

Mapeamento da produção científica da Indústria 4.0 no contexto dos BRICS: reflexões e interfaces

SUELI MENELAU¹
FRANCISCO GUILHERME LIMA MACEDO²
PATRÍCIA LACERDA DE CARVALHO³
THIAGO GOMES NASCIMENTO⁴
ANTÔNIO DEUSANY DE CARVALHO JÚNIOR⁵

¹ UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE) / NÚCLEO DE GESTÃO, CARUARU – PE, BRASIL

² UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB) / PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO (PPGA), BRASÍLIA – DF, BRASIL

³ UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (UFPB) / PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, JOÃO PESSOA – PB, BRASIL

⁴ CENTRO UNIVERSITÁRIO IESB / MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ESTRATÉGICA DE ORGANIZAÇÕES (MPGEO), BRASÍLIA – DF, BRASIL

⁵ UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP) / INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA, SÃO PAULO – SP, BRASIL

Resumo

Este artigo analisa o perfil atual da produção científica sobre a Indústria 4.0 do grupo de países emergentes formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS), constante nos periódicos de impacto. A Indústria 4.0 incorpora nove inovações tecnológicas que se relacionam, direta e indiretamente, com a evolução da Ciência e Tecnologia (C&T) nos BRICS, constatada pelo crescente aporte financeiro, pela participação de C&T no Produto Interno Bruto (PIB) e pela quantidade de pesquisadores e de publicações em cada país integrante. Esta pesquisa, descritiva e exploratória, foi construída por meio de bibliometria. A população foi constituída por textos das bases de dados SCOPUS e Web of Science e a amostra final foi composta por 51 artigos interdisciplinares. A análise considerou indicadores de caracterização da produção científica, de coocorrência de produtividade científica e de característica metodológica dos estudos. Conclui-se que a publicação de artigos apresenta predomínio chinês e a pesquisa indicou o incremento de estudos acerca da Indústria 4.0 em C&T nos BRICS, havendo, ainda, a necessidade de fortalecimento efetivo da cooperação desses países nos aspectos vinculados ao tema, consoante a previsão de acordos e planos de trabalho já estabelecidos em anos recentes. Ademais, a fotografia da produção mostra um campo vasto a ser explorado, com a necessidade de cooperação e desenvolvimento efetivo de objetivos comuns voltados à C&T nos BRICS.

Palavras-chave: Quarta Revolução Industrial. Economia emergente. Mercados emergentes. Inovação tecnológica. Bibliometria.

Mapping of the scientific production of industry 4.0 in the BRICS: reflections and interfaces

Abstract

This article aims to analyze the recent scientific production about 4.0 Industry from BRICS countries (Brazil, Russia, India, China, and South Africa), published in leading academics journals. The 4.0 Industry incorporates nine technological innovations, which are related, directly and indirectly, to the evolution of Science and Technology (S&T) in BRICS, diagnosed by the evolution of the financial support, the participation in S&T in the Gross Domestic Product (GDP), and the number of researchers and publications, in each member country. The descriptive and exploratory research was built using bibliometrics. The population was made up of texts of the databases Scopus and Web of Science, and the final sample was composed of 51 interdisciplinary articles. The analysis considered indicators of characterization of scientific production, to a certain degree co-occurrence of scientific productivity and scientific collaboration of methodological features of the study. It is concluded that Chinese articles are predominant, and the research indicated the increase of studies about Industry 4.0 in S&T in BRICS. There is still a need to effectively strengthen the cooperation of these countries in the aspects related to the subject, according to agreements already established in recent years. In addition, the academic production shows a vast field to be explored, with the need for cooperation and effective development of common S&T objectives in BRICS.

Keywords: Fourth Industrial Revolution. Emerging Economy. Emerging Markets. Technological Innovation. Bibliometrics.

Mapeo de la producción científica de la industria 4.0 en el contexto de los BRICS: reflexiones e interfaces

Resumen

El objetivo de este artículo es analizar el perfil actual de la producción científica sobre la industria 4.0 de los países Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica, constante en los periódicos de impacto. La industria 4.0 incorpora nueve innovaciones tecnológicas, que se relacionan directa e indirectamente con la evolución de la ciencia y la tecnología (C&T) en los BRICS, constatada por el creciente aporte financiero, en la participación de C&T en el Producto Interno Bruto (PIB), y en la cantidad de investigadores y de publicaciones en cada país integrante. La investigación, descriptiva y exploratoria, se construyó a través de una bibliometría. La población se compuso con textos de las bases de datos Scopus y Web of Science, y la muestra final, con 51 artículos interdisciplinarios. El análisis consideró indicadores de caracterización de la producción científica, de coexistencia de productividad científica y de característica metodológica de los estudios. Se concluye que la publicación de artículos presenta un predominio chino, y la investigación indicó el incremento de estudios acerca de la industria 4.0 en C&T en los BRICS, y aún la necesidad de un fortalecimiento efectivo de la cooperación de estos países en los aspectos vinculados al tema, según la previsión de los acuerdos y planes de trabajo ya establecidos en años recientes. Además, la fotografía de la producción realizada muestra un campo vasto a explorar, con la necesidad de cooperación y desarrollo efectivo de objetivos comunes enfocados en C&T en los BRICS.

Palabras clave: Cuarta Revolución Industrial. Economía emergente. Mercados emergentes. Innovación tecnológica. Bibliometría.

Artigo submetido em 21 de maio de 2018 e aceito para publicação em 26 de setembro de 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395174878>

INTRODUÇÃO

Contemporaneamente, pressupostos fáticos da integração crescente e articulada da comunicação, da tecnologia e dos processos produtivos em inovações que abarcam sistemas ciberfísicos, combinados a redes e a plataformas digitais com abrangência global, são o aperfeiçoamento da produção personalizada em massa, a redefinição de cadeias de valor e os retornos crescentes em escala (TADEU e SANTOS, 2016). Esse conjunto de fenômenos, ainda incipiente, advindo da absorção de tecnologias inovativas, radicais quando comparadas ao incrementalismo de inovações imediatamente anteriores, e da amplitude de sua ocorrência em campos científicos diferenciados, é conhecido como Indústria 4.0 (RÜSSMANN, LORENZ, GERBERT et al., 2015; TADEU e SANTOS, 2016).

A atuação das políticas industriais e decisões comerciais a serem tomadas, voltadas às Inovações Tecnológicas (ITs) da Indústria 4.0, são fatores críticos de sucesso e devem focar 8 áreas prioritárias: a) padronização, e padrões abertos, para uma arquitetura operacional de referência de fábricas; b) gerenciamento dos sistemas complexos; c) fornecimento de uma infraestrutura de banda larga abrangente para o setor; d) segurança cibernética e de Tecnologias de Informação (TIs); e) nova organização e desenho do trabalho voltados à era industrial digital; f) formação e desenvolvimento profissional contínuo; g) regulamentação e normatização; e h) eficiência de recursos (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBI, 2013).

Observa-se que, na Europa, nos Estados Unidos da América (EUA) e na Ásia, a corrida para adotar as inovações tecnológicas da Indústria 4.0 já está em andamento entre empresas (RÜSSMANN, LORENZ, GERBERT et al., 2015). Entretanto, para as organizações dos países dos demais continentes, a adoção dessas inovações pode representar desafios singulares. Mais do que nunca, devido à intensificação dos efeitos de dispersão e de integração da globalização, o progresso econômico e social de países de economia emergente está atrelado à competência das organizações para integrar os processos de IT com novos paradigmas gerenciais (COSTIN e WOOD-JÚNIOR, 1994; GOMES e STRACHMAN, 2005; KON, 2015).

Países de economia emergente, como o Brasil, são definidos por “níveis relativamente altos de potencial econômico e envolvimento internacional, mais amplo do que o tradicional” (THE WORLD BANK, 2011, p. xvii). A opinião generalizada, e simplificada, é que o grupo de países emergentes formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS) é constituído por nações de uma mesma categoria de análise por desempenharem influência crescente na interdependência dos países do mundo nas esferas financeira, produtiva, comercial e tecnológica, assumindo papel proeminente na evolução da economia mundial (THE WORLD BANK, 2011; LUÍS, 2016).

Duas outras características comuns aos BRICS são: a) suas estruturas econômicas, políticas e sociais são dependentes de *know-how* técnico-científico existente em economias de mercado (como avanços tecnológicos); e b) seus problemas são ocasionados pela exiguidade de estruturas autossustentáveis (GUERRA e FANTINELLI, 2001). Para alguns autores (ABRAMOVITZ, 1986; PITASSI, 2014; SARTI e HIRATUKA, 2017), o crescimento dos países tecnologicamente atrasados está bem além do que apenas superar o hiato tecnológico.

Logo, políticas industriais de *catch-up* de IT (GOMES e STRACHMAN, 2005; IPIRANGA, QUEIROZ, FROTA et al., 2012; COSTA, MENEZES e FRANZONI, 2016), acumulação de capacidades para inovação (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBI, 2013) e apropriação de valor (BRETTEL, FRIEDERICHSEN, KELLER et al., 2014; ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016) são, entre outras, promotoras de reestruturação da infraestrutura tecnológica, de incremento (ou declínio) da *performance* econômica e social e, também, do crescimento de mercado e do aumento da rentabilidade de suas organizações.

Diante desse cenário, compreender o impacto que a Indústria 4.0 vem condicionando aos BRICS se apresenta como um argumento relevante. Sabe-se que o ponto de partida para evidenciar a superação de limites que se impõem à predisposição de crescimento de um país é analisar suas *proxies* de capacidades tecnológicas (patentes) e suas *proxies* de capacidades científicas (artigos acadêmicos), embora se admita que ambas sejam medidas limitadas (BERNARDES, RUIZ, RIBEIRO et al., 2006). Ainda assim, a lógica da produção científica de determinado campo, ou tema, é um importante retrato da interação das políticas públicas de um país com os diversos atores que compõem a tessitura social (SILVA, HAYASHI e HAYASHI, 2011; MARICATO e NORONHA, 2012) e ajudam a desvelar o que comunidades científicas têm elaborado e executado em suas pesquisas (HOFFMAN e HOLBROOK, 1993).

A primeira menção do termo Indústria 4.0 foi feita em 2011, pelo governo alemão (ver KAGERMANN, WAHLSTER e HELBI, 2013), cuja versão original, em alemão, remonta ao ano de 2011), como proposta político-estratégica para a Pesquisa e

Desenvolvimento (P&D) do país (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016; QIN, LIU e GROSVENOR, 2016; ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016). E, embora o fenômeno esteja em progresso e não esteja sendo analisado *ex post facto* (DRATH e HORCH, 2014), em pesquisa realizada nas bases de dados SCOPUS e Web of Science, verificou-se, assim como Hermann, Pentek e Otto (2016), que a produção se mostra crescente em estudos que o analisam teoricamente, mas não aplicados à realidade dos BRICS.

Nesse sentido, foram localizados poucos textos que desenvolveram um quadro teórico elucidativo sobre a Indústria 4.0, contextualizados com a realidade dos BRICS, apesar de Satyro, Sacomano, Silva et al. (2017) terem incluído o Brasil, e Liao, Loures, Deschamps et al. (2017) terem abarcado China e Índia. Ademais, a necessidade de estudar a Indústria 4.0 em diferentes países em contextos geopolíticos semelhantes já foi apontada por Roblek, Mesko e Krapez (2016). Com essa lacuna em vista, o escopo desta pesquisa visou incrementar o conhecimento sobre o campo Indústria 4.0 em economias emergentes, a partir da análise de sua base teórica.

