

SUBMETIDO 13/01/2022  
APROVADO 05/07/2022  
PUBLICADO ON-LINE 26/07/2022  
PUBLICADO 10/10/2023  
EDITORA ASSOCIADA  
Luzia Góes Camboim

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2022id6598>  
ARTIGO ORIGINAL

# Perspectivas das práticas de gestão de processos de negócio no contexto das tecnologias da Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura

 Renato Armani Aguiar <sup>[1]\*</sup>  
 Rodrigo Gross Ferreira <sup>[2]</sup>  
 Viviane Lanunce Paes Costa <sup>[3]</sup>  
 Thiago do Couto Reis e Silva <sup>[4]</sup>  
 Simone Vasconcelos Silva <sup>[5]</sup>

[1] [renato.armani@gsuite.iff.edu.br](mailto:renato.armani@gsuite.iff.edu.br)  
[2] [grossferreira@gmail.com](mailto:grossferreira@gmail.com)  
[3] [viviane.costa@gsuite.iff.edu.br](mailto:viviane.costa@gsuite.iff.edu.br)  
[4] [thiago.couto@gsuite.iff.edu.br](mailto:thiago.couto@gsuite.iff.edu.br)  
[5] [simonevs@iff.edu.br](mailto:simonevs@iff.edu.br)

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Fluminense (IFF), Brasil

**RESUMO:** Diversos setores da economia, sejam públicos ou privados, têm obtido sucesso na aplicação de métodos integrados para a melhoria de seus processos, a partir da gestão de processos de negócio associada às novas tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0). Tal fato tem despertado interesse de profissionais e pesquisadores, que buscam, na literatura científica, abordagens sob diferentes aspectos relacionadas a esses temas. Assim, o objetivo deste artigo é apresentar uma revisão sistemática da literatura que responda à seguinte questão de pesquisa: “Quais práticas de BPM são aplicadas no contexto das tecnologias da Indústria 4.0 no segmento industrial?”. As análises efetuadas em 26 estudos apresentaram as tendências atuais de pesquisas relacionadas ao tema abordado, assim como os principais periódicos que publicam essas pesquisas. Os resultados apontaram uma relação das práticas de BPM ao tipo de tecnologia da Indústria 4.0, assim como o segmento industrial de aplicação. A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar uma forte tendência de pesquisa associada à Análise e Modelagem de Processo a partir da utilização da Internet das Coisas (IoT).

**Palavras-chave:** BPM; gestão de processos de negócio; Indústria 4.0; tecnologia.

## *Perspectives on business process management practices in the context of Industry 4.0 technologies: a systematic literature*

**ABSTRACT:** Several sectors of the economy, whether public or private, have been successful in applying integrated methods to improve their processes, based on business processes management associated with the new technologies of Industry 4.0 (I4.0). This fact has aroused the interest of professionals and

\*Autor para correspondência.

researchers who are looking for different approaches to these issues in the scientific literature. Thus, the objective of this article is to present a systematic review of the literature that answers the following research question: "Which BPM practices are applied in the context of Industry 4.0 technologies in the industrial segment?". The analyzes carried out in twenty-six studies presented current trends in research related to the subject, as well as the main journals that publish this research. The results pointed to a relationship between BPM practices and the type of Industry 4.0 technology, as well as the industrial segment of application. From the results obtained, it was possible to identify a strong research trend associated with Process Analysis and Modeling using the Internet of Things (IoT).

.....  
**Keywords:** BPM; business process management; Industry 4.0; technology.  
 .....

## 1 Introdução

O desenvolvimento da Indústria 4.0 e suas tecnologias tem provocado, nos processos de negócio, a busca pela adequação, aprendizado e implementação de uma nova versão de BPM – *Business Process Management* (AHMAD; LOOY, 2020).

Nesse sentido, essa adaptação tem sido chamada de ambidestria, termo usado na literatura em referência ao desempenho organizacional eficiente e sustentável, em que as empresas alcançam inovações, ao mesmo tempo que fazem melhorias constantes em seus negócios atuais – como exemplo disso, pode-se citar a transformação digital (BINCI; BELISARI; APPOLLONI, 2019; FERRARIS; MONGE; MUELLER, 2018; GRISOLD *et al.*, 2021).

Nesse contexto, Ferraris, Monge e Mueller (2018) descrevem o termo como uma mistura de dois aspectos, quais sejam: explorar os benefícios das tecnologias existentes e, ao mesmo tempo, explorar as vantagens das tecnologias emergentes.

Se, por um lado, o BPM tem se destacado como uma abordagem eficiente de gerenciamento de processos, por outro, as tecnologias emergentes permitem inovações digitais disruptivas, as quais requerem maior integração entre as partes do negócio, situação que nem sempre se mostra de forma clara (IRITANI *et al.*, 2015).

A aplicação do BPM requer o entendimento e apreciação de suas práticas, com a finalidade de analisar, definir, executar, monitorar e gerenciar os processos com maior efetividade (ABPMP, 2020). Para tanto, a *Association of Business Process Management Professionals International* (ABPMP) classifica as principais práticas de BPM em seis áreas: i) modelagem de processos; ii) análise de processos; iii) desenho de processos; iv) implementação de processos; v) medição do desempenho de processos; vi) transformação de processos (ABPMP, 2020).

No tocante à Indústria 4.0 (I4.0), para entender sua filosofia, é necessário conhecer suas essências, ou seja, conhecer suas bases tecnológicas. Essas tecnologias permitem que dispositivos, máquinas, produtos e outros mais se comuniquem, possibilitando a resolução dos problemas e adaptação de cenários para que as decisões sejam tomadas em tempo hábil (ZHONG *et al.*, 2017).

Santos *et al.* (2018) reforçam que a I4.0 abrange um conjunto de tecnologias de ponta, ligadas à internet, com o objetivo de tornar os sistemas de produção mais flexíveis

e colaborativos. Tais tecnologias dotadas de dispositivos “inteligentes” são a chave para o atendimento às necessidades dos mercados atuais (CHENG *et al.*, 2015).

Rüssmann *et al.* (2015) resumem de forma prática nove tecnologias que estão transformando a produção industrial, as quais, por sua vez, compõem os pilares da Indústria 4.0: i) sistemas e robôs autônomos; ii) Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*); iii) segurança cibernética (*cybersecurity*); iv) integração de sistemas horizontais e verticais (*horizontal and vertical system integration*); v) computação em nuvem (*cloud computing*); vi) impressão 3D e Fabricação aditiva (*additive manufacturing and 3D printing*); vii) análise de dados (*big data and analytics*); viii) realidade aumentada (*augmented reality*); ix) simulação e modelagem (*simulation and modelling*).

No que se refere às práticas de BPM e às várias tecnologias da Indústria 4.0, este trabalho é justificado pela busca da agregação e correlação dessas duas áreas, a fim de formar uma estrutura BPM/I4.0 mais robusta para nortear novos estudos e aplicações. Tupa e Steiner (2019) comprovam essa necessidade quando destacam que empresas, governos e universidades têm alocado recursos para projetos de pesquisa nessas áreas.

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que responda à seguinte questão de pesquisa geral: “Quais práticas de BPM são aplicadas no contexto das tecnologias da Indústria 4.0 no segmento industrial?”.

Essa questão de pesquisa geral pode ser dividida nas seguintes questões de pesquisa específicas (QPE):

- QPE1- “Como estão evoluindo as pesquisas que relacionam BPM e I4.0?”;
- QPE2- “Quais são as práticas de BPM relacionadas à I4.0 mais abordadas nos estudos?”;
- QPE3- “Quais tecnologias associadas à I4.0 são mais identificadas em estudos que abordam BPM?”;
- QPE4- “Em quais setores são identificadas as aplicações do BPM e de tecnologias da I4.0?”.

As principais contribuições deste trabalho podem ser resumidas da seguinte forma:

- Um levantamento de 26 estudos relacionados à associação entre as práticas de BPM e as tecnologias da I4.0;
- Apresentação das tendências atuais de pesquisas que podem auxiliar novos estudos.

