um *framework* integrado, que orienta a implementação da servitização digital através de cinco domínios interconectados:

- **Título:** *Framework* para Servitização Digital na Indústria 4.0: Uma Visão Integrada de Domínios, Capacidades Dinâmicas e o Potencial da Inteligência Artificial
- **Objetivo:**
 - O *framework* visa guiar empresas, que buscam aprimorar a competitividade por meio da servitização, a entender e estruturar a sua jornada de transformação digital.

- Apresenta uma visão abrangente dos domínios críticos a serem considerados, destacando o papel central da Inteligência Artificial como um elemento facilitador e diferenciador a ser explorado para sustentar a evolução da empresa.
- O *framework* permite a identificação de ações e abordagens para equilibrar as operações existentes com o desenvolvimento de serviços inovadores no contexto da Indústria 4.0 e 5.0.
- **Domínios e Suas Relações:**
 1. **Tecnologia (Fundação Digital):** Tecnologias da Indústria 4.0 (IoT, *Big Data*, *Cloud*, Automação, etc.), que fornecem a infraestrutura para a coleta, análise e distribuição de dados, e automação e integração de processos.
 2. **Organização (Capacidades Internas):** Reconfiguração das estruturas e processos internos da empresa, promovendo uma cultura de experimentação, agilidade e colaboração para suportar a servitização digital.
 3. **Indústria/Ecosistema (Colaboração Externa):** Estrutura das relações com os clientes, fornecedores e parceiros, formando um ecossistema colaborativo para cocriação de valor e oferta de soluções completas.
 4. **PSS (Sistema Produto-Serviço):** *Design* e entrega de ofertas integradas que combinam produtos e serviços de forma inovadora, atendendo às necessidades específicas dos clientes e gerando valor mútuo.
 5. **Jornada da Servitização Digital (Transformação Contínua):** Processo evolutivo de adaptação do modelo de negócios, buscando a maturidade digital e a integração contínua de serviços, impulsionada pela experimentação e aprendizado.
- **Capacidades Dinâmicas:**
 - **Capacidades de Detecção:** Capacidade de identificar e avaliar novas tecnologias, tendências de mercado e necessidades dos clientes.
 - **Capacidades de Captura:** Capacidade de mobilizar recursos internos e externos para desenvolver e implementar soluções de servitização digital.
 - **Capacidades de Transformação:** Capacidade de reconfigurar processos, estruturas e modelos de negócios para se adaptar às mudanças do mercado e aproveitar as oportunidades criadas pela digitalização.
- **Inteligência Artificial (Potencial a ser explorado):** não é um componente central obrigatório, mas atua como elemento catalisador transversal, potencializando cada domínio:
 - **Tecnologia:** IA aprimora a análise de dados, permite a automação inteligente e a criação de sistemas adaptativos.
 - **Organização:** IA auxilia na tomada de decisões, na gestão do conhecimento e no desenvolvimento de novos serviços.
 - **Indústria (Ecosistema):** IA facilita a colaboração, a personalização e a otimização da cadeia de valor.
 - **PSS:** IA permite a criação de serviços preditivos, autônomos e altamente personalizados.
 - **Jornada da Servitização Digital:** IA acelera o processo de aprendizado, a adaptação e a inovação contínua do modelo de negócios.

Em termos práticos, o *framework* proposto serve como um guia estratégico para empresas que buscam implementar a servitização digital. Ao analisar o posicionamento da empresa em relação a cada um dos domínios - Tecnologia, Organização, Indústria (Ecosistema), PSS, Jornada da Servitização Digital -, os gestores podem identificar áreas prioritárias para investimento e desenvolvimento. A análise do potencial da IA em cada domínio auxilia na tomada de decisões informadas sobre a alocação de recursos e a priorização de iniciativas, maximizando o retorno sobre o investimento e impulsionando a inovação. A partir

dessa contextualização, entende-se que é uma estratégia eficiente para as organizações direcionarem atenção para uma visão ampla ao iniciar ou evoluir o processo de servitização digital para reduzir incertezas.