Este artigo analisa o perfil atual da produção científica sobre a Indústria 4.0 dos BRICS constante nos periódicos de impacto, a fim de contribuir com a construção de indicadores da temática. A partir disso, o texto se organiza, além desta introdução, em cinco partes. Na sequência são abordadas algumas notas teóricas sobre a Indústria 4.0 e o tangenciamento da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) nos BRICS. A terceira seção descreve o procedimento metodológico utilizado na pesquisa. A quarta seção organiza, analisa e discute os principais resultados alcançados, com base nos indicadores descritivos e avaliativos que foram empregados como lente de análise. E a última seção traz a conclusão, apontando, ainda, limitações e perspectivas para estudos futuros.

Notas sobre a Indústria 4.0

As Revoluções Industriais (RIs) vêm definindo períodos de transição da vida humana tanto quanto a domesticação de animais e plantas a marcou (HUBERMAN, 2008; KON, 2015). A primeira RI (posicionada temporalmente entre 1760 e 1840), marcada pela invenção da máquina a vapor, propiciou a produção mecânica; a segunda teve início no final do século XIX, abalou o advento da eletricidade e viabilizou a produção em massa por meio, particularmente, das linhas de montagem (SCHWAB, 2016; SCHWAB e DAVIS, 2018). O ciclo digital, ou do computador (terceira RI), apresenta como marco inicial a década de 1960 e foi propulsado a partir do desenvolvimento dos semicondutores, da computação pessoal e da internet (SCHWAB e DAVIS, 2018).

A Indústria 4.0 surge subsequente à terceira RI – as máquinas ainda necessitavam de profissionais específicos para notificarem e corrigirem seus erros e até para serem ligadas – e é também chamada de quarta RI (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBI, 2013; DRATH e HORCH, 2014; SCHWAB, 2016). O elemento diferenciador principal entre essas duas últimas revoluções se baseia menos nas ferramentas digitais disponíveis (visto que em ambas é possível visualizá-las, ainda que em estágios evolutivos significativamente distintos) e mais, de maneira central, nas diferentes interações entre as categorias tecnológicas abarcadas pela Indústria 4.0 (SCHWAB e DAVIS, 2018).

Mantêm, de certa forma, o mesmo padrão das transições e dos eventos anteriores (CASTELLS, 2002; HUBERMAN, 2008), embora a lógica de empurrar a produção venha paulatinamente sendo substituída pela necessidade de puxar a produção (KON, 2015), acoplada à demanda de mensuração mais elaborada de entradas e saídas para estabelecer os padrões dessa produção (SCHWAB, 2016). Observa-se, desde então, a ampliação da relevância da inovação como geradora de instrumentos que impulsionam a competitividade de organizações, no caso das privadas, e/ou que promovem o sucesso na obtenção de valor na prestação de serviço, no caso do setor público. Tudo isso coloca a Indústria 4.0 como determinante de uma quarta RI, que vem para acelerar mais ainda o processo que vai desde a obra-prima ao consumidor, afetando todos os setores do âmbito industrial.

Diz-se da Indústria 4.0 que os donos de operações fabris e comerciais querem apenas trabalhadores para programar as máquinas que, por sua vez, dominarão o processo produtivo e os funcionários serão dispensados posteriormente, deixando apenas o patrão usufruindo do que as máquinas e seus sistemas possam lhe entregar (DRATH e HORCH, 2014). Entretanto, essa questão vai além de mera diversificação ou especialização da divisão do trabalho incorporado ao processo produtivo. O que se tem observado é que os efeitos da criação de valor agregado aos produtos, advindo das inovações, impactam negativa e positivamente a demanda por ocupações, gerando novos perfis profissionais (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016) e requerendo da força de trabalho a migração para novos setores e novas atividades que correspondam às necessidades atualizadas do mercado (KON, 2015).

A Indústria 4.0 incorpora 9 ITs apontadas como alicerces à transformação da produção industrial: a) robôs automatizados; b) simulação; c) integração horizontal e vertical de sistema; d) internet das coisas (*Internet of Things* – IoT) industrial; e) segurança cibernética; f) nuvem; g) manufatura aditiva; h) realidade aumentada; e i) *Big Data* e *Analytics* (RÜSSMANN, LORENZ, GERBERT et al., 2015). Essas inovações também podem ser sumarizadas e categorizadas como 3 megatendências: a) física (veículos autônomos, impressão em 3D, robótica avançada e novos materiais); b) digital (IoT, *blockchain* e plataformas digitais); e c) biológica (sequenciamento, ativação e edição genética, biologia sintética e bioimpressão tridimensional) (SCHWAB, 2016).

Decorrente da dinâmica advinda dessas inovações, novas modalidades de condução da organização (resultando em inovações organizacionais), reestruturação dos serviços e outras oportunidades emergiram (KON, 2015). A nanotecnologia barateou os *hardwares*, de modo que se tornou acessível adicionar sensores em todos os locais de uma organização e em todos os produtos (MIYAZAKI e ISLAM, 2007). As indústrias passaram a interconectar seus dispositivos por meio da IoT. A comunicação via *internet* (que comporta a interlocução não apenas entre pessoas [C2C], mas também entre pessoas e máquinas [C2M] e entre as próprias máquinas [M2M]) se transforma em uma tendência em ambientes profissionais e sociais, conhecida como gestão do conhecimento 4.0 (DOMINICI, ROBLEK; ABBATE et al., 2016).

A gestão do conhecimento 4.0, por sua vez, tem por pressupostos: a) grande interatividade suprida por bancos de dados salvos na nuvem (armazenamento e processamento de dados em computadores distribuídos pelo planeta sem uma localização certa, mas com capacidade de serem ligados à medida que mais máquinas sejam necessárias à finalização de uma tarefa, de modo transparente para seus usuários); e b) alimentados por máquinas e consumidores, conteúdos disponibilizados em tempo real e informações e colaboração em rede mediada por tecnologias (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016).

Assim, gradativamente permite que o paradigma de produção passe de centralizado e controlado para uma lógica de produção descentralizada e flexível (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016). Com esses avanços também vieram novos problemas e novas soluções, pois a simples conexão de um dispositivo à rede não é suficiente por si (PALATTELLA, DOHLER, GRIECO et al., 2016). Um deles, o excesso de dados a serem tratados, levou ao surgimento da computação em nuvem (JADEJA e MODI, 2012). A partir da análise dos dados em massa se torna possível reduzir sua quantidade por meio do aprendizado de máquina (que possibilita o reconhecimento de padrões, a fim de prever novos acontecimentos). Esse aumento na quantidade de dados analisados fez surgir a área de *Big Data* (definida por volume, variedade, velocidade, veracidade, valor, validade e verificação dos dados) (YIN e KAYNAK, 2015).

Nesse contexto, os principais canais de fluxo de conhecimento perpassam a interação entre universidade, empresa e Estado no desenvolvimento de inovações advindas de sua P&D que, por sua vez, deve estar orientada à proteção do investimento, à estabilidade, à privacidade de dados e à segurança cibernética (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBI, 2013; DRATH e HORCH, 2014). Para Stock e Selinger (2016), esse progresso só será sustentável se as oportunidades forem compreendidas em uma perspectiva que abarque a dinâmica macro (modelo de negócio e redes de criação de valor) e micro (equipamentos, recursos humanos, descentralização, processos e produtos) do gerenciamento da inovação, simultaneamente, pelos atores envolvidos.

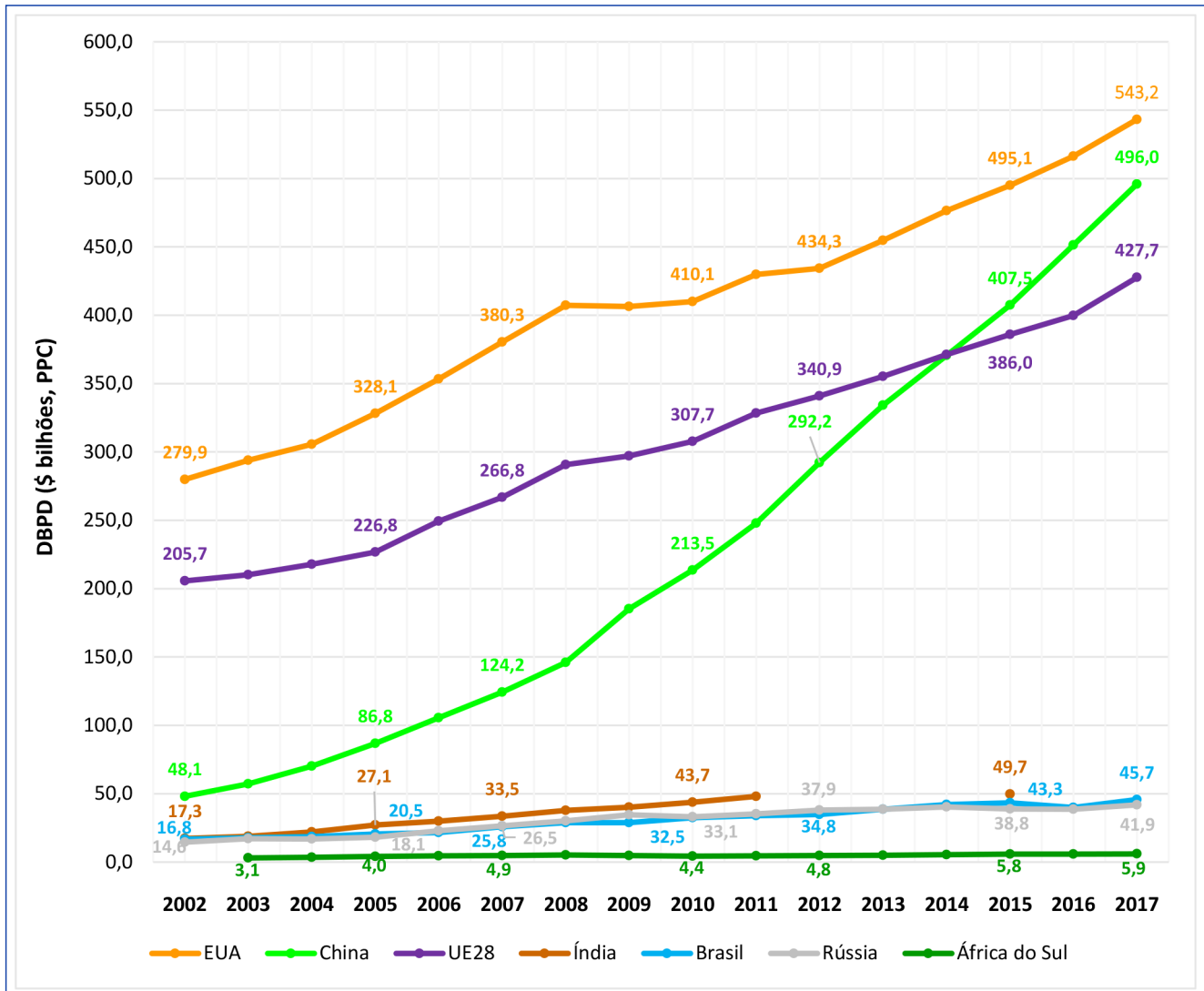
Notas sobre os BRICS

O grupo dos BRICS se tornou sinônimo de modificação no eixo de poder no século XXI, sendo tomado como indicador do aumento econômico de um conjunto de mercados emergentes, localizado fora do Ocidente e com abrangência relevante (MANSFIELD, 2014; KINGAH e QUILICONI, 2015; COOPER, 2016). Na atualidade, os BRICS lideram o desenvolvimento de CT&I entre os países em desenvolvimento, constituindo-se como uma força globalmente importante na temática (RÜSSMANN, LORENZ, GERBERT et al., 2015; DOMINICI, ROBLEK, ABBATE et al., 2016). Em 2017, em nível mundial, os BRICS compartilharam 17% em P&D, 28% das exportações de produtos de alta tecnologia e 27% entre periódicos e artigos de Ciência e Tecnologia (C&T) (ZHAO, WANG, XIAO et al., 2018).