Este trabalho encontra-se estruturado em seis seções: a Seção 1 traz a introdução; na Seção 2, é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre os temas tratados; a Seção 3 apresenta o método de pesquisa e o protocolo da RSL; a Seção 4 aborda os resultados obtidos, a partir da análise dos estudos selecionados e incluídos na RSL, além de responder às questões de pesquisa específicas; a Seção 5 discute os estudos por meio de uma comparação entre eles, de acordo com as práticas de BPM, além de discutir e responder à questão de pesquisa geral proposta; e a Seção 6 apresenta a conclusão.

## 2 Referencial teórico

Esta seção traz uma breve revisão bibliográfica sobre BPM e a Indústria 4.0.

### 2.1 BPM: cenário atual

O BPM é um conceito adotado por grande número de empresas em diferentes setores industriais, cuja implementação tradicional é focada na análise, modelagem, otimização, automação e medição de indicadores de processos (TUPA; STEINER, 2019).

Por sua vez, a ABPMP (2020) destaca que o BPM representa uma nova forma de visualizar as operações de negócio, indo além das estruturas funcionais tradicionais, e contextualiza, ainda, o BPM como um processo de negócio que entrega valor para os clientes ou apoia/gerencia outros processos.

O termo BPM tem sido usado de várias maneiras, com diversas proposições, evoluindo até o BPM inteligente ou iBPM, conforme abordado por Harmon (2016), que destaca a utilização variada do termo BPM no meio acadêmico como uma referência geral para a gestão de processos empresariais.

Atualmente, contudo, as referências ao BPM são direcionadas a processos integrados e contínuos, tratando igualmente de conceitos tecnológicos e organizacionais, conforme abordado nas análises de Neubauer *et al.* (2017) e Viriyasitavat *et al.* (2020).

Tupa e Steiner (2019) reforçam que é importante compreender que o BPM representa um processo, o qual abrange as fases da definição de estratégia, descrição, implementação e execução do processo. Assim se compreendendo, uma execução completa de BPM deve incluir as seguintes atividades: análise de processos; definição de estrutura entre processos; escolha do método de gestão; modelagem e otimização de processos; e determinação do sistema de diagnóstico e medição de desempenho.

De acordo com a ABPMP (2020), o ciclo de vida BPM é composto por uma estrutura contendo as seguintes atividades: alinhamento com a estratégia e objetivos, mudanças de arquitetura, desenvolvimento de iniciativas, implementação de mudanças e medição do sucesso.

Em relação às vantagens obtidas pela implantação do BPM, Turra, Juliani e Salla (2018) enfatizam que o sucesso do BPM se origina da identificação de variáveis que influenciam tanto a estratégia como as áreas críticas. Enfatizam, ainda, que, mesmo que seguidas todas as recomendações teóricas, por si só elas não podem oferecer respostas para todas as questões específicas de cada organização. O BPM deve, portanto, assegurar que a gestão dos processos esteja em consonância com os critérios estratégicos definidos.

As principais práticas de BPM são as seguintes (ABPMP, 2020):

- Modelagem do processo: inclui um conjunto de competências e processos que permite a compreensão, comunicação, medição e gestão de componentes primários dos processos;
- Análise do processo: envolve uma revisão detalhada dos processos, incluindo sua eficiência e eficácia. O foco está na compreensão do estado atual dos processos, visando alcançar melhorias no estado futuro;

- Desenho do processo: envolve a criação do estado futuro ou desenho para os processos dentro do contexto da estratégia organizacional, ligando os objetivos de desempenho do processo com a estratégia e as metas;
- Implementação do processo: deve ser executada de acordo com o desenho dos processos e inclui o suporte tecnológico adequado;
- Medição do desempenho do processo: consiste no monitoramento formal e planejado da execução dos processos, acompanhando os resultados para determinar sua eficiência e eficácia;
- Transformação do processo: enfatiza o ciclo de vida BPM, incluindo o negócio e/ou a transformação digital, começando com a estratégia e seguindo com seu desdobramento até a execução.

## 2.2 Contextualização da Indústria 4.0

O termo “Indústria 4.0” ou “I4.0”, atualmente, é uma das principais expressões da comunidade empresarial. Essa expressão descreve a digitalização da manufatura e o uso da análise de dados para otimizar os processos de manufatura, o que é celebrado como a 4ª Revolução Industrial (KUROKI; SHYU; DING, 2019).

Proposta pela primeira vez em 1999 pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), a I4.0, desde então, tem ganhado destaque e interesse em todo o mundo, sendo amplamente difundida na Alemanha a partir de 2011, marcando o início de uma nova era tecnológica, na qual o uso progressivo de digitalização e transformação digital nos diversos setores econômicos é marcado por clientes, fornecedores e consumidores, virtualmente conectados (SULLIVAN *et al.*, 2020).

Um dos princípios associados com a I4.0 é o uso de sistemas ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems*) e tecnologias relacionadas à digitalização de ambientes de trabalho, que se tornam inteligentes e digitalmente dirigidos (HUGHES *et al.*, 2020). Nesse contexto de mudanças, muitos conceitos têm surgido relacionados ao cenário tecnológico da I4.0. Prinz *et al.* (2019) abordam quatro diferentes definições sob diferentes aspectos:

- Componentes: refere-se à arquitetura da I4.0, definida como os ativos (componentes físicos) que proveem a autodescrição das capacidades;
- Comunicação: refere-se à rede de infraestrutura que habilita a comunicação entre os componentes da I4.0 e os diferentes protocolos e tecnologias;
- Engenharia de Métodos: engenharia do fluxo de trabalho baseado nos componentes da I4.0;
- Composição: execução do modelo de trabalho e da dinâmica dos componentes da I4.0.

Nesse cenário, o aspecto de Engenharia de Métodos possui correlação direta com gerenciamento de processos de negócio, mais especificamente com a prática da modelagem de processos, a qual representa fluxos de trabalho. Nesse aspecto, Zor, Schumm e Leymann (2011) e Keddis *et al.* (2015) discutem a modelagem de fluxos de trabalho e as tendências de customização e personalização em massa que requerem suporte da Engenharia de Métodos para atenuar as mudanças necessárias. Como resultados, concluíram que os fluxos de produção não são mais ditados com

base nos componentes disponíveis. Em vez disso, os fluxos de trabalho passam a ditar as etapas da produção desejada, de forma abstrata, podendo ser aplicados a vários sistemas de produção.

Algumas tecnologias aplicadas à I4.0 e também relacionadas à BPM são utilizadas neste trabalho e descritas a seguir:

- Internet das coisas (IoT): é o elemento facilitador, que pode integrar diferentes setores industriais em uma conexão sem fio, conectando dispositivos por meio de sensores e softwares inteligentes (sistemas ciberfísicos), podendo, independentemente da localização dos objetos, executar uma comunicação (BARTODZIEJ, 2017);
- *Big Data* (BD): é uma tecnologia capaz de coletar, organizar, analisar e processar um enorme volume de dados complexos. O BD utiliza vários recursos, como sensores, dispositivos de vídeo e áudio, redes, aplicativos e outros meios, de modo a processar os dados coletados de forma precisa e transformar essas informações em conhecimentos, de forma rápida (ZHONG *et al.*, 2017);
- *Data Warehouse* (DW): é um tipo de sistema de gerenciamento de dados projetado para ativar e fornecer suporte às atividades de *business intelligence*, especialmente a análise avançada (ORACLE, 2022).
- *Blockchain* (BCT): é um mecanismo avançado representado numa estrutura de dados que permite criar um registro digital de dados descentralizados – imutável, seguro, datado e com registro temporal – e partilhá-lo em uma rede de partes independentes (ABPMP, 2020);
- Automatização Robótica de Processos (*Robotic Process Automation* – RPA): é a utilização de software com Inteligência Artificial e capacidades de aprendizagem de máquina para lidar com tarefas (consultas, cálculos, transações etc.) repetíveis e de elevado volume (LAWTON, 2021);
- Arquitetura Orientada a Serviços (*Service Oriented Architectures* – SOA): arquitetura do ambiente de automatização de processos, em que o software de execução e a lógica do processo são separados (KIRCHMER, 2017).

### 3 Método da pesquisa

Este trabalho foi elaborado de acordo com os conceitos de uma RSL, a qual possui os estudos primários como fonte de dados. Galvão e Pereira (2014) entendem estudos primários como sendo os artigos científicos que relatam os resultados das pesquisas em primeira mão. Foi feita uma revisão planejada para responder a uma pergunta específica, fazendo uso de métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar, criticamente, os estudos incluídos na revisão (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011).