5 Considerações Finais

A constante pressão competitiva global exige que empresas redefinam propostas de valor mediante ofertas integradas de produtos-serviços (PSS), alavancando a digitalização como resposta estratégica às mudanças de mercado (Gaiardelli et al., 2021; Pezzotta, Arioli, Adrodegari, Rapaccini, Saccani, Rakic & Gaiardelli, 2022). Este estudo propõe um *framework* holístico de cinco domínios interconectados, são eles: Tecnologia, Indústria (Ecosystema), Organização, PSS - Sistema de produtos e serviços e Jornada da Servitização Digital, que orienta a superação de desafios críticos como resistência organizacional, complexidade na gestão de dados e monetização de serviços digitais, oferecendo um roteiro para adaptação estratégica e entrega de valor sustentável.

Esta revisão sistematiza temas dominantes como servitização digital com IoT/IA, PSS orientados a dados, Indústria 4.0 com sistemas ciber-físicos, sustentabilidade via economia circular e direções emergentes como ecossistemas de serviços inteligentes, manufatura centrada no humano com realidade aumentada, resiliência de PSS para disrupções como pandemias, preenchendo lacunas teóricas. No contexto acadêmico, consolida conhecimentos fragmentados, enquanto no contexto praticante oferece um guia prático para orquestração de ecossistemas e desenvolvimento de capacidades dinâmicas.

A visão holística apresentada transcende abordagens parciais ao articular níveis intra e interorganizacionais com a jornada contínua de transformação, proporcionando compreensão geral de elementos-chave e barreiras da servitização digital. Esta integração sistêmica constitui contribuição inovadora para guiar a transição na Indústria 4.0 e 5.0, principalmente com o crescimento da IA nos negócios para potencializar a vantagem competitiva nas organizações.

Como limitação, destaca-se o escopo restrito a bases Scopus e idiomas. Sugere-se pesquisas futuras focadas em: validação quantitativa do *framework*; estudos setoriais sobre maturidade de PSS inteligentes e competências para servitização digital; e análise de resiliência em cenários disruptivos como cadeias de suprimentos pós-pandemia, e equilíbrio sustentável entre dimensões econômicas, sociais e ambientais.

5 Referências

- Adelsberger, R. T., Antons, O. & Arlinghaus, J. (2024). Digital Twins and their Implications for Business Models: Overview and Potentials. IFAC-PapersOnLine, 58(19), pp. 409-414.
- Adsiz, T. & Ozturkoglu, Y. (2025). A conceptual framework for a new service model: digital servitization with an Industrial 4.0 perspective. Journal of Global Operations and Strategic Sourcing, 18(2), pp. 267-284.
- Ancillai, C. & Pascucci, F. (2023). Digital servitization as Business Model Innovation: an explorative study on the role of absorptive capacity. Sinergie, 41(3), pp. 71-93.
- Barik, B., Sahu, N., Ekka, A., Ekka, P., Padhan, S., Mishra, L., Behera, G., Chabra, R. & Swain, L. (2021). Manufacturing Paradigms and Evolution. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 52, pp. 705-714.
- Basirati, M. R., Weking, J., Hermes, S., Böhm, M. & Krcmar, H. (2019). IoT as PSS enabler: Exploring opportunities for conceptualization and implementation. Proceedings of the 23rd Pacific Asia Conference on Information Systems: Secure ICT Platform for the 4th Industrial Revolution, PACIS 2019.