Em 15 anos, de 2002 a 2017, verificou-se evolução da participação da Despesa Interna Bruta em P&D (DBPD), mensurada em bilhões de dólares americanos (\$) e com Paridade de Poder de Compra (PPC)¹, em estágios distintos de investimento em P&D nos BRICS. O Gráfico 1 demonstra essa evolução.

¹ Estabelece método alternativo ao câmbio para comparação de Produtos Internos Brutos (PIBs), considerando diferenças locais nos parâmetros.

Gráfico 1
DPBD (em \$ bilhões, PPC) – BRICS, EUA e UE28²



Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se no Gráfico 1, ainda, que em 2002 a China apresentava um montante de DBPD equiparável ao somatório de Índia, Brasil e Rússia (\$ 48,1 contra \$ 48,6 bilhões) e pouco menos de 25% dos investimentos da União Europeia com 28 Países (UE28). Já no ano de 2017, a China superou a DBPD da UE28 em 16%, ficando atrás apenas dos EUA, o que demonstra o alcance do estágio de superpotência científica (WONG e WANG, 2015; ZHAO, WANG, XIAO et al., 2018; OECD, 2019).

Para os demais países do bloco, tem-se: no Brasil, aumento de 272,9% entre 2002 e 2017, com R\$ 45,7 bilhões de DBPD em 2017 (tendência linear obtida pelo decênio anterior); na Rússia, aumento de 287,59% e \$ 41,9 bilhões em 2017 (entre 2002 e 2017); e na Índia, incremento de 287,42% (período de 2002 a 2015) e \$ 49,7 bilhões em 2015 (UNESCO, 2018a; OECD, 2019)³. Ressalta-se que o aumento percentual em DBPD dos 3 países é superior aos aumentos percentuais de EUA e UE28 (194,09% e 207,92%, respectivamente), indicando tendência ativa em C&T nos BRICS. A África do Sul, entretanto, mesmo

² O Bloco da União Europeia é formado por 28 países – Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, Chipre, República Tcheca, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Holanda, Polônia, Portugal, Romênia, República Eslovaca, Eslovênia, Espanha, Suécia e Reino Unido. Foi utilizado na comparação verificada o parâmetro mais completo, estabelecido pelos 28 países do bloco (UE28), ainda que em outros trabalhos seja comum o uso do patamar UE15, que se relaciona aos 15 países que primeiramente ingressaram no bloco.

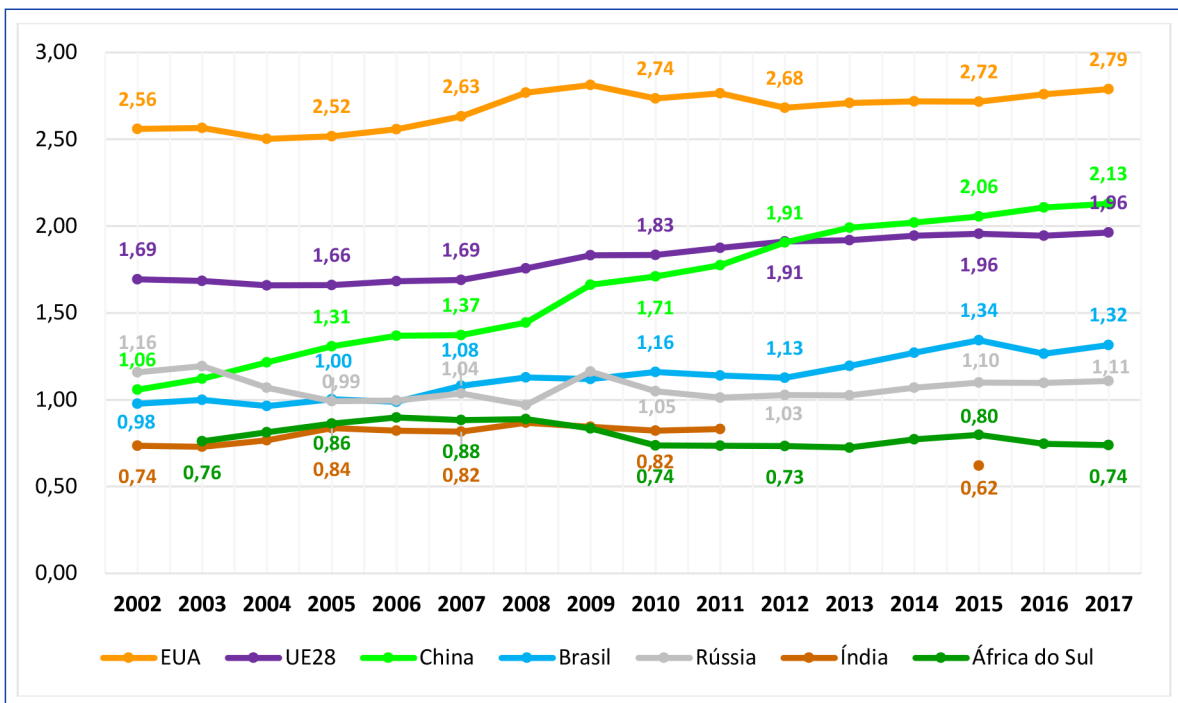
³ Último ano com os dados consolidados do país (UNESCO, 2018a).

apresentando evolução de DBPD no período de 2003 a 2015 (ampliação de 194,63%)⁴, despendeu apenas \$ 5,9 bilhões nessa despesa em 2015 (OECD, 2019).

Quando verificado o investimento em DBPD como porcentagem do PIB, os resultados do BRICS (Gráfico 2) são menos expressivos do que os do cenário anterior (Gráfico 1). A observação, novamente, não vale para a China, visto que além de encontrar-se à frente na relação DBPD em porcentagem do PIB, ela exibe outro dado relevante: em 2002, representava o segundo maior investimento percentual de DBPD nos BRICS (1,06% do PIB), inferior ao investimento da Rússia (1,16%), que liderava o quesito no bloco, mas em 2017 a China alcançou 2,13% de investimento no PIB (OECD, 2019).

O Brasil, como a China, exibiu crescimento da porcentagem de DBPD no PIB no período de 2002 a 2017 (0,98% para 1,32%, aumento de 0,34%), com amplitude de variação superior aos crescimentos americano (0,23%) e europeu (0,27%) no mesmo período. Entretanto, os demais BRICS involuíram (Rússia, de 2002 a 2017, passou de 1,16% para 1,11%; e na Índia houve retração de 0,74% para 0,62%, de 2002 a 2015⁵) ou estagnaram nesse quesito (África do Sul, entre 2003 a 2017, variou de 0,76% a 0,74%) (UNESCO, 2018a; OECD, 2019). O Gráfico 2 apresenta esse cenário.

Gráfico 2
DBPD (em % do PIB) – BRICS, EUA e UE28



Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma informação que se une ao entendimento desse contexto é a implicação direta entre o aporte de investimentos e a quantidade de pesquisadores em tempo integral nos países. Nesse sentido, a China é líder mundial, com mais de 1,74 milhão de pesquisadores em emprego com dedicação integral, em 2017, e o país sozinho detém quase 90% dos pesquisadores da UE28 (OECD, 2019). Para os demais países do bloco: a Rússia aparece na quarta posição (410,6 mil pesquisadores, em 2017); a Índia ocupa a oitava colocação (282,9 mil, em 2015); o Brasil se encontra na décima colocação (179,9 mil, em 2014); e a África do Sul destoa dos demais, com 26,1 mil pesquisadores (UNESCO, 2018b; OECD, 2019).

Assim, tanto o avanço nos investimentos em P&D, seja em função dos valores ou do impacto no PIB, como as repercussões desse emprego orçamentário, entre as quais se destacou o aporte de pesquisadores em cada país, influenciam o avanço da

⁴ As informações de 2003, 2016 e 2017 da África do Sul não estão disponíveis (OECD, 2019).

⁵ Os dados da Índia alcançam apenas 2015 (UNESCO, 2018a) e os da África do Sul iniciam a série histórica em 2003 (OECD, 2019).

participação mundial dos BRICS em quantidade de pesquisas (29% das publicações indexadas pela SCOPUS em 2015) em posições destacadas, considerando as indexações na referida base entre os alunos de 2011 e 2015 na quantidade mundial de pesquisas: China (2º), Índia (5º), Brasil (13º), Rússia (14º) e África do Sul (34º) (FINARDI e BURATTI, 2016; SODOLOV, SHASHNOV, KOTSEMIK et al., 2018).

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A abordagem da pesquisa é quantitativa, o corte é transversal e a finalidade é descritiva e exploratória do campo Indústria 4.0 nos BRICS (SANTOS e KOBASHI, 2009; SILVERMAN, 2009). A base teórico-metodológica adotada consistiu em um estudo métrico voltado à documentação, avaliação e orientação da produção científica do campo (MARICATO e NORONHA, 2012; ROEMER e BORCHARDT, 2015). A abordagem se inclinou aos aspectos quantificáveis que fundamentam o desenvolvimento da literatura da temática e que podem ser segmentados em categorias; sopesou-se que todos os níveis de complexidade são requeridos para entender o progresso e a multiplicidade de uma disciplina (HOFFMAN e HOLBROOK, 1993). O artigo foi alicerçado em uma análise bibliométrica, descritiva e avaliativa e as etapas seguidas foram: a) definição do objetivo da análise; b) identificação, localização e acesso às fontes de informação; c) estabelecimento de estratégias de busca de informação para a coleta de dados; d) designação de relacionamentos entre os dados obtidos; e e) elaboração de categorias de análise e construção de indicadores descritivos e avaliativos (SILVA, HAYASHI e HAYASHI, 2011).

Realizou-se a coleta dos dados em maio de 2018. Buscando abarcar a maior quantidade possível de artigos, não se estabeleceu limite temporal e se determinou como população-alvo os textos nas bases de dados SCOPUS e Web of Science. Essas bases foram selecionadas por serem complementares, multidisciplinares e apontadas como as mais completas em termos da quantidade e qualidade da publicação científica abarcada (MONGEON e PAUL-HUS, 2016). Na ferramenta de busca dos portais foram acessados os campos *resumo*, *palavras-chave* e *título* e empregaram-se como critérios na seleção dos artigos 2 conjuntos de descritores (procurados em inglês): a) “industry 4.0”; e b) “fourth industrial revolution” e “4th industrial revolution” (por extenso e numericamente), combinados com o conjunto de expressões (com uso da conjunção “e”): i) “emerging countries”; ii) “emerging economies”; iii) “emerging nations”; iv) “emerging markets”; v) “BRICS”; vi) “Brazil”; vii) “Russia”; viii) “India”; ix) “China”; e x) “South Africa”. Os termos selecionados foram escritos em língua inglesa, tendo em vista que a grande maioria dos periódicos exige palavras-chave e resumo em inglês.