A RSL realizada pode ser classificada como uma RSL por Meta-Síntese, pois, de acordo com Galvão e Ricarte (2019), esse tipo de RSL é aplicado quando uma revisão visa integrar a pesquisa qualitativa, objetivando sintetizar estudos qualitativos sobre um tópico a fim de localizar temas, conceitos ou teorias-chave que forneçam novas ou mais explicações para o fenômeno sob análise.

A maioria dos estudos relacionados à RSL segue protocolos específicos a depender do tipo de pesquisa. Assim, este trabalho propõe seis etapas que serão adotadas com

base nos estudos de Botelho, Cunha e Macedo (2011), De-la-Torre-Ugarte-Guanilo, Takahashi e Bertolozzi (2011), Galvão e Ricarte (2019) e Sousa e Ribeiro (2009).

### 3.1 Etapa I – Identificação da questão de pesquisa a ser tratada na RSL

Para a realização deste estudo, formulou-se a questão de pesquisa com base na sistemática conhecida pela sigla PICOC: Problema, Intervenção, Comparação e Resultados (GALVÃO; RICARTE, 2019). Assim, o tema central do estudo foi delimitado por meio da seguinte questão de pesquisa: “Quais práticas de BPM são aplicadas no contexto das tecnologias da Indústria 4.0 no segmento industrial?”.

### 3.2 Etapa II – Seleção das bases para consulta e coleta de material

Para abordagem dos trabalhos relacionados ao tema, este estudo abrangeu uma minuciosa pesquisa, a partir de consulta às bases acadêmicas *Scopus* e *Web of Science*. A escolha dessas bases se deve ao fato de possuírem uma base de dados indexada consistente, abrangendo diversas áreas do conhecimento e, portanto, tornando a pesquisa mais completa.

### 3.3 Etapa III – Elaboração da estratégia de busca e estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão

A busca foi realizada utilizando-se o seguinte tesauro: (“*business process management*” OR “*business process innovation*” OR *BPM* OR “*business process*” OR “*business process improvement*”) AND (“*Industry 4.0*” OR “*I4.0*” OR “*Manufacture 4.0*” OR “*Factory 4.0*”). A consulta do tesauro se deu nos campos: título, resumo e palavras-chave.

Foram propostos cinco critérios de elegibilidade, sendo quatro deles de inclusão e um de exclusão, conforme segue:

- Critérios de inclusão: (C1) ano de publicação entre 2011 e 2021; (C2) artigos indexados e publicados em periódicos; (C3) idiomas: português, inglês ou espanhol; (C4) acesso ao texto completo.
- Critério de exclusão: (C5) áreas de saúde, agricultura e ciências sociais.

### 3.4 Etapa IV – Identificação dos estudos selecionados e sistematização das informações

Para junção das bases de dados e exclusão dos artigos repetidos, foi utilizado o software “R”. Os estudos foram selecionados utilizando-se as diretrizes da sistemática PRISMA – *Transparent Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyses*, conforme Moher *et al.* (2015).

### 3.5 Etapa V – Análise e interpretação dos resultados

Os estudos foram analisados de acordo com sua localização (países e veículos), ano de publicação, práticas de BPM utilizadas, tecnologias de I4.0 abordadas e aplicação em segmentos industriais.

### 3.6 Etapa VI – Apresentação da revisão/síntese do conhecimento

Foram elaborados quadros, gráficos e figuras para apresentar os resultados obtidos, além de uma comparação textual dos estudos de acordo com as práticas de BPM utilizadas.

## 4 Resultados obtidos

Esta seção apresenta a identificação dos estudos e a sistematização das informações, assim como a análise e interpretação dos resultados. A revisão/síntese do conhecimento será apresentada na Seção 5.

### 4.1 Identificação dos estudos e sistematização das informações

#### Tabela 1 ▼

Seleção e inclusão dos artigos para a RSL.  
Fonte: dados da pesquisa

A extração da rede de bibliometria, a partir dos artigos selecionados, foi elaborada por meio do software R – Bibliometrix. A Tabela 1 apresenta o processo de seleção dos artigos analisados.

Bases: Scopus; Web of Science	Identificação ⇒		Elegibilidade ⇒ (critérios)					Seleção ⇒	Inclusão
	Resultados	Duplicados	C1	C2	C3	C4	C5	(título/resumo)	(análise do texto)
Excluídos	-----	3	1	376	12	3	28	124	19
<b>Total</b>	592	589	588	212	200	197	169	45	<b>26</b>

Pode-se observar, na Tabela 1, que, por meio da busca realizada, foram identificados 592 estudos, dos quais 3 foram excluídos por estarem duplicados; 392 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão (C1 a C4); e 28 foram excluídos por atenderem ao critério de exclusão (C5). Dos 169 artigos restantes, 124 foram excluídos após análise do título e do resumo, pois não se encontravam relacionados à aplicação das práticas de BPM para a I4.0. E, por fim, 19 artigos foram excluídos após a análise do texto completo, pois não respondiam à questão de pesquisa proposta. Assim, foram incluídos 26 artigos na RSL.

No Quadro 1, são apresentados os artigos incluídos, identificando-se seus autores, ano de publicação, países, periódicos e a classificação internacional do periódico por quartil. Dessa forma, foi possível identificar os países que mais têm produzido conhecimento na área de pesquisa deste trabalho, assim como analisar os periódicos que publicaram os artigos e suas classificações.

**Quadro 1 ►**

Localização dos artigos.

Fonte: dados da pesquisa

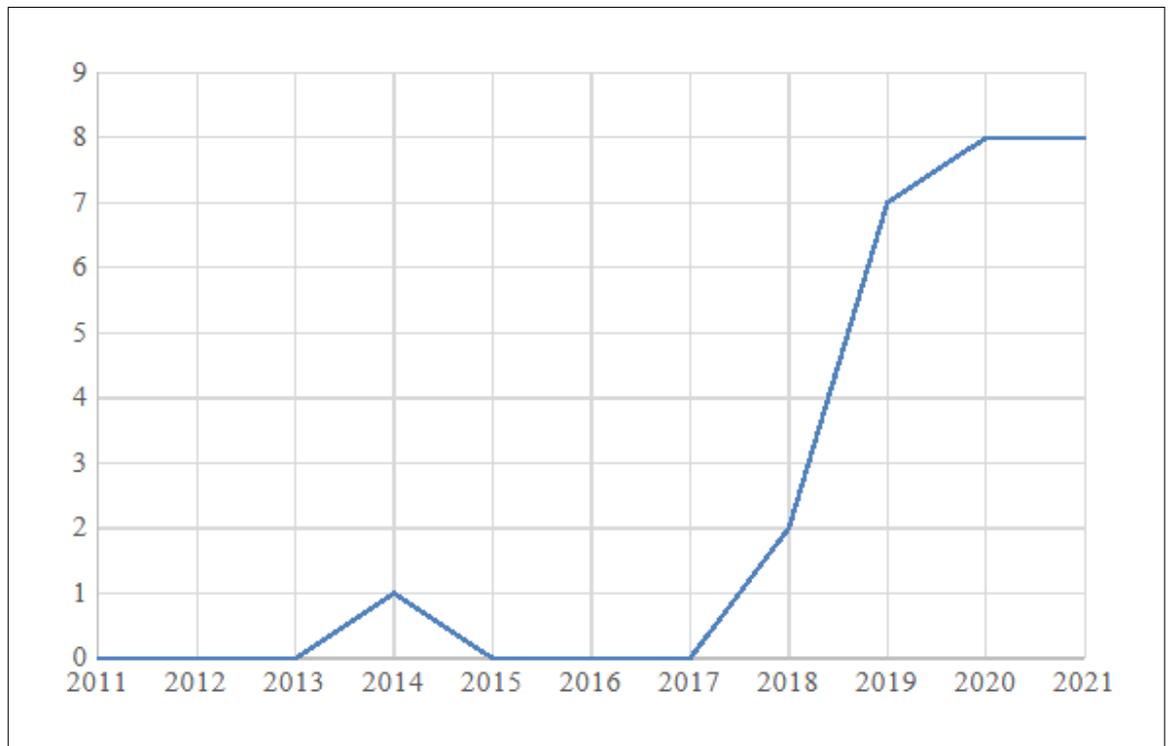
[1] <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php>