- Bellavista, P., Bicocchi, N., Fogli, M., Giannelli, C., Mamei, M., & Picone, M. (2023). Requirements and design patterns for adaptive, autonomous, and context-aware digital twins in industry 4.0 digital factories. *Computers in Industry*, 149, 103918.
- Bettiol, M., Capestro, M., Di Maria, E. & Micelli, S. (2022). Overcoming pandemic challenges through product innovation: The role of digital technologies and servitization. *European Management Journal*, 40(5), pp. 707-717.
- Bettiol, M., Capestro, M., Di Maria, E. & Micelli, S. (2023). How SMEs respond to an exogenous shock: Diversification, servitization and digitalization. *Journal of Digital Economy*, 2, pp. 221-232.
- Bilbao-Ubillos, J., Camino-Beldarrain, V., Intxaurburu-Clemente, G. & Velasco-Balmaseda, E. (2024). Industry 4.0, servitization, and reshoring: A systematic literature review. *European Research on Management and Business Economics*, 30(1).
- Bortoluzzi, G., Chiarvesio, M., Romanello, R., Tabacco, R. & Veglio, V. (2020). Industry 4.0 technologies and the servitization strategy: a good match?. *Sinergie*, 38(1), pp. 55-72.
- Bortoluzzi, G., Chiarvesio, M., Romanello, R., Tabacco, R. & Veglio, V. (2022). Servitisation and performance in the business-to-business context: the moderating role of Industry 4.0 technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(9), pp. 108-128.
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M. & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3).
- Bressanelli, G., Saccani, N., Perona, M. & Baccanelli, I. (2020). Towards circular economy in the household appliance industry: An overview of cases. *Resources*, 9(11), pp. 1-23.
- Burger, M., Kruger, A., Burgmann, N. & Arlinghaus, J. (2024). Offering Subscriptions of Industrial Goods: Uncertain Experiment or Necessary Step?. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, pp. 7029-7043.
- Chang, L., Zhang, Q. & Liu, H. (2023). Digital finance innovation in green manufacturing: a bibliometric approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(22), pp. 61340-61368.
- Chirumalla, K., Leoni, L., & Oghazi, P. (2023). Moving from servitization to digital servitization: Identifying the required dynamic capabilities and related microfoundations to facilitate the transition. *Journal of Business Research*, 158, 113668.
- Chowdhury, S., Ren, S. & Richey, R. G. (2025). Leveraging artificial intelligence to facilitate green servitization: Resource orchestration and Re-institutionalization perspectives. *International Journal of Production Economics*, 281.
- Ciasullo, M. V., Savastano, M., Douglas, A., Ferrara, M. & Fiorentino, S. (2024). How sustainable is smart farming? The contribution of service platforms to innovate Italian agribusinesses. *Sinergie*, 42(1), pp. 45-69.
- Cimini, C., Adrodegari, F., Paschou, T., Rondini, A. & Pezzotta, G. (2021). Digital servitization and competence development: A case-study research. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, pp. 447-460.
- Cimini, C., Rondini, A., Pezzotta, G. & Pinto, R. (2018). Smart manufacturing as an enabler of servitization: A framework for the business transformation towards a smart service ecosystem. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, 2018-September, pp. 341-347.
- Cong, J., Zheng, P. & Chen, C. (2020). Design entropy theory: A novel transdisciplinary design methodology for smart PSS development. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 12, pp. 405-414.
- Cook, D. J., Mulrow, C. D., & Haynes, R. B. (1997). Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. *Annals of internal medicine*, 126(5), 376-380.