Apenas artigos teóricos e empíricos compuseram o universo de pesquisa. Inicialmente, recuperaram-se 89 textos; após a leitura dos resumos, excluíram-se da análise 34 duplicidades e 4 artigos com acesso restrito. Em seguida, após a leitura do artigo completo, descartaram-se 6 que ou apresentaram falta de aderência ao tema ou ao objeto e 15 escritos em outro idioma que não o inglês, português, francês ou espanhol (8 em russo e 7 em chinês). A amostra analisada, não probabilística e intencional, devido à intervenção dos autores por meio dos critérios adotados, resultou em 30 artigos escrutinados de acordo com 8 indicadores agrupados em 2 categorias principais:

1. Descritiva, elaborada com base em Maricato e Noronha (2012): a) de caracterização da produção científica – título e autoria do texto, ano de publicação do artigo, distribuição de artigos por periódico, temática(s) do periódico; b) de coocorrência – palavras-chave; c) de produtividade científica – afiliação dos autores, quantidade de artigos publicados (por instituição e país); d) de colaboração científica – coautoria; e e) de característica metodológica do estudo – tipologia da pesquisa;
2. Avaliativa: f) conceito de Indústria 4.0 empregado (conceito definido e sua autoria); g) subcategorias conceituais formadas (relações entre as ITs); e h) interfaces com os fenômenos estratégias de *catch-up*, acumulação de capacidades para inovação e apropriação de oportunidades de mercado.

A análise, para todos os textos, contemplou a leitura do documento completo, e empregou estatística descritiva e de conteúdo. Esta última abarcou os passos descritos anteriormente e adicionou os seguintes: a) revisão da estrutura de categorização; b) teste da confiabilidade das categorias; c) criação de um arquivo analítico em planilha de *Microsoft Excel* para análise preliminar (SILVERMAN, 2009).

RESULTADOS E ANÁLISES

Categoria descritiva

A amostra revisada foi composta por 30 artigos (cerca de 34% da captura inicial), cujos títulos e autores são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1
Textos analisados (ano de publicação, título e autoria)

PUBLICADO EM 2015	
Analysis of implementation of an automated process in a footwear company: a case study by the optic of the Hyundai production system and Industry 4.0.	Schröder, Nunes, Viero et al.
PUBLICADOS EM 2016	
A review of technology standards and patent portfolios for enabling cyber-physical systems in advanced manufacturing.	Trappey, Trappey, Govindarajan et al.
Atomic and close-to-atomic scale manufacturing – a trend in manufacturing development.	Fang
From cyber-physical systems to Industry 4.0: make future manufacturing become possible.	Zhou, Liu e Liang
Large-scale online multitask learning and decision making for flexible manufacturing.	Wang, Sun, Zhang et al.
Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context.	Sackey e Bester
PUBLICADOS EM 2017	
A conceptual framework for ‘Industry 3.5’ to empower intelligent manufacturing and case studies	Chien, Hong e Guo
A cross-strait comparison of innovation policy under Industry 4.0 and sustainability development transition	Lin, Shyu e Ding
A digital twin-based approach for designing and multi-objective optimization of hollow glass production line	Zhang, Liu, Chen et al.
A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: a key enabler for Industry 4.0	Trappey, Trappey, Govindarajan et al.
Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts	Durão, Christ, Zancul et al.
An empirical study for smart production for TFT-LCD to empower Industry 3.5	Chien, Hong e Guo
Digital twin shop-floor: a new shop-floor paradigm towards smart manufacturing	Tao e Zhang
Globalization and digitalization as challenges for a professional career in manufacturing industries-differences in awareness and knowledge of students from Brazil and Germany	Oliveira e Sommer
Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies	Tortorella e Fettermann
Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa	Sackey, Bester e Adams
Integrated and intelligent manufacturing: perspectives and enablers	Chen
Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review	Zhong, Xu, Klotz et al.
New IT driven service-oriented smart manufacturing: framework and characteristics	Tao e Qi
O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com a Alemanha, China e Estados Unidos	Arbix, Salerno, Zancul et al.
Research on design of the smart factory for forging enterprise in the Industry 4.0 environment	Pei, Tong, He et al.
SDMSim: a manufacturing service supply-demand matching simulator under cloud environment	Tao, Cheng, Cheng et al.
The fourth industrial revolution, agricultural and rural innovation, and implications for public policy and investments: a case of India	Lele e Goswami
The future African workplace: the use of collaborative robots in manufacturing	Calitz, Poisat e Cullen
The main economic factors of sustainable manufacturing within the industrial policy concept of Industry 4.0	Frolov, Kaminchenko, Kovylnkin et al.

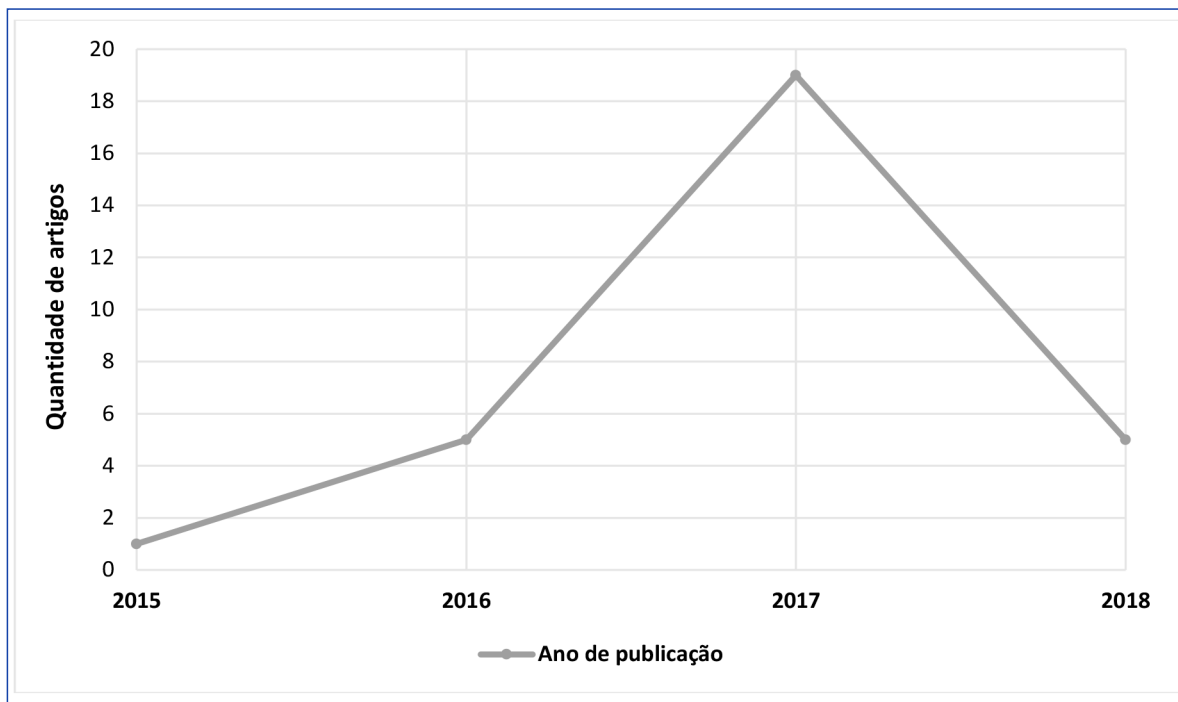
Continuação

PUBLICADOS EM 2018	
A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes	Chong, Ramakrishna e Singh
China's manufacturing locus in 2025: with a comparison of 'made-in-China 2025' and 'Industry 4.0'	Li
Current problems in China's manufacturing and countermeasures for Industry 4.0	Feng, Zhang e Zhou
Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry	Lin, Lee, Lau et al.
Whether medical schools in Russia are ready to develop successfully in the twenty-first century	Kiassov, Gumerova, Abdulkhakov et al.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os artigos do Quadro 1 foram publicados em um horizonte temporal de 4 anos, incluindo o ano de 2018 até a data coletada. Um texto foi publicado em 2015, 5 artigos em 2016, 19 textos publicados em 2017 (aumento de 380% em relação às publicações de 2016) e, até o momento da coleta, 5 artigos foram publicados em 2018 (Gráfico 3).

Gráfico 3
Quantidade de artigos publicados por ano relacionados à Indústria 4.0 e os BRICS encontradas na SCOPUS e na Web of Science

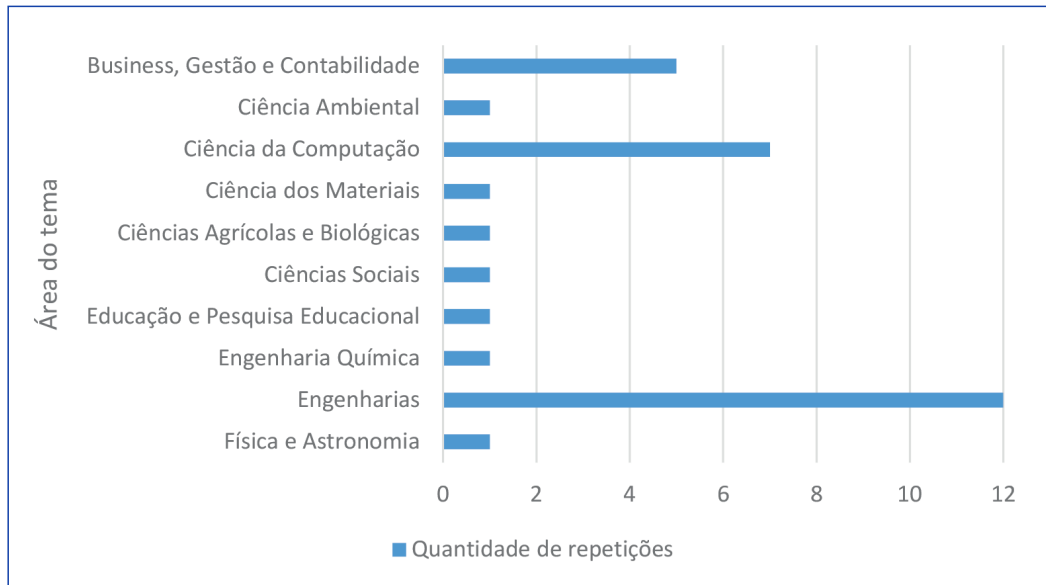


Fonte: Elaborado pelos autores.

Apesar do horizonte temporal da pesquisa não ter sido restringido, a data inicial dos textos recuperados demonstra um *delay* de 2 anos em relação ao texto de Kagermann, Wahlster e Helbi (2013). Esse resultado também confere um caráter de franca expansão à produção científica sobre o tema, como observado por Satyro, Sacomano, Silva et al. (2017).

Ainda sobre a caracterização da produção científica, verificou-se que os textos se distribuem por 26 revistas científicas; destas, apenas 3 têm mais de 1 artigo publicado: a *IEEE Access* publicou 3 e as revistas *Engineering* e *South African Journal of Industrial Engineering* publicaram 2 cada. Constatou-se que a grande maioria dos periódicos analisados (76,67%) não se destaca nesse quesito. Quanto às áreas temáticas dos periódicos, 3 emergiram: a com maior quantidade de artigos publicados foi a Engenharia, seguida por Ciência da Computação, e em terceiro lugar Administração, Ciências Contábeis e Economia (Gráfico 4). Tendo em vista que a Indústria 4.0 envolve muitos setores das 2 primeiras áreas citadas, esse resultado corrobora o que era esperado para a quarta RI.