<b>Autores (Ano)</b>	<b>Países</b>	<b>Periódicos</b>	<b>Quartil<sup>1</sup></b>
Kraus, Kraus e Manzhura (2021)	Ucrânia	WSEAS Transactions on Business and Economics	Q4
Ostroukh <i>et al.</i> (2021)	Rússia	Russian Engineering Research	Q3
Fernandes <i>et al.</i> (2021)	Portugal	Applied Sciences	Q3
Ng <i>et al.</i> (2021)	Cingapura	Advanced Engineering Informatics	Q1
Grisold <i>et al.</i> (2021)	Alemanha	Business & Information Systems Engineering	Q1
Van Geest, Tekinerdogan e Catal (2021)	Holanda	Computers in Industry	Q1
Kozma, Varga e Larrinaga (2021)	Espanha	IEEE Transactions on Automation Science and Engineering	Q2
Gorecki <i>et al.</i> (2021)	França	Information	Q3
Butt (2020)	Reino Unido	Journal of Combinatorial Designs	Q4
Koroniotis <i>et al.</i> (2020)	Austrália	IEEE Access	Q2
Erasmus <i>et al.</i> (2020)	Holanda	Applied Sciences	Q3
Viriyasitavat <i>et al.</i> (2020)	Tailândia	Journal of Intelligent Manufacturing	Q1
Wiesböck e Hess (2020)	Alemanha	Electronic Markets	Q2
Schönig <i>et al.</i> (2020)	Alemanha	Software and Systems Modeling	Q3
Vieira <i>et al.</i> (2020)	Portugal	Simulation Modelling Practice and Theory	Q2
Knoch <i>et al.</i> (2020)	Alemanha	Journal on Data Semantics	Q4
Sehlin, Truedsson e Cronemyr (2019)	Suécia	International Journal of Quality and Service Sciences	Q3
Prinz <i>et al.</i> (2019)	Alemanha	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Q1
Kareem (2019)	Iraque	International Journal of Engineering Business Management	Q3
Belli <i>et al.</i> (2019)	Itália	Frontiers in Computer Science	Q4
Kattepur (2019)	Índia	IET The Institution of Engineering and Technology	Q3
Ammirato <i>et al.</i> (2019)	Itália	European Journal of Innovation Management	Q2
Tupa e Steiner (2019)	República Tcheca	Technical Journal	Q3
Mazzola, Kapahnke e Klusch (2018)	Suíça	International Journal of Web Information Systems	Q4
Mazzola <i>et al.</i> (2018)	Alemanha	Information	Q3
Wende e Kiradjiev (2014)	Alemanha	Elektrotechnik & Informationstechnik	Q4

**Figura 1 ▼**  
Número de artigos  
por ano de acordo  
com a RSL.

Fonte: elaborada  
pelos autores

A Figura 1 responde à QPE1 – “Como estão evoluindo as pesquisas que relacionam BPM e I4.0?”. Assim, ao considerar o período das publicações, na Figura 1, percebe-se um baixo volume de publicações correlacionando BPM e Indústria 4.0 em períodos que antecedem 2014. Isso se justifica pelo fato de que a I4.0 teve seu marco considerado a partir de 2011. Por sua vez, o aumento na ordem de 56% a partir de 2018 reflete a relevância do tema no cenário científico mundial.



Em relação aos periódicos, há uma igualdade quanto ao número de publicações/ano, sendo que os periódicos *Applied Sciences* e *Information*, ambos da Suíça, aparecem, cada um, com 7,7% das publicações no período analisado. Esses periódicos, basicamente, abordam temas variados relacionados a ciência e tecnologia da informação, ciência de dados e comunicação. Por sua vez, periódicos como *IEEE Access*, *European Journal of Innovation Management* e *International Journal of Engineering Business Management* aparecem, cada um, com 3,8% das publicações sobre BPM e I.4.0.

Em relação à classificação dos periódicos por quartil, dez encontram-se classificados como sendo de alto impacto (Q1 e Q2), dez como Q3 e seis como Q4.

Quanto aos autores, estes foram identificados por país, de forma a evidenciar o local de origem de pesquisadores em relação ao tema “aplicação das práticas de BPM e as tecnologias da Indústria 4.0”. Assim, os países que mais se destacaram foram a Alemanha (sete autores) e Itália (três autores).

## 4.2 Análise e interpretação dos resultados

Esta subseção apresenta os resultados do estudo, quanto ao seu alinhamento perante a questão de pesquisa proposta. Assim, o Quadro 2 identifica as práticas de BPM

**Quadro 2 ▼**

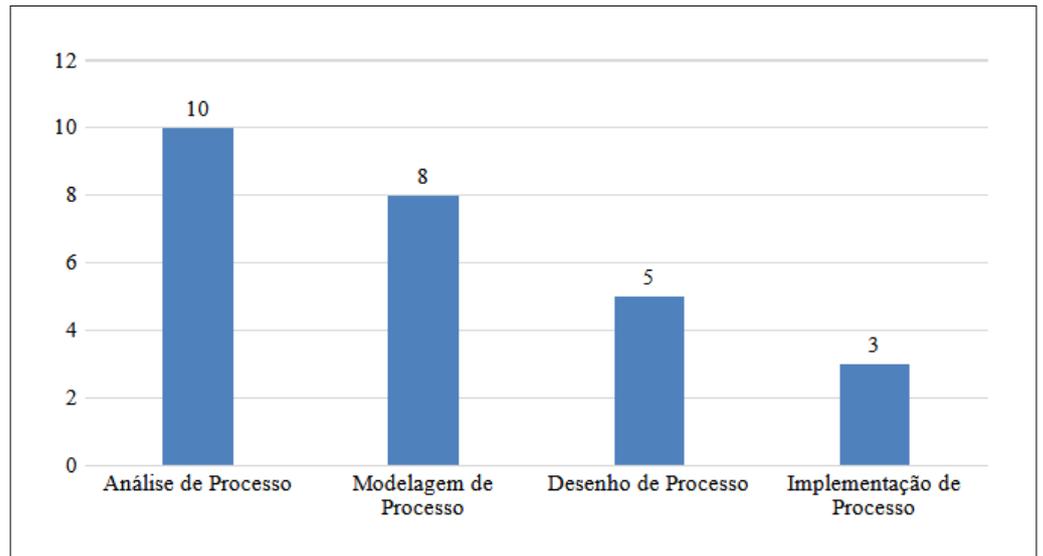
Práticas de BPM, tecnologias da Indústria 4.0 e setores identificados nos artigos.

Fonte: dados da pesquisa

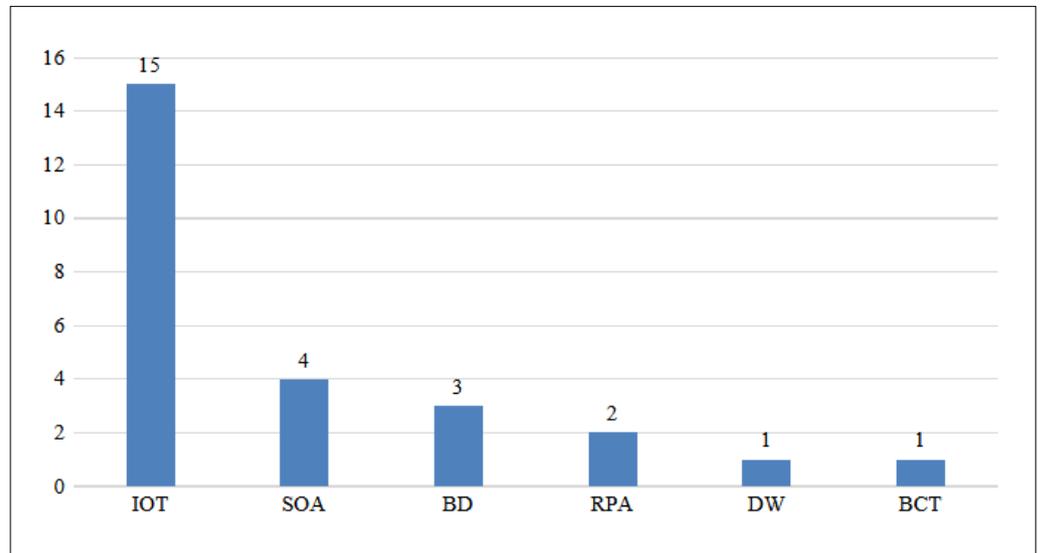
que foram adotadas, as tecnologias da Indústria 4.0 e o segmento industrial ao qual os artigos estão relacionados. A partir do Quadro 2, foi realizada uma análise de seu conteúdo, possibilitando a elaboração das Figuras 2, 3 e 4.