- Coreynen, W., Matthyssens, P., & Van Bockhaven, W. (2017). Boosting servitization through digitization: Pathways and dynamic resource configurations for manufacturers. *Industrial marketing management*, 60, 42-53.
- Dhiman, H. & Rocker, C. (2019). Worker Assistance in Smart Production Environments Using Pervasive Technologies. 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops 2019, pp. 95-100.
- Dressler, M. & Paunovic, I. (2021). Sensing technologies, roles and technology adoption strategies for digital transformation of grape harvesting in sme wineries. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2).
- Durão, L. F. C., Zancul, E. & Schützer, K. (2024). Digital Twin data architecture for Product-Service Systems. *Procedia CIRP*, 121, pp. 79-84.
- Facin, A. L. F., Barbosa, A. P. F. P. L., Matsumoto, C., da Gama Cruz, A. F. S. & Salerno, M. S. (2022). Featured topics in research on digital transformation: Evidence from a bibliometric study and content analysis; [TEMAS DE DESTAQUE NA PESQUISA EM TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: EVIDÊNCIAS DE ESTUDO BIBLIOMÉTRICO E ANÁLISE DE CONTEÚDO]; [Temas destacados en la investigación sobre transformación digital: Evidencia del estudio bibliométrico y análisis de contenido]. *RAE Revista de Administracao de Empresas*, 62(6).
- Farmakis, T., Lounis, S., Georgoutsou, I. S., Koukopoulous, A. & Mourtos, I. (2024). Innovations in Manufacturing Business Models Enabled by Digital and AI-driven Transformation: A Conceptual Framework. *Proceedings of the 30th ICE IEEE/ITMC Conference on Engineering, Technology, and Innovation: Digital Transformation on Engineering, Technology and Innovation, ICE 2024*.
- Ferreira, F., Faria, J., Azevedo, A. & Marques, A. L. (2016). Product lifecycle management enabled by industry 4.0 technology. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 3, pp. 349-354.
- Frank, A. G., Mendes, G. H., Ayala, N. F. & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, pp. 341-351.
- Gaiardelli, P., Pezzotta, G., Rondini, A., Romero, D., Jarrahi, F., Bertoni, M., Wiesner, S., Wuest, T., Larsson, T., Zaki, M., Jussen, P., Boucher, X., Bigdeli, A. Z. & Cavalieri, S. (2021). Product-service systems evolution in the era of Industry 4.0. *Service Business*, 15(1), pp. 177-207.
- Galvani, S., Carloni, E., Bocconcelli, R. & Pagano, A. (2022). From After-Sales to Advanced Services: A Network Analysis on the Impacts of Digital Servitization Evolution. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14).
- Ghedini, L., Polenghi, A., Roda, I., Simic, M., Jankovic, D. & Herakovic, N. (2024). A preliminary investigation on DDPSS requirements to provide process quality as a service: example on laboratory scale. *IFAC-PapersOnLine*, 58(8), pp. 335-340.
- Ghedini, L., Roda, I., Macchi, M. & Pozzetti, A. (2024). Preliminary investigation of the state of the art on digital servitization for Industrial Asset lifecycle Management. *IFAC-PapersOnLine*, 58(8), pp. 341-346.
- Ghobakhloo, M., Vilkas, M., Stefanini, A., Grybauskas, A., Marcinkevicius, G., Petraite, M. & Sarvari, P. A. (2023). Developing capabilities underlying to Industry 4.0 design principles within the manufacturing context. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34(7), pp. 1183-1207.
- Grandinetti, R., Ciasullo, M. V., Paiola, M., & Schiavone, F. (2020). Fourth industrial revolution, digital servitization and relationship quality in Italian B2B manufacturing firms. An exploratory study. *The TQM Journal*, 32(4), 647-671.

- Iriarte, I., Hoveskog, M., Nguyen Ngoc, H., Legarda, I., Uranga, M., Nazabal, M. & Atxa, A. (2023). Service design for digital servitization: Facilitating manufacturers' advanced services value proposition design in the context of Industry 4.0. *Industrial Marketing Management*, 110, pp. 96-116.
- Jankovic-Zugic, A., Medic, N., Pavlovic, M., Todorovic, T., & Rakic, S. (2023). Servitization 4.0 as a trigger for sustainable business: evidence from automotive digital supply chain. *Sustainability*, 15(3), 2217.
- Jiao, R., Commuri, S., Panchal, J., Milisavljevic-Syed, J., Allen, J. K., Mistree, F. & Schaefer, D. (2021). Design Engineering in the Age of Industry 4.0. *Journal of Mechanical Design*, 143(7).
- Jiménez-Jiménez, A., Gessa-Perera, A. & Sancha-Dionisio, P. (2022). ADVANCES AND CHALLENGES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: DRIVING TOWARDS SUSTAINABLE MOBILITY. *Dyna (Spain)*, 97(4).
- Kim, Y. S. (2021). Digital transformation types for product-service systems. *Proceedings of the Design Society*, 1, pp. 1283-1292.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.
- Kohtamäki, M., Parida, V., Oghazi, P., Gebauer, H. & Baines, T. (2019). Digital servitization business models in ecosystems: A theory of the firm. *Journal of Business Research*, 104, pp. 380-392.
- Kohtamäki, M., Parida, V., Patel, P. C. & Gebauer, H. (2020). The relationship between digitalization and servitization: The role of servitization in capturing the financial potential of digitalization. *Technological Forecasting and Social Change*, 151.
- Koustas, S. G., Reichenstein, T., Oks, S. J., Fuchs, J. & Möslin, K. M. (2023). Demonstrating industrial smart product-service systems: Industry 4.0 maturity through stakeholder-oriented development and testing. *Procedia CIRP*, 120, pp. 1268-1273.
- Kumar, M., Raut, R. D., Mangla, S. K., Chowdhury, S. & Choubey, V. K. (2024). Moderating ESG compliance between industry 4.0 and green practices with green servitization: Examining its impact on green supply chain performance. *Technovation*, 129.
- Langley, D. J. (2022). Digital Product-Service Systems: The Role of Data in the Transition to Servitization Business Models. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3).
- Leocádio, D., Guedes, L., Oliveira, J., Reis, J. & Melão, N. (2024). Servitization in Digital Age: A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*, 232, pp. 2531-2539.
- Li, H., Zhao, J., Cao, Y., Su, L., Zhao, Z. & Zhang, Y. (2024). Servitization and product service system: A literature review on value creation. *Technological Forecasting and Social Change*, 208.
- Linde, L., Sjödin, D., Parida, V. & Gebauer, H. (2020). Evaluation of Digital Business Model Opportunities: A Framework for Avoiding Digitalization Traps. *Research Technology Management*, 64(1), pp. 43-53.
- Liu, Z., Liu, Y. & Osmani, M. (2024). Integration of Smart City Technology and Business Model Innovation. *Sustainability (Switzerland)*, 16(12).
- Marini, A. & Bianchini, D. (2016). Big data as a service for monitoring cyber-physical production systems. *Proceedings - 30th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2016*, pp. 579-586.
- Maurer, F. & Fritzsche, A. (2018). Boosting innovation for the development of smart-service factories of the future: The cases of the federal state of Vorarlberg and its neighbouring regions. *31st Bled eConference: Digital Transformation: Meeting the Challenges, BLED 2018*, pp. 357-374.
- McLoughlin, S., Puvvala, A., Connolly, N., Maccani, G. & Donnellan, B. (2022). Embedding Service Logic into Business Model Design: The Case of Predictive Maintenance for industry