Gráfico 4
Área do periódico onde foram encontrados os artigos selecionados



Fonte: Elaborado pelos autores.

As áreas temáticas dos periódicos que têm dado visibilidade à Indústria 4.0 refletem aquilo apontado por Roblek, Mesko e Krapez (2016) sobre o progresso voltado ao incremento da produtividade de operações fabris. Para os autores, as ITs da Indústria 4.0 se sobressaem em 3 aspectos: a) digitalização da produção; b) automação; e c) intercâmbio automático de dados na cadeia de suprimentos (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016), que estão em consonância com os fatores críticos de sucessos apontados por Kagermann, Wahlster e Helbi (2013). O contato direto do cliente com o gerenciamento dessas tecnologias inteligentes consente maior envolvimento com a Indústria 4.0 e com seu valor percebido (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016).

Quanto à ocorrência de termos, o indicador *palavras-chave* foi o escolhido. Foram encontradas 164 palavras-chave diferentes, dentre as quais “Industry 4.0” se destaca, com 18 repetições. O Quadro 2 apresenta as demais que ocorreram mais de uma vez.

Quadro 2
Palavras-chave com maior ocorrência definidas nos artigos selecionados

Palavras-chave	Quantidade de repetições
Internet of Things (IoT)	7
Cyber physical systems (CPS)	6
Integrated manufacturing	5
Additive manufacturing	4
Big Data; Cloud computing; Cloud manufacturing; Digital twin; Emerging economy; Individualized designing; Industry 3.5; Learning factory; Manufacturing intelligence; Manufacturing service; Mass individualization; Multi-view synchronization; Patent analysis; Semi-physical simulation; Smart factory; South Africa.	2

Fonte: Elaborado pelos autores.

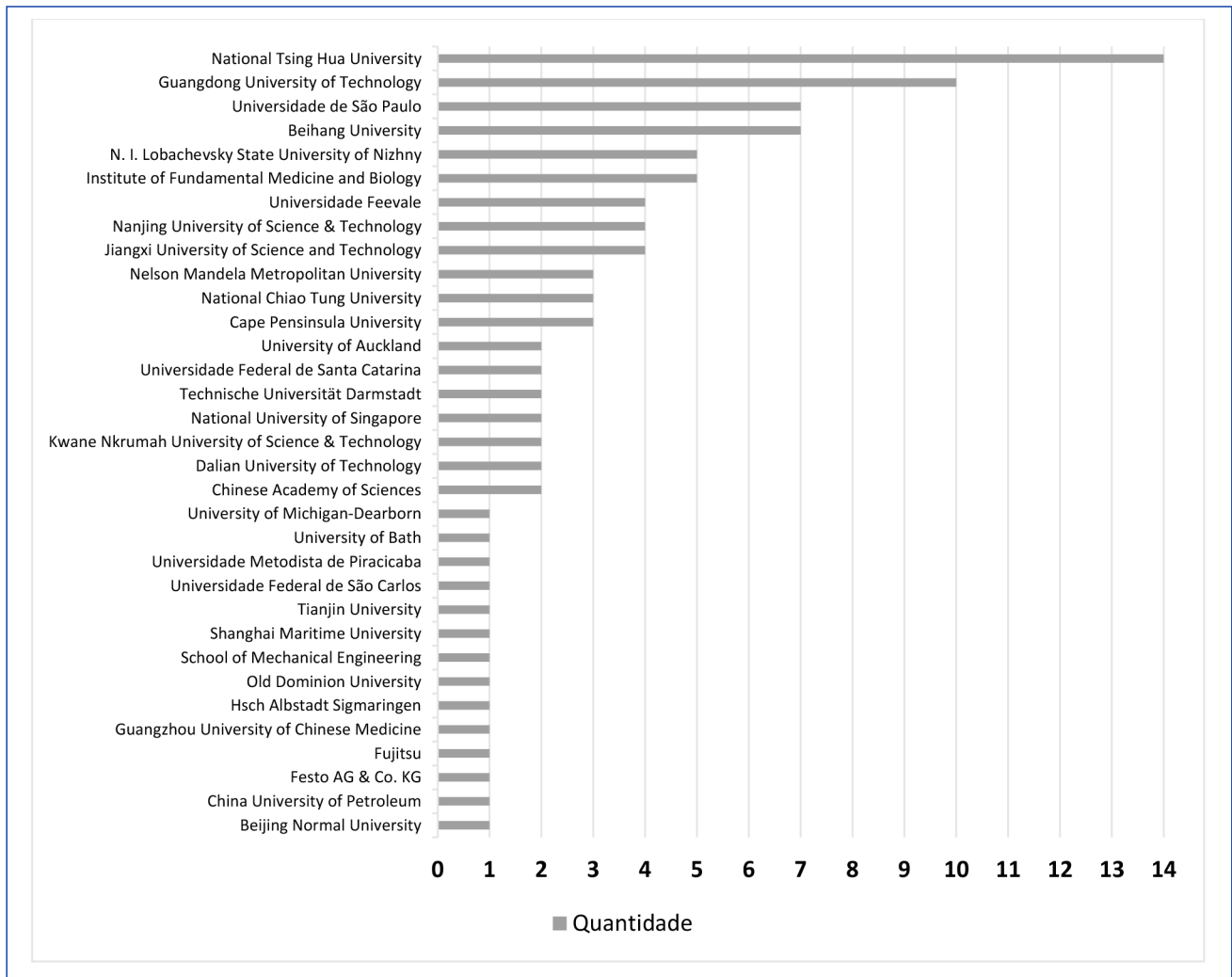
Ainda no Quadro 2, observa-se que as palavras-chave que estiveram em evidência representam um conjunto de inovações marcado pelo avanço das tecnologias e pela adoção do computador como máquina principal. Segundo Brettel, Friederichsen, Keller et al. (2014) e Hermann, Pentek e Otto (2016), essas palavras-chave remetem ao trabalho intelectual, à concepção de

programas que vêm sendo o foco das ITs da Indústria 4.0, com a finalidade de automatizar o máximo o setor industrial, além da miniaturização das tecnologias e da interconexão entre tudo (e todos).

Também se destaca que 74% das palavras-chaves não se repetem (Quadro 2), visto que os artigos abordam contextos e áreas de pesquisa com especialidades diversas, como, por exemplo, simulação, mudança climática e manufatura atômica. Esse resultado se justifica pelo fato desses termos com ocorrência bem distinta entre si se relacionarem a setores, regiões analisadas e tecnologia específica utilizada, evidenciando a multiplicidade com que a Indústria 4.0 se encontra presente nos BRICS.

Ao todo, há 83 autores distribuídos nos 30 artigos analisados. Sobre a produtividade científica, a afiliação dos autores remete a 33 instituições (excluíram-se 2 que declaram ser pesquisadores independentes e 1 autoria é institucional [Ministry of Industry and Information Technology]), relacionadas no Gráfico 5, junto com a quantidade de autores que a elas estão vinculados.

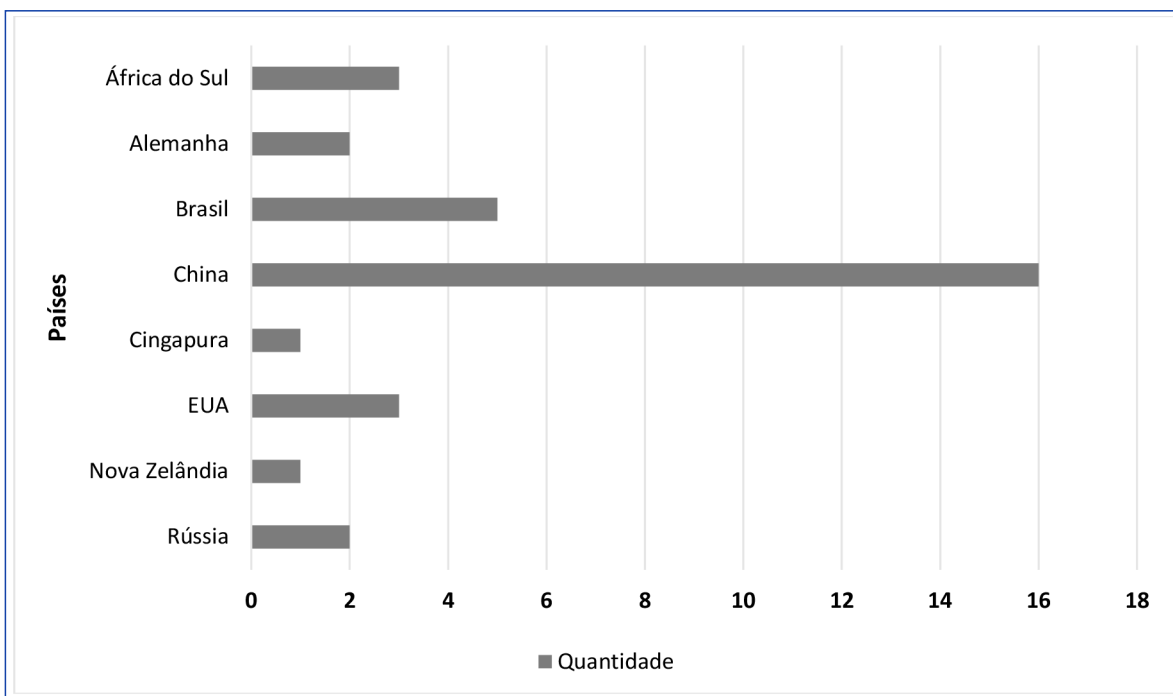
Gráfico 5
Afiliação institucional dos pesquisadores dos artigos selecionados



Fonte: Elaborado pelos autores.

A quantidade de artigos publicados por país se apresenta conforme a afiliação informada pelos autores na ocasião da publicação dos textos (Gráfico 5). Assim, o Gráfico 6 mostra a distribuição de artigos por país, conforme o endereço da autoria no momento de sua publicação.

Gráfico 6
País do autor dos artigos selecionados

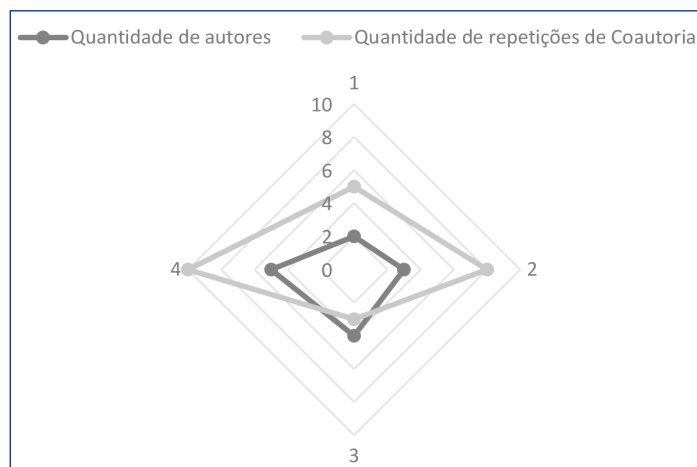


Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 6, o país do BRICS que se destaca na publicação de artigos é a China, seguida pelo Brasil, que vem à frente da África do Sul (com a mesma quantidade dos EUA) e da Rússia (que se assemelha em números à Alemanha). Em que pese não terem sido encontrados artigos oriundos da Índia, de modo geral, os resultados convergem com outros estudos que demonstram a crescente visibilidade dos países integrantes do bloco em termos de publicações científicas, com destaque para a China, ainda que as publicações com cooperação inter-BRICS sejam menos frequentes (FINARDI e BURATTI, 2016; SHASHNOV e KOTSEMIR, 2018). Destaca-se que os países constantes no Gráfico 6 são a união de alguns países avançados tecnologicamente com os países utilizados como palavras-chave na pesquisa.