<b>Autores/Ano</b>	<b>Práticas de BPM</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Setores</b>
Kraus, Kraus e Manzhura (2021)	Análise de processos	Internet das Coisas (IoT)	Geral
Ostroukh <i>et al.</i> (2021)	Modelagem de processos	Automatização Robótica de Processos (RPA)	Automotivo
Fernandes <i>et al.</i> (2021)	Análise de processos	Internet das Coisas (IoT)	Automotivo
Ng <i>et al.</i> (2021)	Modelagem de processos	Automatização Robótica de Processos (RPA)	Metalmecânica
Grisold <i>et al.</i> (2021)	Modelagem de processos	Internet das Coisas (IoT)	Serviços
Van Geest, Tekinerdogan e Catal (2021)	Modelagem de processos	Big Data (BD)	Logística
Kozma, Varga e Larrinaga (2021)	Desenho de processos	Internet das coisas (IoT)	Automotivo
Gorecki <i>et al.</i> (2021)	Modelagem de processos	Arquitetura Orientada a Serviços (SOA)	Geral
Butt (2020)	Análise de processos	Big Data (BD)	Tecnologia
Koroniotis <i>et al.</i> (2020)	Implementação de processos	Internet das Coisas (IoT)	Aeronáutica
Erasmus <i>et al.</i> (2020)	Modelagem de processos	Internet das Coisas (IoT)	Manufatura
Viriyasitavat <i>et al.</i> (2020)	Análise de processos	Blockchain (BCT)	Serviços
Wiesböck e Hess (2020)	Análise de processos	Internet das Coisas (IoT)	Geral
Schönig <i>et al.</i> (2020)	Modelagem de processos	Internet das Coisas (IoT)	Geral
Vieira <i>et al.</i> (2020)	Análise de processos	Data Warehouses (DW)	Logística
Knoch <i>et al.</i> (2020)	Desenho de processos	Internet das Coisas (IoT)	Manufatura
Sehlin, Truedsson e Cronemyr (2019)	Desenho de processos	Internet das Coisas (IoT)	Tecnologia
Prinz <i>et al.</i> (2019)	Implementação de processos	Internet das Coisas (IoT)	Manufatura
Kareem (2019)	Análise de processos	Internet das Coisas (IoT)	Água Mineral
Belli <i>et al.</i> (2019)	Análise de processos	Internet das Coisas (IoT)	Manufatura
Kattepur (2019)	Análise de processos	Arquitetura Orientada a Serviços (SOA)	Logística
Ammirato <i>et al.</i> (2019)	Desenho de processos	Internet das Coisas (IoT)	Tecnologia
Tupa e Steiner (2019)	Desenho de processos	Big Data (BD)	Geral
Mazzola, Kapahnke e Klusch (2018)	Implementação de processos	Arquitetura Orientada a Serviços (SOA)	Automotivo
Mazzola <i>et al.</i> (2018)	Modelagem de processos	Arquitetura Orientada a Serviços (SOA)	Manufatura
Wende e Kiradjiev (2014)	Análise de processos	Internet das Coisas (IoT)	Metalmecânica

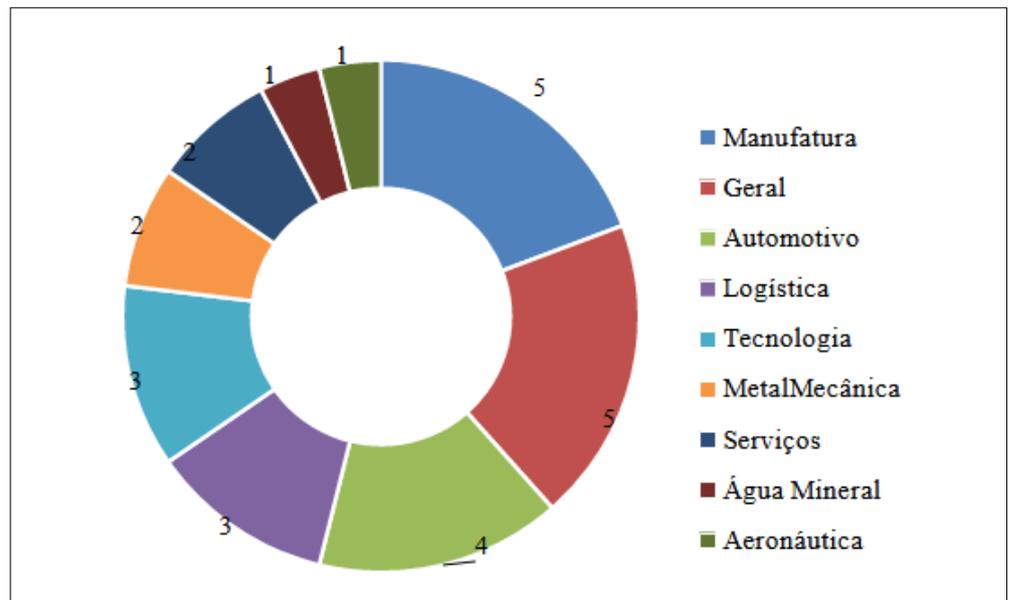
**Figura 2 ▶**  
 Artigos por tipo de prática de BPM.  
 Fonte: elaborada pelos autores



**Figura 3 ▶**  
 Artigos por tipo de tecnologia da I4.0.  
 Fonte: elaborada pelos autores



**Figura 4 ▶**  
 Artigos por setor de acordo com a RSL.  
 Fonte: elaborada pelos autores



A Figura 2 responde à QPE2: “Quais são as práticas de BPM relacionadas à I4.0 mais abordadas nos estudos?”. Observa-se que 38,46% dos estudos abordaram a Análise de processos, 30,77% a Modelagem de processos, 19,23% o Desenho de processos e apenas 11,54% a Implementação de processos. Pode-se observar que a medição de desempenho e a transformação de processos não foram citadas nos artigos.

A Figura 3 responde à QPE3: “Quais tecnologias associadas à I4.0 são mais identificadas em estudos que abordam BPM?”. A maioria dos estudos abordou a tecnologia da Internet das Coisas (IoT), representando 57,69% dos estudos. Por sua vez, 15,38% dos estudos estão direcionados para a Arquitetura Orientada a Serviço (SOA) e 11,54% para *Big Data*. O fato de os estudos estarem concentrados, em sua maior parte, em três tecnologias pode ser justificado pela necessidade de interconexões dos equipamentos para a automação dos processos de produção. O trabalho de Viriyasitavat *et al.* (2020), o qual possui o maior número de citações (52), abordou, contudo, a tecnologia de *blockchain*, podendo indicar uma tendência para novas pesquisas.

A Figura 4 responde à QPE4: “Em quais setores são identificadas as aplicações do BPM e de tecnologias da Indústria 4.0?”. Nos estudos selecionados, os setores mais abordados foram Manufatura (19%), Geral (19%) e Automotivo (15%).

## 5 Discussão

Esta seção apresenta uma comparação textual dos estudos de acordo com as práticas de BPM utilizadas. Além disso, esta seção analisa, discute e responde à questão de pesquisa geral proposta.

### 5.1 Comparação dos estudos de acordo com as práticas de BPM utilizadas

A seguir é feita uma comparação entre os estudos analisados conforme as práticas de BPM utilizadas pelos autores.

#### 5.1.1 Desenho de processos

Kozma, Varga e Larrinaga (2021) apresentaram uma abordagem de soluções que permitem a execução eficiente de metas corporativas, propondo um modelo de execução de *workflow* que integra informações e fluxos de controle para sistemas industriais automotivos, utilizando IoT.

Knoch *et al.* (2020) apresentaram uma proposta de modelo de visão computacional que reconhece processos de montagem em manufatura, na intenção de identificar comportamentos humanos e flexibilizar processos que requeiram interação humana. Em testes aplicados, o modelo teve uma interpretação muito satisfatória, usando redes neurais e IoT.