4.0. International Conference on Information Systems, ICIS 2022: "Digitization for the Next Generation".

Mertens, K. G., Rennpferdt, C., Greve, E., Krause, D. & Meyer, M. (2021). Current trends and developments of product modularisation – A bibliometric analysis. *Proceedings of the Design Society*, 1, pp. 801-810.

Minaya, P. E., Avella, L. & Trespalacios, J. A. (2023). The effects of digital servitization on business competitiveness: A case study of Spanish manufacturers. *Journal of International Entrepreneurship*, 21(2), pp. 180-213.

Minaya, P. E., Avella, L. & Trespalacios, J. A. (2024). Innovation and competitiveness in the industry 4.0 era: the SYNCHRO framework for digital servitization. *Business Process Management Journal*.

Minaya, P. E., Avella, L. & Trespalacios, J. A. (2024). Synthesizing three decades of digital servitization: a systematic literature review and conceptual framework proposal. *Service Business*, 18(2), pp. 193-222.

Minaya, P. E., Avella, L. & Trespalacios, J. A. (2025). Strategic perception of Industry 4.0 and its impact on digital servitization in manufacturing firms. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Mourtzis, D., Angelopoulos, J. & Panopoulos, N. (2021). A Collaborative Approach on Energy-based Offered Services: Energy 4.0 Ecosystems. *Procedia CIRP*, 104, pp. 1638-1643.

Münch, C., Marx, E., Benz, L., Hartmann, E. & Matzner, M. (2022). Capabilities of digital servitization: Evidence from the socio-technical systems theory. *Technological Forecasting and Social Change*, 176.

Munzlinger, E., Narcizo, F. B., & de Queiroz, J. E. R. (2012, November). Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de IHC. In *IHC (Companion)* (pp. 51-54).

Nicoletti, B. & Appolloni, A. (2023). Artificial Intelligence for the Management of Servitization 5.0. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14).

Nino, M., Blanco, J. M. & Illarramendi, A. (2015). Business understanding, challenges and issues of Big Data Analytics for the servitization of a capital equipment manufacturer. *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Big Data, IEEE Big Data 2015*, pp. 1368-1377.

Ouyang, H. (2021, November). The New Generation of Information Technology Development Drives the Servitization of China's Manufacturing Industry. In *Proceedings of the 2021 3rd International Conference on Software Engineering and Development* (pp. 46-52).