A colaboração científica foi medida pela coautoria e, dentre os 30 artigos, 4 não foram escritos em colaboração científica (ressalvando que uma dessas autorias é institucional). Em sua maioria, a colaboração científica identificada se realizou por estudos diversificados no que se refere à quantidade de autores envolvidos: 10 artigos foram escritos por 5 autores, 8 textos resultaram da colaboração entre 3 autores, 5 artigos foram escritos por 2 autores e 3 textos tiveram a colaboração de 4 autores (Gráfico 7).

Gráfico 7
Colaboração em coautoria dentre os artigos selecionados



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Quadro 3 discrimina os autores com produção mais profícua, que participaram de mais de um artigo, assim como sua afiliação institucional e seu país. Destaca-se a prevalência chinesa, considerando Taiwan integrado a essa quantidade (devido ao posicionamento político mundial no momento) (ZHAO, WANG, XIAO et al., 2018).

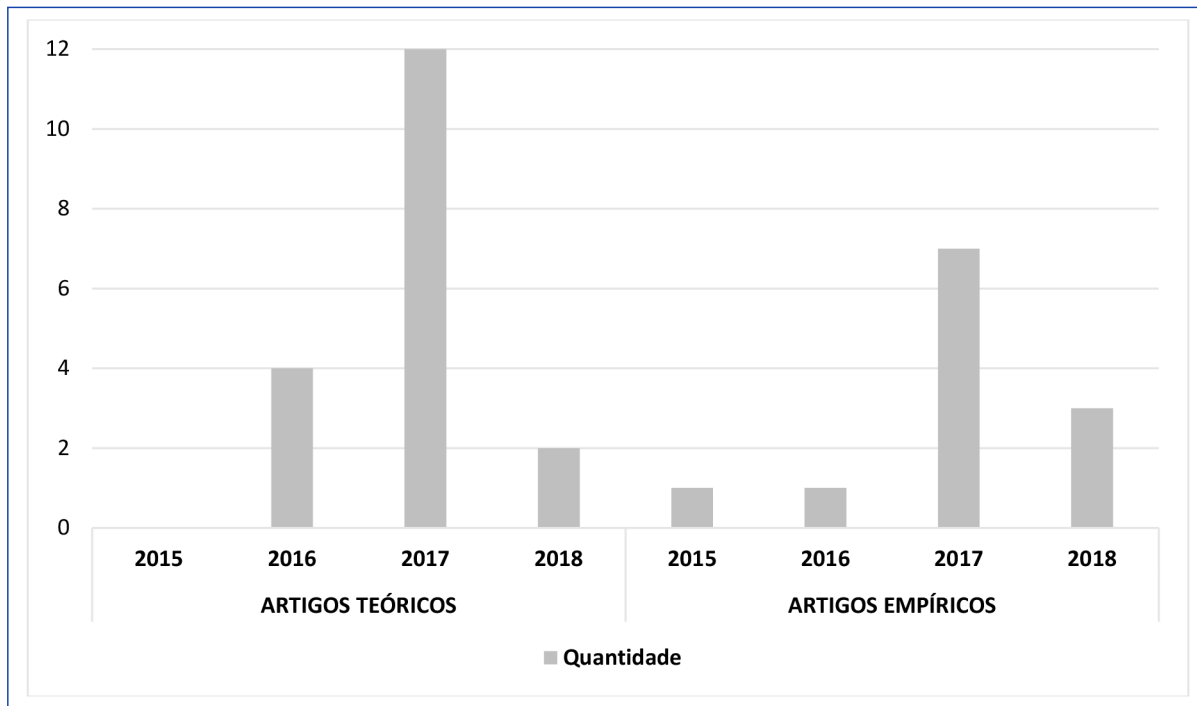
Quadro 3
Participação de autoria, com afiliação, em mais de um artigo

PRODUÇÃO EM TRÊS ARTIGOS
Chien, C.-F. (The University of Danang, Taiwan)
Tao, F. (Beihang University, China)
Plakitkin, Y.A. (ERI RAS, Russia)
Plakitkina, L.S. (ERI RAS, Russia)
PRODUÇÃO EM DOIS ARTIGOS
Bester, A. (Cape Peninsula University, South Africa)
Cheng, J. (Beihang University, China)
Qi, Q. (Beihang University, China)
Chen, X. (Guangdong University of Technology, China)
Leng, J. (Guangdong University of Technology, China)
Liu, Q. (Guangdong University of Technology, China)
Zhang, D. (Guangdong University of Technology, China)
Zhang, H. (Guangdong University of Technology, China)
Sackey, S.M. (Kwame Nkrumah University of Science & Technology, Ghana)
Trappey, C. (National Chiao Tung University, Taiwan)
Chuang, A. (National Tsing Hua University, Taiwan)
Govindarajan, U. (National Tsing Hua University, Taiwan)
Guo, H.-Z. (National Tsing Hua University, Taiwan)
Hong, T.-Y. (National Tsing Hua University, Taiwan)
Trappey, A. (National Tsing Hua University, Taiwan)
Zancul, E. (Universidade de São Paulo, Brasil)
Xu, X. (University of Auckland, New Zealand)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Sobre as características metodológicas dos estudos, encontraram-se mais ensaios teóricos (18 textos) do que pesquisas empíricas (12 artigos). Um motivo para essa discrepância em relação aos artigos teóricos e empíricos pode decorrer do fato da IoT, apesar de permitir a criação de produtos e serviços, tratar-se de modelos novos de negócios em quase todos os setores (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016). O Gráfico 8 ilustra a quantidade de artigos teóricos e empíricos, por ano.

Gráfico 8
Distribuição de tipos de artigos ao longo dos anos: artigo teórico × artigo empírico



Fonte: Elaborado pelos autores.

Pode-se elencar algumas características entre os 12 estudos empíricos analisados:

1. Em sua maioria, são quantitativos, utilizando análise multivariada, modelagem estrutural, estatística descritiva, correlação e regressão linear (FENG, ZHANG e ZHOU, 2018; LI, 2018; LIN, LEE, LAU et al., 2018; OLIVEIRA e SOMMER, 2017; TORTORELLA e FETTERMANN, 2017);
2. Identificaram-se outros métodos relacionados às áreas de Ciências Exatas como algoritmo genético (CHIEN, HONG e GUO, 2017a; ZHANG, LIU, CHEN et al., 2017; WANG, SUN, ZHANG et al., 2016), métodos de programação (TAO e QI, 2017), modelagem de sistema baseado em física e matemática do progresso tecnológico (DURÃO, CHRIST e ZANCUL, 2017);
3. Nas pesquisas qualitativas se utilizou análise temática, análise de conteúdo e estudo de caso (CALITZ, POISAT e CULLEN, 2017; SCHRÖDER, NUNES, VIERO et al., 2015);
4. Os instrumentos de coleta empregados, quando não matemáticos, são questionários e entrevistas; e
5. Os setores mais pesquisados são o de produção (CALITZ, POISAT e CULLEN, 2017; LI, 2018; TORTORELLA e FETTERMANN, 2017; WANG, SUN, ZHANG et al., 2016), industrial (LIN, LEE, LAU et al., 2018; CHIEN, HONG e GUO, 2017; ZHANG, LIU, CHEN et al., 2017) e de manufatura (FENG, ZHANG e ZHOU, 2018; SCHRÖDER, NUNES, VIERO et al., 2015).

Categoria avaliativa

Buscou-se a categorização avaliativa nos estudos empíricos e teóricos, fundamentando-se em 3 indicadores: a) conceito de Indústria 4.0 empregado; b) subcategorias conceituais formuladas a partir desse conceito; e c) interface da Indústria 4.0 com estratégias de *catch-up*, acumulação de capacidades para inovação e apropriação de oportunidades de mercado. Observou-se nos estudos que a conceituação do termo Indústria 4.0 foi realizada a partir de 4 estratégias distintas, segmentadas nas perspectivas presentes no Quadro 4.

Quadro 4
Perspectivas e estratégias de conceituação empregadas nos artigos selecionados

Perspectiva empregada	Estratégia de conceituação da Indústria 4.0	Autores
Dos objetivos	Define-se a Indústria 4.0 em busca de agregação de valor à manufatura, à aplicação de/ou à exploração potencial das tecnologias na manufatura e à interconexão de pessoas e equipamentos.	Lin, Shyu e Ding (2017); Oliveira e Sommer (2017); Schröder, Nunes, Viero et al. (2015); Zhou, Liu e Liang (2016).
Das tecnologias integrantes	Responsável por mais da metade dos conceitos presentes nos estudos, define Indústria 4.0 a partir das ITs integrantes e voltadas, em sua maioria, a sistemas ciberfísicos (da sigla CPS, em inglês), computação em nuvem, IoT e manufatura inteligente (<i>smart factory</i>).	Chen (2017); Chien, Hong e Guo (2017); Chong, Ramakrishna e Singh (2018); Durão, Christ, Zancul et al. (2017); Fang (2016); Feng, Zhang e Zhou (2018); Lele e Goswami (2017); Li (2018); Sackey e Bester (2016); Tortorella e Fettermann (2017); Trappey, Trappey, Govindarajan et al. (2017); Wang, Sun, Zhang et al. (2016); Zhang, Liu, Chen et al. (2017).
Estratégica	O conceito se funde às primeiras utilizações do termo, em vista da iniciativa do governo alemão, tendo por característica o posicionamento do tema como um plano nacional voltado à interconexão em tempo real e à competitividade industrial germânica.	Arbix, Salerno, Zancul et al. (2017); Frolov, Kaminchenko, Kovylnkin et al. (2017); Tao e Qi (2017); Zhong, Xu, Klotz et al. (2017).
Histórica	A definição se volta à evolução histórica do conceito de Indústria 4.0, apresentando-a como integrante desse contexto (nesse sentido, o termo mais visualizado é quarta RI) e comparando-a às perspectivas industriais anteriores, em especial à Indústria 3.0.	Chien, Hong e Guo (2017).

Fonte: Elaborado pelos autores.