Sehlin, Truedsson e Cronemyr (2019) elaboraram um estudo que aponta para a criação de uma estrutura para que as pequenas e médias empresas se tornassem mais eficientes por meio da digitalização de seus processos de negócios, utilizando IoT.

Ammirato *et al.* (2019) examinaram as condições sob as quais a adoção de IoT é justificada por objetivos comerciais, identificando as etapas de reengenharia de processos de negócios necessárias para estabelecer uma adequada estrutura organizacional e técnica e realizar com sucesso a adoção da IoT para fins de segurança em bancos italianos.

Tupa e Steiner (2019) trataram sobre a melhoria de processo de gestão de produção, fazendo uma análise das novas tendências em BPM e uma apresentação das possibilidades de tecnologias essenciais para a Indústria 4.0 nas fases de BPM.

### 5.1.2 Implementação de processos

Koroniotis *et al.* (2020) mostraram a incorporação de sistemas de IoT aos processos de negócios de aeroporto, chamados “aeroportos inteligentes”, por meio de serviços habilitados por sensores e sistemas IoT.

Prinz *et al.* (2019) abordaram o avanço do mercado na implementação de processos para transformação e inovação na indústria, em que novos métodos de engenharia são necessários, logo devem ser explicitamente projetados para sistemas de produção altamente mutáveis.

Mazzola, Kapahnke e Klusch (2018) aplicaram uma ferramenta intitulada ODERU (*Optimization tool for Design and Runtime*) em duas instituições e obtiveram resultados satisfatórios. Segundo os autores, essa ferramenta permite uma implementação automática de processos de manufatura baseados em serviços, utilizando a composição semântica e a notação BPMN (*Business Process Modelling and Notation*) 2.0.

### 5.1.3 Análise de processos

Kraus, Kraus e Manzhura (2021) apresentaram as características da digitalização dos processos de negócios nas empresas como alicerce sobre a gradual formação da I4.0, além da busca pelo crescimento econômico em uma nova realidade virtual. Para a digitalização, primeiramente, se faz necessária uma análise dos processos de negócio da empresa.

Fernandes *et al.* (2021) abordaram a evolução da I4.0 na indústria automotiva, apresentando o gerenciamento de processos de negócios, bem como sua relação com a manutenção, por meio da análise de processos.

Butt (2020) apresentou uma estrutura conceitual amparada em análise de processos de negócios e elaborada por meio de uma revisão do conteúdo da I4.0, sendo aplicada em *Big Data*.

Viriyasitavat *et al.* (2020) apresentaram uma solução de BPM automatizada para selecionar e compor serviços em ambiente de negócios aberto. Foi proposta a tecnologia *Blockchain* (BCT) para transferir e verificar a confiabilidade dos negócios e dos parceiros; uma estrutura de BPM foi desenvolvida para ilustrar como integrar o BCT, a fim de apoiar a análise rápida, confiável e econômica da qualidade dos serviços na elaboração e gestão do fluxo de trabalho.

Wiesböck e Hess (2020) demonstraram que a realização e incorporação de inovações digitais nas organizações se manifestam por um desenvolvimento orientado pela tecnologia, utilizando os capacitadores de inovações digitais e a governança de inovações digitais. Foi realizada uma análise dos processos para o uso da IoT em prol da inovação digital.

Vieira *et al.* (2020) apresentaram a utilização de dados reais no modelo de simulação de capacidade, visando, por meio da análise de processos, testar cenários de interrupção, previsão, determinação de soluções complexas e visualização de fluxos logísticos. O modelo foi executado utilizando-se dados de todos os processos de negócio relevantes, gerados em volume, velocidade e variedade crescentes, em uma estrutura de *Big Data Warehouse* (BDW).

Kareem (2019) apresentou um estudo sobre o uso de equipamentos inteligentes que possuem poder de cálculo automático, no segmento de águas minerais. Como resultado do uso desses equipamentos, o estudo apontou várias melhorias a partir da análise dos processos, em especial a redução de lixo industrial.

Belli *et al.* (2019) apresentaram uma metodologia de otimização de processos usando diversos recursos de IoT, resultando em redução expressiva de custos, melhor controle de qualidade, detecção e reação a problemas na cadeia de suprimentos em tempo real, além de redução significativa de tempo gasto em planejamento e otimização de recursos empregatícios, graças à minimização de tempo improdutivo nas linhas de produção.

Kattepur (2019) apresentou uma análise detalhada dos processos e da programação de dispositivos inteligentes que trabalham de forma concorrente dentro de um *workflow* voltado à redução de perdas em estoque/armazéns.

Wende e Kiradjiev (2014) abordaram que a sinergia das máquinas, a tecnologia da informação, as oportunidades de negócios e a análise de processos representam as principais características da I4.0 para a construção de máquinas, utilizando sistemas de IoT.

### 5.1.4 Modelagem de processos

Van Geest, Tekinerdogan e Catal (2021) apresentaram um modelo de processo de negócios genérico para armazéns tradicionais e armazéns inteligentes. Os dados do estudo foram obtidos em um grande armazém da indústria de alimentos. Foi modelada uma arquitetura de referência, a qual foi avaliada por meio de um estudo de caso.

Gorecki *et al.* (2021) demonstraram resoluções para as complexidades e as incompatibilidades entre componentes heterogêneos na indústria. Foi proposta uma implementação de HLA (*High Level Architecture*)/FMI (*Funcional Interface Mockup*) com uma conexão a um negócio externo, para a qual foi elaborada a modelagem de processos.

Ostroukh *et al.* (2021) focaram os estudos para a compreensão de mecanismos de automação bem como de suas inter-relações e coordenação. Para tal, foram elaboradas as modelagens dos processos de automação de uma indústria. A abordagem proposta reduziu significativamente os custos de produção, pois, com a modelagem, se propôs o uso de tecnologia aditiva; assim, os produtos customizados foram fabricados com consumo mínimo de tempo e de materiais nas etapas de desenvolvimento e prototipagem.

Grisold *et al.* (2021) propuseram um *framework* intitulado *Five Diamonds Method*, que consiste em quatro grandes estruturas: Negócio, Integração, Propósito e Tecnologia. Uma quinta estrutura é proposta por meio da integração dessas quatro estruturas. A partir disso, cada segmento é modelado por meio de subitens, e seus relacionamentos são especificados por meio dos significados das ligações.

Ng *et al.* (2021) exploraram as percepções da IA para geração de novas oportunidades no fornecimento de processos automatizados, diagnosticando falhas e elicitando soluções em ambientes de decisão complexos, por meio da modelagem de processos, com a presença de dados sensíveis ao contexto, incerteza e preferências do cliente.

Schönig *et al.* (2020) apresentaram uma abordagem integrada para a execução de processos de negócios que explora IoT para BPM, fornecendo dados de uma forma compatível e com base nos conceitos de modelagem BPM. A aplicação dos recursos tecnológicos de IoT foi avaliada em diferentes casos de uso na indústria.

Erasmus *et al.* (2020) apresentaram uma arquitetura de referência para um sistema de gerenciamento de operações de manufatura. Tal arquitetura se baseou na aplicação e extensão de gerenciamento de processos de negócios (BPM), por meio da modelagem para gerenciar os processos dinâmicos de manufatura.

Mazzola *et al.* (2018) desenvolveram uma extensão da ferramenta ODERU (*Optimization tool for DDesign and RUnTime*), de forma que esta possa prover generalizações de suas aplicações. Esse estudo ressaltou a ontologia necessária para fazer a intermediação entre a modelagem do processo e a semântica da generalização de forma que o modelo interprete os processos.

## 5.2 Quais práticas de BPM são aplicadas no contexto das tecnologias da Indústria 4.0 no segmento industrial?

### Quadro 3 ▼

Práticas de BPM aplicadas no contexto das tecnologias da I4.0 no segmento industrial.  
Fonte: dados da pesquisa

De acordo com uma análise do Quadro 2 e a partir das respostas obtidas para as questões de pesquisa específicas (QPE1 a QPE4), pode-se elaborar o Quadro 3, o qual mostra a relação entre as práticas de BPM, as tecnologias da I4.0 e os segmentos industriais de aplicação dos estudos.