Pacubas, C. Y., Secretaria, N. M., Lucero, L. T., Umpar, N. R. & Armas, K. L. (2025). Enabling digital Servitization in Philippine manufacturing: A business model innovation framework for MSMEs in the industry 4.0 ERA. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 9(5), pp. 457-465.

Paiola, M., Schiavone, F., Khvatova, T. & Grandinetti, R. (2021). Prior knowledge, industry 4.0 and digital servitization. An inductive framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 171.

Paschou, T., Adrodegari, F., Rapaccini, M., Saccani, N. & Perona, M. (2018). Towards Service 4.0: A new framework and research priorities. *Procedia CIRP*, 73, pp. 148-154.

Paschou, T., Adrodegari, F., Rapaccini, M., Saccani, N., & Perona, M. (2018). Towards Service 4.0: a new framework and research priorities. *Procedia Cirp*, 73, 148-154.

Perales-Prieto, N. & Martín-Peña, M. L. (2023). The Smart Supply Chain: A Conceptual Cyclic Framework. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 16(1), pp. 54-77.

Petticrew, M., & Roberts, H. (2008). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. John Wiley & Sons.

Pezzotta, G., Arioli, V., Adrodegari, F., Rapaccini, M., Saccani, N., Rakic, S., Marjanovic, U., West, S., Stoll, O., Meierhofer, J., Holst, L., Wiesner, S. A., Bertoni, M., Romero, D., Pirola,

- F., Sala, R. & Gaiardelli, P. (2022). Digital Servitization in the Manufacturing Sector: Survey Preliminary Results. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 664 IFIP, pp. 310-320.
- Pezzotta, G., Arioli, V., Adrodegari, F., Rapaccini, M., Saccani, N., Rakic, S., Marjanovic, U., West, S., Stoll, O., Wiesner, S. A., Bertoni, M., Romero, D., Pirola, F., Sala, R. & Gaiardelli, P. (2023). The Digital Servitization of Manufacturing Sector: Evidence from a Worldwide Digital Servitization Survey. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 690 AICT, pp. 165-180.
- Pollock, A., & Berge, E. (2018). How to do a systematic review. *International Journal of Stroke*, 13(2), 138-156.
- Presti, C., De Santis, F. & Bernini, F. (2023). Value co-creation via machine learning from a configuration theory perspective. *European Journal of Innovation Management*, 26(7), pp. 449-477.
- Rabelo, R. J., Ruiz, H. A. & Cancian, M. H. (2020). For a Dynamic Web Services Discovery Model for Open Ecosystems of Software Providers. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 598, pp. 83-97.
- Rakic, S., Marjanovic, U., Pezzotta, G., Gaiardelli, P., Jankovic, A. & Adrodegari, F. (2022). Future Trends in Digital Services and Products: Evidence from Serbian Manufacturing Firms. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 664 IFIP, pp. 341-350.
- Raptis, T. P., Cicconetti, C., Falelakis, M., Kalogiannis, G., Kanellos, T., & Lobo, T. P. (2023). Engineering resource-efficient data management for smart cities with Apache Kafka. *Future Internet*, 15(2), 43.
- Raptis, T. P., Cicconetti, C., Falelakis, M., Kanellos, T. & Lobo, T. P. (2022). Design Guidelines for Apache Kafka Driven Data Management and Distribution in Smart Cities. *ISC2 2022 - 8th IEEE International Smart Cities Conference*.
- Reichenstein, T., Koustas, S. G., Roßner, A., Meiners, M. & Franke, J. (2023). Toward a structured concept for purpose-driven modeling of a digital shadow in manufacturing. *Procedia CIRP*, 119, pp. 816-821.
- Ricondo, I., Porto, A. & Ugarte, M. (2021). A digital twin framework for the simulation and optimization of production systems. *Procedia CIRP*, 104, pp. 762-767.
- Sala, R., Ardolino, M., Adrodegari, F. & Pezzotta, G. (2025). Digital servitization of the machinery sector: A comparison between Italy-Based and Foreign companies. *Procedia Computer Science*, 253, pp. 1432-1441.
- Sassanelli, C., de Carolis, A. & Terzi, S. (2022). Initiating an Industrial Machinery Producer to Digital Servitization: A Case Study. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 640 IFIP, pp. 483-493.
- Schiavone, F., Leone, D., Caporuscio, A. & Lan, S. (2022). Digital servitization and new sustainable configurations of manufacturing systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 176.
- Shen, L., Sun, W., & Parida, V. (2023). Consolidating digital servitization research: A systematic review, integrative framework, and future research directions. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122478.
- Sjodin, D., Kamalaldin, A., Parida, V. & Islam, N. (2023). Procurement 4.0: How Industrial Customers Transform Procurement Processes to Capitalize on Digital Servitization. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(12), pp. 4175-4190.
- Slavic, D., Marjanovic, U., Pezzotta, G., Turcin, I. & Rakic, S. (2023). Servitization and Industry 5.0: The Future Trends of Manufacturing Transformation. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 690 AICT, pp. 109-121.