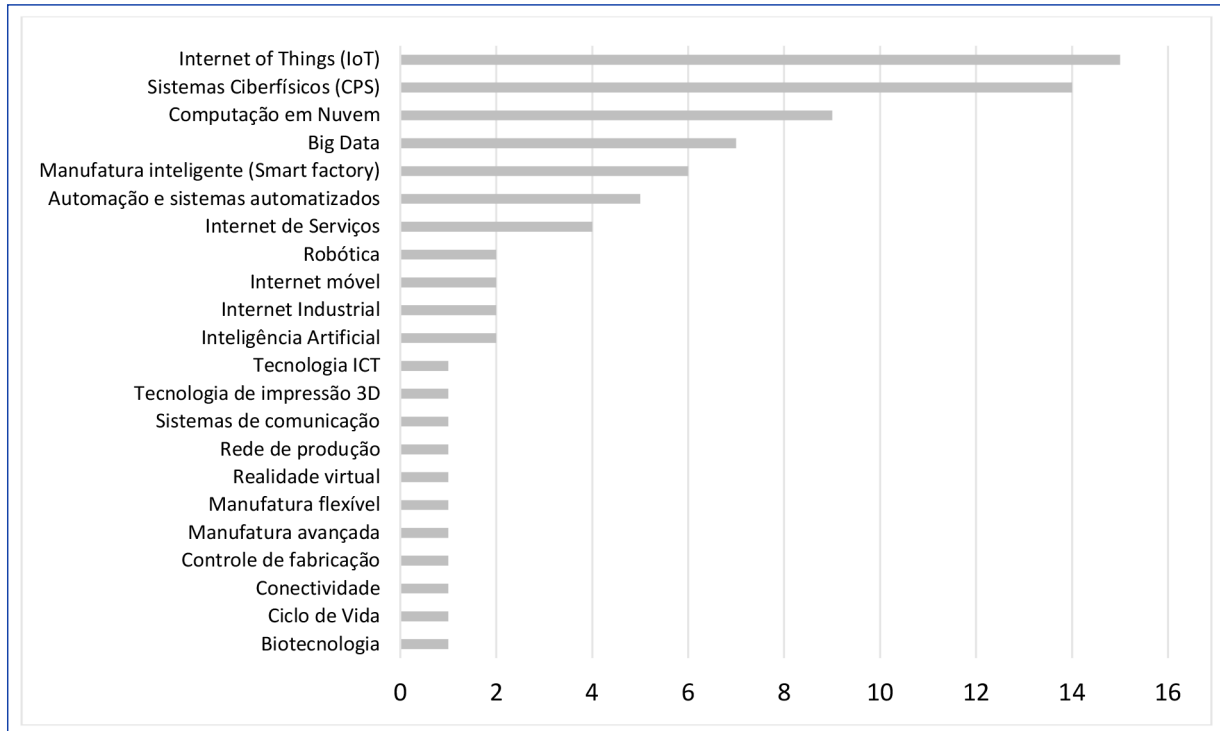
Observa-se uma proeminência da perspectiva das tecnologias integrantes, que apresenta a definição de a Indústria 4.0 a partir da conceituação de alguma tecnologia a ela vinculada. Esse posicionamento se justifica, entre outros fatores, pelo fato da Indústria 4.0 apresentar um agregado de tecnologias (qualitativo e quantitativo) ainda não experienciado nas três RIs anteriores (ZHOU, LIU e LIANG, 2016; SCHWAB e DAVIS, 2018). Assim, torna-se possível conceituar e pesquisar a Indústria 4.0 a partir dos resultados específicos de suas partes integrantes, por conta da complexidade de cada uma das novas tecnologias existentes ou daquelas que se encontram em processo seminal (SACKEY, BERSTER e ADAMS, 2017).

Essa complexidade é significativa a ponto de ser possível visualizar e verificar ações diversificadas utilizando as tecnologias destacadas nos países com maior grau de desenvolvimento (Alemanha, EUA e Japão). Entretanto, para países com infraestrutura industrial em estágios menos adiantados, alcançar os patamares estabelecidos pela quarta RI talvez seja a possibilidade de pensar em um cenário de transição, habilitado para capacitar a inteligência de manufatura existente (no nível de Indústria 3.0) e manter níveis satisfatórios de competitividade, cenário em que pode ser estabelecida uma Indústria 3.5 (CHIEN, HONG e GUO, 2017).

Reforça o argumento apresentado a quantidade de tecnologias incutidas na conceituação ou na explicação detalhada de Indústria 4.0 averiguada nos 30 artigos estudados. Em 79 citações houve 22 tipologias distintas de tecnologias encontradas

(Gráfico 9), com 4 delas sendo responsáveis por mais da metade das citações: Internet das Coisas (IoT) (15), sistemas ciberfísicos (CPS) (14), computação em nuvem (9) e *Big Data* (7).

Gráfico 9
Tecnologias presentes na conceituação e explicação da Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 9 apresenta as tecnologias encontradas nos artigos acerca do contexto da Indústria 4.0, revelando a diversidade de tecnologias que podem ser aglutinadas ao tema. Destaca-se que a perspectiva de conceituação a partir das tecnologias integrantes da Indústria 4.0 apresentou maior frequência em comparação com as outras categorias de conceituação. Evidencia-se que alguns estudos empíricos enfocaram as tecnologias mais aparentes na análise estabelecida, especialmente no escrutínio de aspectos vinculados à organização, como produtividade e desempenho (CALITZ, POISAT e CULLEN, 2017; LIN et al., 2018), ou mesmo na experimentação de instrumentos matemáticos (CHIEN, HONG e GUO, 2017; ZHANG, LIU, CHEN et al., 2017).

CONCLUSÃO

É necessário comentar que a discussão realizada não esgota a literatura produzida até o momento sobre a temática e demonstra, no rastreamento realizado, um retrato atual de publicações, referências e citações do crescimento intelectual da Indústria 4.0, no contexto dos BRICS. O que representa o fenômeno Indústria 4.0 são as expressões que estão a ele associadas, pois demonstram quais partes da economia, ou do ambiente, as tecnologias de determinado contexto estão expandindo-se (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016). O estudo que aqui se apresenta identificou as principais características descritivas do tema e do campo pesquisado e também revelou, por meio da análise avaliativa, conceitos empregados pelos autores e seus relacionamentos associados, constante em uma literatura relevante quanto à produção científica.

Este estudo indicou o incremento da pesquisa acerca da Indústria 4.0 em C&T e o que tem repercutido na temática Indústria 4.0 nos BRICS, mas também a necessidade de fortalecimento efetivo da cooperação política desses países nos aspectos vinculados à temática, consoante previsão dos acordos e planos de trabalho já estabelecidos em anos recentes (p. ex., BRICS

STI, 2015, 2017). Assim, torna-se relevante desde o estabelecimento conjunto de áreas prioritárias de C&T, envolvendo a cooperação internacional de interesse para o bloco (intra e extra-BRICS), até o levantamento de requisitos socioeconômicos e de possibilidades de desenvolvimento em C&T, de cada país, como defendido por Wong e Wang (2015) e Zhao, Wang, Xiao et al. (2018).

Entre as limitações deste artigo, observa-se que os critérios de seleção dos textos deixaram de fora trabalhos publicados que tenham sido apresentados em congressos, além de livros e artigos científicos não classificados pelas bases de dados Web of Science e SCOPUS. Apesar da expressiva representatividade, se a opção por não pesquisar bases de dados locais e nenhuma área específica, por um lado, privilegiou a interdisciplinaridade e os estudos de caráter internacional, por outro, trouxe como limitação a predominância de estudos em língua inglesa e de pesquisas inseridas nas disciplinas do campo de Ciências Exatas, em detrimento das demais áreas e indexações nacionais, como apontado por Mongeon e Paul-Hus (2016).

Apesar disso, esse resultado faz sentido ao considerar que as palavras-chave utilizadas foram escritas em língua inglesa e que a Indústria 4.0 se baseia em avanços provenientes, principalmente, da Engenharia e das Ciências da Computação. Sugere-se como perspectivas de estudos futuros acrescentar como termo de busca cada uma das ITs apontadas por Rüssmann, Lorenz, Gerbert et al. (2015), em cada um dos países que compõem os BRICS, nominalmente, além de ampliar as bases de dados pesquisadas, incluindo as bases nacionais/locais. Para uma pesquisa mais aprofundada sobre a relação entre os setores produtivo e acadêmico, indica-se adicionar à análise as bases de patentes em cada um dos BRICS.

Como aspecto positivo, avalia-se que este artigo pode auxiliar futuros trabalhos a compreenderem como esse novo conceito vem sendo introduzido em conjunto com a adoção das novas tecnologias a ele conectadas, assim como as opiniões de pesquisadores da temática em diferentes campos de estudo. Ademais, as informações apresentadas neste artigo se tornam úteis para pesquisadores que tenham a intenção de saber em quais vetores a indústria está posicionando-se nos últimos anos nos países em ascensão, o que pode servir de guia para diversas políticas e decisões, principalmente aquelas relacionadas a P&D. Apesar de não se colocar com um profundo *survey*, este estudo apresenta uma gama de referências sobre o tema, facilitando pesquisas que venham a reavaliar esse período primordial da Indústria 4.0 no mundo.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVITZ, M. Catching up, forging ahead, and falling behind. **Journal of Economic History**, v. 46, n. 2, p. 386-406, 1986.
- ARBIX, G. et al. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos estudos CEBRAP**, v. 36, n. 3, p. 29-49, 2017.
- BERNARDES, A. T. et al. **Modeling economic growth fuelled by science and technology**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2006.
- BRETTEL, M. et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an Industry 4.0 perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.
- BRICS SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION MINISTERIAL MEETING – BRICS STI. **Memorandum of understanding on cooperation in science, technology and innovation**. Brasília, DF: BRICS, 2015.
- BRICS SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION MINISTERIAL MEETING – BRICS STI. **Leading through innovation & deepening cooperation**. Hangzhou: BRICS, 2017.
- CALITZ, A. P., POISAT, P.; CULLEN, M. The future African workplace: The use of collaborative robots in manufacturing. **SA Journal of Human Resource Management**, v. 15, n. 2, p. 1-11, 2017.
- CASTELLS, M. **A era da informação: economia, sociedade e cultura. A sociedade em rede**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. v. 1.
- CHEN, Y. Integrated and intelligent manufacturing: perspectives and enablers. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 588-595, 2017.
- CHIEN, C.-F.; HONG, T.; GUO, H.-Z. A conceptual framework for “Industry 3.5” to empower intelligent manufacturing and case studies. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 2009-2017, 2017a.
- CHIEN, C.-F.; HONG, T.; GUO, H.-Z. An empirical study for smart production for TFT-LCD to empower Industry 3.5. **Journal of the Chinese Institute of Engineers**, v. 40, n. 7, p. 552-561, 2017b.
- CHONG, L.; RAMAKRISHNA, S.; SINGH, S. A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 95, n. 5-8, p. 2281-2300, 2018.
- COOPER, A. F. **The BRICS: a very short introduction**. Oxford: Oxford University Press, 2016.
- COSTA, K. F.; MENEZES, H.; FRANZONI, M. Inovação desenvolvimento: a importância das relações internacionais. **Monções: Revista de Relações Internacionais da UFGD**, v. 5, n. 9, p. 152-190, 2016.
- COSTIN, C.; WOOD-JÚNIOR, T. Criando alianças estratégicas entre universidades e empresas: o caso Uniemp. **Revista de Administração (São Paulo)**, v. 29, n. 2, p. 95-104, 1994.
- DOMINICI, G. et al. Click and drive: consumer attitude to product development. Towards future transformations of driving experience. **Business Process Management Journal**, v. 22, n. 2, p. 420-434, 2016.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0- hit or hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.
- DURÃO, L. F. C. S. et al. Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 93, n. 1-4, p. 869-880, 2017.
- FANG, F. Z. Atomic and close-to-atomic scale manufacturing: a trend in manufacturing development. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 11, n. 4, p. 325-327, 2016.
- FENG, L.; ZHANG, X.; ZHOU, K. Current problems in China’s manufacturing and countermeasures for industry 4.0. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, v. 2018, n. 90, p. 1-6, 2018.
- FINARDI, U.; BURATTI, A. Scientific collaboration framework of BRICS countries: an analysis of international coauthorship. **Scientometrics**, v. 109, n. 1, p. 433-446, 2016.
- FROLOV, V. G. et al. The main economic factors of sustainable manufacturing within the industrial policy concept of industry 4.0. **Academy of Strategic Management Journal**, v. 16, n. 2, 2017.
- GOMES, R.; STRACHMAN, E. O papel das multinacionais no desenvolvimento tecnológico do Brasil: políticas industriais como indutoras de *catch up* tecnológico. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 2, p. 41-50, 2005.
- GUERRA, S. M. G.; FANTINELLI, J. T. A aproximação entre tecnologia e economia: os emergentes papéis da energia. **Revista de Estudos Sociais**, v. 3, n. 5, p. 33-58, 2001.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 49., 2016, Koloa. **Proceedings...** Koloa, HI: [s.n.], 2016. p. 3928-3935.
- HOFFMAN, D. L.; HOLBROOK, M. B. The intellectual structure of consumer research: a bibliometric study of author cocitations in the first 15 years of the *Journal of Consumer Research*. **Journal of Consumer Research**, v. 19, n. 4, p. 505-517, 1993.
- HUBERMAN, L. **História da riqueza do homem**. 21. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- IPIRANGA, A. S. R. et al. Estratégias de inovação de *catching-up*: as ligações de aprendizagem entre um instituto de P&D e pequenas empresas. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 46, n. 3, p. 677-700, 2012.
- JADEJA, Y.; MODI, K. Cloud computing: concepts, architecture and challenges. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IEEE, 2012, Kumaracoil, India. **Proceedings...** Kumaracoil: IEEE, 2012. p. 877-880.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBI, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Frankfurt: National Academy of Science and Engineering/Federal Ministry of Educations and Research, 2013.
- KIASSOV, A. et al. Whether medical schools in Russia are ready to develop successfully in the twenty-first century. **BioNanoScience**, v. 8, n. 1, p. 467-472, 2018.
- KINGAH, S.; QUILICONI, C. Introduction: The BRICS in Global and Regional Governance. In: KINGAH, S.; QUILICONI, C. (Ed.). **Global and regional leadership of BRICS countries**. New York: Springer, 2016. p. 1-12.