Práticas BPM	Segmentos da indústria								
	Tecnologia	Metalmecânica	Automotiva	Logística	Manufatura	Água mineral	Serviços	Aeronáutica	Geral
Modelagem de processos	-----	RPA	RPA	BD	IoT SOA	-----	IoT	-----	IoT SOA
Análise de processos	BD	IoT	IoT	DW SOA	IoT	IoT	BCT	-----	IoT BCT
Desenho de processos	IoT	-----	IoT	-----	IoT	-----	-----	-----	BD
Implementação de processos	-----	-----	SOA	-----	IoT	-----	-----	IoT	-----

De acordo com o Quadro 3, foram identificadas quatro práticas de BPM aplicadas no contexto das tecnologias da Indústria 4.0 no segmento industrial: Modelagem, Análise, Desenho e Implementação de processos. Essas práticas de BPM se relacionam com as tecnologias da I4.0 e com os segmentos industriais da seguinte forma:

- Modelagem de processos: está relacionada com a tecnologia de RPA para os segmentos da indústria Metalmecânica e Automotiva. Está relacionada com a tecnologia de BD para o segmento da Logística. Está relacionada com as

tecnologias de IoT e SOA para os segmentos da Manufatura e Geral. E está relacionada com a tecnologia de IoT para o segmento de Serviços;

- Análise de processos: está relacionada com a tecnologia de BD para o segmento da Tecnologia. Está relacionada com a tecnologia de IoT para os segmentos da indústria Metalmeccânica, Automotiva, Manufatura, Água Mineral e Geral. Está relacionada com as tecnologias de DW e SOA para o segmento da Logística. E está relacionada com a tecnologia de BCT para os segmentos de Serviços e Geral;
- Desenho de processos: está relacionada com a tecnologia de IoT para os segmentos da Tecnologia, Automotiva e Manufatura. E está relacionada com a tecnologia de BD para o segmento Geral;
- Implementação de processos: está relacionada com a tecnologia de IoT para os segmentos da Manufatura e Aeronáutica. E está relacionada com a tecnologia de SOA para o segmento da indústria Automotiva.

Ainda de acordo com o Quadro 3, pode-se observar que: i) a Modelagem de processos foi utilizada em seis segmentos industriais por meio de quatro tecnologias; ii) a Análise de processos foi utilizada em oito segmentos industriais por meio de cinco tecnologias; iii) o Desenho de processos foi utilizado em quatro segmentos industriais por meio de duas tecnologias; e iv) a Implementação de processos foi utilizada em três segmentos industriais por meio de duas tecnologias.

É possível afirmar, portanto, que, além de a Análise de processos ser considerada a prática mais utilizada nos estudos selecionados (Figura 2), essa também foi a prática utilizada pela maioria dos segmentos industriais.

Em relação às tecnologias da I4.0, a IoT, além de ser considerada a tecnologia mais utilizada nos estudos selecionados (Figura 3), também foi a tecnologia utilizada em todas as práticas de BPM e pela maioria dos segmentos industriais.

## 6 Conclusões

Este artigo apresentou uma RSL sobre aplicações das práticas de BPM associadas às tecnologias da Indústria 4.0, em diversos segmentos da indústria.

O objetivo deste artigo foi alcançado ao se responder à questão de pesquisa proposta da seguinte forma: “Quais práticas de BPM são aplicadas no contexto das tecnologias da Indústria 4.0 no segmento industrial?”. As práticas são a Modelagem, a Análise, o Desenho e a Implementação de Processos.

Como resultado, pode-se concluir que o uso de tecnologias para I4.0 desponta como uma direção de pesquisa, sobretudo em relação à Internet das Coisas, que, associada às práticas de Análise e Modelagem de Processos, tende para novas pesquisas e aplicações na indústria.

Um impacto relevante do uso do BPM relacionado à I4.0 está na necessidade da transformação digital, visto que, para que essa transformação ocorra com sucesso, é preciso conhecer, de forma detalhada, os processos de negócio das organizações. Nesse contexto, a transformação digital na I4.0 ocorre de forma mais facilitada, devido ao fato de esta já utilizar a maioria das tecnologias necessárias para tal.

Na análise dos 26 estudos selecionados, foi percebida uma lacuna referente a uma relação das tecnologias utilizadas com a prática da transformação do processo, já que esta não foi citada nos estudos. Tal lacuna pode ser considerada uma limitação dos estudos, pois a transformação digital está fortemente relacionada à transformação do processo.

Conclui-se, pois, que a associação de práticas de BPM à I4.0 é um tema promissor e que pode trazer resultados positivos para a indústria e para a academia.

Em relação aos trabalhos futuros e visando preencher a lacuna encontrada, sugere-se uma extensão desta pesquisa, incluindo, na RSL, estudos oriundos de eventos científicos, dissertações e teses, além da inserção de outras bases científicas para as buscas.

## Financiamento

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, da FAPERJ, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, e da CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Código de Financiamento 001).

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

ABPMP – ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS INTERNATIONAL. **BPM CBOOK Version 4.0**: Portuguese Version. Brasília, DF: ABPMP, 2020.

AHMAD, T.; LOOY, A. V. Business process management and digital innovations: a systematic literature review. **Sustainability**, v. 12, n. 17, 6827, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12176827>.

AMMIRATO, S.; SOFO, F.; FELICETTI, A. M.; RASO, C. A methodology to support the adoption of IoT innovation and its application to the Italian bank branch security context. **European Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 1, p. 146-174, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/EJIM-03-2018-0058>.

BARTODZIEJ, C. J. **The concept Industry 4.0**: an empirical analysis of technologies and applications in production logistics. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017. (BestMasters). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-16502-4>.

BELLI, L.; DAVOLI, L.; MEDIOLI, A.; MARCHINI, P. L.; FERRARI, G. Toward Industry 4.0 with IoT: optimizing business processes in an evolving manufacturing factory. **Frontiers in ICT**, v. 6, n. 17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fict.2019.00017>.

BINCI, D.; BELISARI, S.; APPOLLONI, A. BPM and change management: an ambidextrous perspective. **Business Process Management Journal**, v. 26, n. 1, p. 1-23, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/BPMJ-06-2018-0158>.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011. DOI: <https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>.

BUTT, J. A conceptual framework to support digital transformation in manufacturing using an integrated business process management approach. **Designs**, v. 4, n. 3, p. 1-39, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs4030017>.

CHENG, C.-H.; GUELFIRAT, T.; MESSINGER, C.; SCHMITT, J. O.; SCHNELTE, M.; WEBER, P. Semantic degrees for Industrie 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies. *In: JOINT MEETING ON FOUNDATIONS OF SOFTWARE ENGINEERING*, 10., 2015, Bergamo. **Proceedings** [...]. New York: ACM, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1145/2786805.2804434>.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, M. C.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 45, n. 5, p. 1260-1266, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0080-62342011000500033>.

ERASMUS, J.; VANDERFEESTEN, I. T. P.; TRAGANOS, K.; KEULEN, R.; GREFEN, P. The HORSE project: the application of business process management for flexibility in smart manufacturing. **Applied Sciences**, v. 10, n. 12, 4145, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10124145>.

FERNANDES, J.; REIS, J.; MELÃO, N.; TEIXEIRA, L.; AMORIM, M. The role of Industry 4.0 and BPMN in the arise of condition-based and predictive maintenance: a case study in the automotive industry. **Applied Sciences**, v. 11, n. 8, 3438, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11083438>.

FERRARIS, A.; MONGE, F.; MUELLER, J. Ambidextrous IT capabilities and business process performance: an empirical analysis. **Business Process Management Journal**, v. 24, n. 5, p. 1077-1090, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/BPMJ-07-2017-0201>.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 1, p. 183-184, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/yPKRNymgtzwwWR8cpDmRWQr/>. Acesso em: 15 jul. 2022.

GORECKI, S.; POSSIK, J.; ZACHAREWICZ, G.; DUCQ, Y.; PERRY, N. Business models for distributed-simulation orchestration and risk management. **Information**, v. 12, n. 2, p. 1-22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/info12020071>.

GRISOLD, T.; GROß, S.; STELZL, K.; BROCKE, J.; MENDLING, J.; RÖGLINGER, M.; ROSEMANN, M. The five diamond method for explorative

business process management. **Business & Information Systems Engineering**, v. 64, p. 149-166, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00703-1>.