- Slavic, D., Romero, D., Pezzotta, G., Marjanovic, U., Savkovic, B., Popan, I. A. & Rakic, S. (2024). Towards Human-Centric Digital Services: A Development Framework. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 732 IFIP, pp. 184-197.
- Soellner, S., Helm, R., Klee, P. & Endres, H. (2024). Industrial service innovation: Exploring the transformation process to digital servitization in industrial goods companies. *Industrial Marketing Management*, 117, pp. 288-303.
- Stamer, F., Maier, S., Peukert, S. & Lanza, G. (2022). Adaptive and Dynamic Feedback Loops between Production System and Production Network based on the Asset Administration Shell. *Procedia CIRP*, 112, pp. 79-84.
- Struyf, B., Galvani, S., Matthyssens, P. & Bocconcelli, R. (2021). Toward a multilevel perspective on digital servitization. *International Journal of Operations and Production Management*, 41(5), pp. 668-693.
- Tabacco, R., Chiarvesio, M. & Romanello, R. (2024). Exploring the crossroads between digital servitization and sustainability from a business marketing perspective. *Italian Journal of Marketing*, 2024(2), pp. 225-243.
- Tian, J., Coreynen, W., Matthyssens, P. & Shen, L. (2022). Platform-based servitization and business model adaptation by established manufacturers. *Technovation*, 118.
- Weerabahu, W. M. S. K., Samaranayake, P., Nakandala, D., Lau, H. & Malaarachchi, D. N. (2024). Barriers to the adoption of digital servitization: a case of the Sri Lankan manufacturing sector. *International Journal of Emerging Markets*, 19(10), pp. 3011-3039.
- West, S., Gaiardelli, P. & Rapaccini, M. (2018). Exploring technology-driven service innovation in manufacturing firms through the lens of Service Dominant logic. 51(11), pp. 1317-1322.
- Wirth, J., Neller, D. & Bauernhansl, T. (2025). The Servitization Ecosystem Canvas (SEC): Towards a framework for developing service-oriented and data-driven business models in ecosystems. *Procedia CIRP*, 134, pp. 360-365.
- Wu, X., Tang, Y., Fang, X., Xu, Y. & Qiao, S. (2025). The Effects of Servitization, Digitalization, and Digital Learning Orientation on Sustainable Performance: A Hybrid PLS-SEM-ANN Model. *IEEE Access*, 13, pp. 30570-30585.
- Yang, X., Zhang, C., Li, Y., Tang, C. & Liang, P. (2024). Dynamic user profile construction and its application to smart product-service system design: A maternity-oriented case study. *Expert Systems with Applications*, 249.
- Yue, L. & Li, X. (2018). A smart manufacturing compliance architecture of electronic batch recording system (eBRS) for life sciences industry. *Proceedings - 2018 3rd International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering, ICMCCE 2018*, pp. 206-212.
- Zambetti, M., Khan, M. A., Pinto, R. & Wuest, T. (2020). Enabling servitization by retrofitting legacy equipment for Industry 4.0 applications: Benefits and barriers for OEMs. 48, pp. 1047-1053.
- Zambetti, M., Pinto, R. & Pezzotta, G. (2020). Industry 4.0 Data-Related Technologies and Servitization: A Systematic Literature Review. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 592 IFIP, pp. 347-360.