- KON, A. **Nova economia política dos serviços**. São Paulo: Perspectiva/CNPq, 2015.
- LELE, U.; GOSWAMI, S. The fourth industrial revolution, agricultural and rural innovation, and implications for public policy and investments: a case of India. **Agricultural Economics**, v. 48, n. S1, p. 87-100, 2017.
- LI, L. China's manufacturing locus in 2025: with a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0." **Technological Forecasting and Social Change**, v. 135, p. 66-74, out. 2018.
- LIAO, Y. et al. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. **Production**, v. 28, e20180061, p. 1-18, 2017.
- LIN, D. et al. Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the chinese automotive industry. **Industrial Management & Data Systems**, v. 118, n. 3, p. 589-605, 2018.
- LIN, K. C.; SHYU, J. Z.; DING, K. A cross-strait comparison of innovation policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 1-17, 2017.
- LUÍS, A. L. Rússia: economia emergente ou re-emergente? **R-LEGO**, n. 2, p. 97-123, 2016.
- MANSFIELD, E. D. Rising powers in the Global Economy: issues and questions. **International Studies Review**, v. 16, n. 3, p. 437-442, 2014.
- MARICATO, J. M.; NORONHA, D. P. Indicadores bibliométricos e cientométricos em CT&I: apontamentos históricos, metodológicos e tendências de aplicação. In: HAYASHI, M. C. P. I.; LETA, J. (Org.). **Bibliometria e cientometria: reflexões teóricas e interfaces**. São Carlos, SP: Pedro & João, 2012. p. 21-41.
- MIYAZAKI, K.; ISLAM, N. Nanotechnology systems of innovation: an analysis of industry and academia research activities. **Technovation**, v. 27, n. 11, p. 661-675, 2007.
- MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213-228, 2016.
- OLIVEIRA, P. S.; SOMMER, L. Globalization and digitalization as challenges for a professional career in manufacturing industries: differences in awareness and knowledge of students from Brazil and Germany. **Education Sciences**, v. 7, n. 2, p. 55-67, 2017.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Main Science and Technology Indicators**. Paris: OECD Publishing, 2019. v. 2018, n. 2.
- PALATTELLA, M. R. et al. Internet of things in the 5G era: enablers, architecture, and business models. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 34, n. 3, p. 510-527, 2016.
- PEI, F. et al. Research on design of the smart factory for forging enterprise in the Industry 4.0 environment. **Mechanika**, v. 23, n. 1, p. 146-152, 2017.
- PITASSI, C. Inovação aberta nas estratégias competitivas das empresas brasileiras. **REBRAE**, v. 7, n. 1, p. 18-36, 2014.
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173-178, 2016.
- ROBLEK, V.; MESKO, M.; KRAPEZ, A. A complex view of Industry 4.0. **Sage Open**, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.
- ROEMER, R.; BORCHARDT, R. Understanding bibliometrics. In: ROEMER, R.; BORCHARDT, R. (Ed.). **Meaningful metrics: a 21st century librarian's guide to bibliometrics, altmetrics, and research impact**. Chicago, IL: Association of College and Research Libraries, 2015. p. 27-70.
- RÜSSMANN, M. et al. **Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston: BCG, 2015.
- SANTOS, R. N.; KOBASHI, N. Y. Bibliometria, cientometria, infometria: conceitos e aplicações. **Pesq. Bras. Ci. Inf.**, v. 2, n. 1, p. 155-172, 2009.
- SACKEY, S. M.; BESTER, A. Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context. **The South African Journal of Industrial Engineering**, v. 27, n. 4, p. 101-114, 2016.
- SACKEY, S. M.; BESTER, A.; ADAMS, D. Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa. **The South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 1, p. 114-124, 2017.
- SARTI, F.; HIRATUKA, C. **Desempenho recente da indústria brasileira no contexto de mudanças estruturais domésticas e globais**. Campinas: Unicamp, 2017. (Texto para Discussão Unicamp, n. 290). Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/docprod/downarq.php?id=3510&tp=a>>. Acesso em: 11 nov. 2019.
- SATYRO, W. C. et al. Industry 4.0: Evolution of the Research at the APMS Conference. In: LÖDDING, H. et al. (Eds.). **Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing**. Cham: Springer, 2017. p. 39-47. (IFIP Advances in Information and Communication Technology, v. 513).
- SCHRÖDER, R. et al. Analysis of implementation of an automated process in a footwear company: a case study by the optic of the Hyundai production system and industry 4.0. **Espacios**, v. 36, n. 18, p. 19, 2015.
- SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. Geneva: World Economic Forum, 2016.
- SCHWAB, K.; DAVIS, N. **Shaping the future of the fourth industrial revolution**. New York: Currency, 2018.
- SHASHNOV, S.; KOTSEMIR, M. Research landscape of the BRICS countries: current trends in research output, thematic structures of publications, and the relative influence of partners. **Scientometrics**, v. 117, n. 2, p. 1115-1155, 2018.
- SILVA, M. R.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. B. I. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 2, n. 1, p. 110-129, 2011.
- SILVERMAN, D. **Interpretação de dados qualitativos: métodos para análise de entrevistas, textos e interações**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- SODOLOV, A. et al. S&T priorities for BRICS countries: in search of a win-win strategy. In: ZHAO, X. et al. (Ed.). **BRICS Innovative Competitiveness Report 2017**. Singapore: Springer, 2018. p. 31-68.
- STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 40, p. 536-541, 2016.
- TADEU, H. F. B.; SANTOS, E. S. **O que seria a Indústria 4.0?** Rio de Janeiro: FDC, 2016. Disponível em: <<http://acervo.ci.fdc.org.br/AcervoDigital/>>

Relat%C3%B3rios%20de%20Pesquisa/Relat%C3%B3rios%20de%20Pesquisa%202016/O%20que%20seria%20a%20ind%C3%BAstria%204.0-%20fev%202016.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2018.

TAO, F. et al. SDMSim: a manufacturing service supply-demand matching simulator under cloud environment. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 45, p. 34-46, jun. 2017.

TAO, F.; QI, Q. New IT driven service-oriented smart manufacturing: framework and characteristics. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 49, n. 1, p. 81-91, 2017.

TAO, F.; ZHANG, M. Digital twin shop-floor: a new shop-floor paradigm towards smart Manufacturing. **IEEE Access**, v. 5, p. 20418-20427, 2017.

THE WORLD BANK. **Multipolarity: the new global economy**. Washington, DC: The World Bank, 2011.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2017.

TRAPPEY, A. J. C. et al. A review of technology standards and patent portfolios for enabling cyber-physical Systems in advanced manufacturing. **IEEE Access**, v. 4, p. 7356-7382, 2016.

TRAPPEY, A. J. C. et al. A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: a key enabler for Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 208-229, 2017.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO. **Global Investments in R&D**. Paris: UNESCO, 2018a. (Fact Sheet, n. 50).

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO. **Human Resources in R&D**. Paris: UNESCO, 2018b. (Fact Sheet, n. 49).

WANG, J. et al. Large-scale online multitask learning and decision making for flexible manufacturing. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 12, n. 6, p. 2139-2147, 2016.

WONG, C.-Y.; WANG, L. Trajectories of science and technology and their co-evolution in BRICS: insights from publication and patent analysis. **Journal of Informetrics**, v. 9, p. 90-101, 2015.

YIN, S.; KAYNAK, O. Big data for modern industry: challenges and trends (point of view). **Proceedings of the IEEE**, v. 2, p. 143-146, 2015.

ZHANG, H. et al. A digital twin-based approach for designing and multi-objective optimization of hollow glass production line. **IEEE Access**, v. 5, p. 26901-26911, 2017.

ZHAO, X. et al. Forecast and evaluation of innovation capabilities and review of STI cooperation of BRICS. In: ZHAO, X. et al. (Ed.). **BRICS Innovative Competitiveness Report 2017**. Singapore: Springer, 2018. p. 3-30.

ZHONG, R. Y. et al. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.

ZHOU, K.; LIU, T.; LIANG, L. From cyber-physical systems to Industry 4.0: make future manufacturing become possible. **International Journal of Manufacturing Research**, v. 11, n. 2, p. 167-188, 2016.

Sueli Menelau

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5479-7292>

Doutora em Administração pela Universidade de Brasília (UnB); Professora Adjunta na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru – PE, Brasil. E-mail: suelimenelau@gmail.com

Francisco Guilherme Lima Macedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5785-3026>

Doutorando em Administração pela Universidade de Brasília (UnB); Professor Assistente no Centro Universitário IESB, Brasília – DF, Brasil. E-mail: guilhermelima03@gmail.com

Patrícia Lacerda de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7007-0133>

Doutoranda em Administração pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa – PB, Brasil. E-mail: patricialacerdac@gmail.com

Thiago Gomes Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2432-3117>

Doutor em Ciências de Gestão pela Aix-Marseille Université (AMU, França); Doutor em Administração pela Universidade de Brasília (UnB); Professor do Centro Universitário IESB, Brasília – DF, Brasil. E-mail: tgn.1980@gmail.com

Antônio Deusany de Carvalho Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1960-7841>

Doutor em Ciências da Computação pela Universidade de São Paulo (USP); Professor Colaborador da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo – SP, Brasil. E-mail: dj@ime.usp.br