HARMON, P. **The state of business process management 2016**. A BPTrends Report. 2016. Disponível em: <https://www.bptrends.com/bpt/wp-content/uploads/2015-BPT-Survey-Report.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.

HUGHES, L.; DWIVEDI, Y. K.; RANA, N. P.; WILLIAMS, M. D.; RAGHAVAN, V. Perspectives on the future of manufacturing within the Industry 4.0 era. **Production Planning & Control**, v. 33, n. 2-3, p. 1-21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810762>.

IRITANI, D. R.; MORIOKA, S. N.; CARVALHO, M. M.; OMETTO, A. R. Análise sobre os conceitos e práticas de Gestão por Processos: revisão sistemática e bibliometria. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 1, p. 164-180, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X814-13>.

KAREEM, J. A. H. The impact of intelligent manufacturing elements on product design towards reducing production waste. **International Journal of Engineering Business Management**, v. 11, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/1847979019863955>.

KATTEPUR, A. Workflow composition and analysis in Industry 4.0 warehouse automation. **IET Collaborative Intelligent Manufacturing**, v. 1, n. 3, p. 78-89, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-cim.2019.0017>.

KEDDIS, N.; KAINZ, G.; ZOITL, A.; KNOLL, A. Modeling production workflows in a mass customization era. *In*: 2015 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY (ICIT), 2015, Seville. **Proceedings [...]**. Seville: IEEE, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125374>.

KIRCHMER, M. **High performance through business process management: strategy execution in a digital world**. 3rd. ed. Berlin: Springer, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51259-4>.

KNOCH, S.; HERBIG, N.; PONPATHIRKOOTTAM, S.; KOSMALLA, F.; STAUDT, P.; PORTA, D.; FETTKE, P.; LOOS, P. Sensor-based human-process interaction in discrete manufacturing. **Journal on Data Semantics**, v. 9, n. 1, p. 21-37, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13740-019-00109-z>.

KORONIOS, N.; MOUSTAFA, N.; SCHILIRO, F.; GAURAVARAM, P.; JANICKE, H. A holistic review of cybersecurity and reliability perspectives in smart airports. **IEEE Access**, v. 8, p. 209802-209834, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036728>.

KOZMA, D.; VARGA, P.; LARRINAGA, F. Dynamic multilevel workflow management concept for industrial IoT systems. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 18, n. 3, p. 1354-1366, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASE.2020.3004313>.

KRAUS, K.; KRAUS, N.; MANZHURA, O. Digitalization of business processes of enterprises of the ecosystem of industry 4.0: virtual-real aspect of economic growth

reserves. **WSEAS Transactions on Business and Economics**, v. 18, p. 569-580, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.37394/23207.2021.18.57>.

KUO, C.; SHYU, J. Z.; DING, K. Industrial revitalization via Industry 4.0: a comparative policy analysis among China, Germany and the USA. **Global Transitions**, v. 1, n. 1, p. 3-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001>.

LAWTON, G. What is robotic process automation? **WhatIs.com/TechTarget**, Newton, MA, 2021. Disponível em: <https://www.techtarget.com/searchcio/definicao/RPA>. Acesso em: 26 jul. 2022.

MAZZOLA, L.; KAPAHNKE, P.; KLUSCH, M. Semantic composition of optimal process service plans in manufacturing with ODERU. **International Journal of Web Information Systems**, v. 14, n. 4, p. 495-523, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJWIS-05-2018-0038>.

MAZZOLA, L.; WAIBEL, P.; KAPHANKE, P.; KLUSCH, M. Smart process optimization and adaptive execution with semantic services in cloud manufacturing. **Information**, v. 9, n. 11, p. 279, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/info9110279>.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 2, p. 335-342, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>.

NEUBAUER, M.; STARY, C.; KANNENGIESSER, U.; HEININGER, R.; TOTTER, A.; BONALDI, D. S-BPM's industrial capabilities. In: NEUBAUER, M.; STARY, C. (ed.). **S-BPM in the production industry: a stakeholder approach**. Cham: Springer, 2017. p. 27-67. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48466-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48466-2_3).

NG, K. K.; CHEN, C.; LEE, C. K.; JIAO, R. J.; YANG, Z. A systematic literature review on intelligent automation: aligning concepts from theory, practice, and future perspectives. **Advanced Engineering Informatics**, v. 47, p. 101246, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101246>.

ORACLE. **O que é um data warehouse?** [S.l.], 2022. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/database/what-is-a-data-warehouse>. Acesso em: 15 jul. 2022.

OSTROUKH, A. V.; PRONIN, T. B.; VOLOSOVA, A. V.; VOLKOV, A. O.; PTITSYN, D. A. Hyperautomation in the auto industry. **Russian Engineering Research**, v. 41, n. 6, p. 532-535, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X21060162>.

PRINZ, F.; SCHOEFFLER, M.; LECHLER, A.; VERL, A. A novel I4.0-enabled engineering method and its evaluation. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, n. 5-8, p. 2245-2263, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03382-1>.

RÜSSMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; ENGEL, P.; HARNISCH, M.; JUSTUS, J. Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing. **Boston Consulting Group**, 9 apr. 2015. Disponível em: [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries). Acesso em: 15 jul. 2022.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018. Disponível em: <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesarrollo/article/view/e316>. Acesso em: 15 jul. 2022.

SCHÖNIG, S.; ACKERMANN, L.; JABLONSKI, S.; ERMER, A. IoT meets BPM: a bidirectional communication architecture for IoT-aware process execution. **Software and Systems Modeling**, v. 19, p. 1443-1459, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10270-020-00785-7>.

SEHLIN, D.; TRUEDSSON, M.; CRONEMYR, P. A conceptual cooperative model designed for processes, digitalisation and innovation. **International Journal of Quality and Service Sciences**, v. 11, n. 4, p. 504-522, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJQSS-02-2019-0028>.

SOUSA, M. R.; RIBEIRO, A. L. P. Revisão sistemática e meta-análise de estudos de diagnóstico e prognóstico: um tutorial. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 92, n. 3 p. 241-251, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2009000300013>.

SULLIVAN, B. P.; DESAI, S.; SOLE, J.; ROSSI, M.; RAMUNDO, L.; TERZI, S. Maritime 4.0 – opportunities in digitalization and advanced manufacturing for vessel development. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p. 246-253, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.078>.

TUPA, J.; STEINER, F. Industry 4.0 and business process management. **Tehnički Glasnik**, v. 13, n. 4, p. 349-355, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31803/tg-20181008155243>.

TURRA, M. E. D.; JULIANI, L. I.; SALLA, N. M. C. G. Gestão de processos de negócio – BPM: um estudo bibliométrico sobre a produção científica nacional. **Revista Administração em Diálogo - RAD**, v. 20, n. 3, p. 46-68, 2018. DOI: <https://doi.org/10.23925/2178-0080.2017v20i3.36961>.

VAN GEEST, M.; TEKINERDOGAN, B.; CATAL, C. Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 124, 103343, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103343>.

VIEIRA, A. A.; DIAS, L. M.; SANTOS, M. Y.; PEREIRA, G. A.; OLIVEIRA, J. A. On the use of simulation as a Big Data semantic validator for supply chain management. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 98, 101985, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.101985>.

VIRIYASITAVAT, W.; XU, L. D.; BI, Z.; SAPSOMBOON, A. Blockchain-based business process management (BPM) framework for service composition in industry 4.0. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 7, p. 1737-1748, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1422-y>.

WENDE, J.; KIRADJIEV, P. An implementation of batch size 1 using the principles of Industrie 4.0. **Elektrotechnik und Informationstechnik**, v. 131, n. 7, p. 202-206, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00502-014-0222-0>.

WIESBÖCK, F.; HESS, T. Digital innovations: embedding in organizations. **Electronic Markets**, v. 30, n. 1, p. 75-86, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12525-019-00364-9>.

ZHONG, R. Y.; XU, X. W.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. T. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.

ZOR, S.; SCHUMM, D.; LEYMANN, F. A Proposal of BPMN extensions for the manufacturing domain. *In*: CIRP INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANUFACTURING SYSTEMS, 44., 2011, Madison. **Proceedings** [...]. Madison: MSE, 2011. Disponível em: <https://www.iaas.uni-stuttgart.de/publications/INPROC-2011-18-A-Proposal-for-BPMN-Extensions-for-the-Manufacturing-Domain.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.