



VIII ENEI
Encontro Nacional de
Economia Industrial e
Inovação

20 a 23 de Maio de 2024

POLÍTICA INDUSTRIAL E
ECONOMIA DO CONHECIMENTO:
NOVAS ESTRATÉGIAS DE
DESENVOLVIMENTO PARA O BRASIL



Monopólio Intelectual na Indústria 4.0

Gabriel Camargo Constantino¹;

Ariana Ribeiro Costa²;

Resumo: Este artigo explora a relação entre os gastos em Pesquisa e Desenvolvimento e a inovação, focado na Indústria 4.0. Considera-se que a inovação dentro da Indústria 4.0 atua como um motor para o desenvolvimento nacional, com o acúmulo de atividades inovadoras implicando em processos mais eficientes e produtos mais competitivos no mercado. Este artigo produz uma análise das tecnologias da Indústria 4.0, sendo elas Internet of Things, Big Data, Robotics, Additive Manufacturing e Inteligência Artificial. Usando patentes como *proxy* de inovação, analisa-se aproximadamente 900 mil patentes da *World Intellectual Property Organization*. Destaca-se a evolução histórica da patenteação de tecnologias da Indústria 4.0 nos últimos 20 anos e analisa-se as empresas e países líderes no setor. Utilizando dados em painel em um modelo de efeitos fixos encontra-se uma relação positiva entre gastos em P&D e inovação e uma relação positiva entre o tamanho de economias e inovação dentro da Indústria 4.0.

Palavras-chave: “Indústria 4.0”; “Pesquisa e Desenvolvimento”; “Inovação”; “Patentes”

Código JEL: O32, O34

Área Temática: Indústria, produtividade e competitividade (Novos temas - Indústria 4.0, Internet das coisas, outros)

Intellectual Monopoly in the 4.0 Industry

Abstract: This article explores the relationship between R&D spending and innovation, focusing on Industry 4.0. It is believed that innovation within Industry 4.0 acts as an engine for national development, with the accumulation of innovative activities leading to more efficient processes and more competitive products on the market. This article provides an analysis of Industry 4.0 technologies, including Internet of Things, Big Data, Robotics, Additive Manufacturing and Artificial Intelligence. Using patents as a *proxy* for innovation, approximately 900,000 patents are analyzed from the *World Intellectual Property Organization*. I highlight the historical evolution of the patenting of Industry 4.0 technologies over the last 20 years and analyze the leading companies and countries in the sector. Using panel data in a fixed

¹ Fundação Getulio Vargas. E-mail: gabriel.constantino@fgv.br

² Fundação Getulio Vargas. E-mail: ariana.costa@fgv.br

effects model, a positive relationship between R&D spending and innovation is confirmed as well as a positive relationship between the size of economies and innovation within Industry 4.0.

Keywords: “4.0 Industry”; “Research and Development”; “Innovation”; “Patents”

1. Introdução

A relação entre gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e o processo de inovação é extensivamente reportada pela literatura. Investimentos em P&D, sejam eles realizados pelo Estado, setor privado ou a educação terciária contribuem para o acúmulo de conhecimento, este sendo convertido em avanços tecnológicos. Para o setor privado, o desenvolvimento de novas tecnologias pode se tornar responsável pelo auferimento de lucros extraordinários, obtendo uma vantagem em relação a sua competição e iniciando um processo de destruição criativa. Neste cenário, firmas capazes de continuamente inovarem obtêm uma vantagem em sua posição de mercado, assim possuindo incentivos contínuos para investirem em P&D e consequentemente acumularem conhecimento.

O fenômeno da globalização permite que empresas concentrem seus recursos em pesquisa e desenvolvimento, na medida que empresas fornecedoras se tornam mais capacitadas numa escala global, conseguindo acomodar o processo produtivo de grandes empresas multinacionais. O fortalecimento de regimes de propriedade privada também foi um fator determinante para a intensificação de atividades de inovação, permitindo que firmas utilizem mecanismos como patentes para assegurar retornos para seus investimentos em P&D. No âmbito da globalização, também se inicia o desenvolvimento da Indústria 4.0, considerada como a quarta revolução industrial. Neste ensaio, busca-se entender como as dinâmicas do processo de inovação se situam dentro da Indústria 4.0, avaliando premissas da literatura da economia de inovação e analisando quais firmas e países se consolidaram como atores majoritários dentro da inovação nesses setores. Utilizando patentes como uma medida proxy de inovação, filtrando patentes que representam a introdução de uma nova tecnologia dentro do escopo da Indústria 4.0, é construída uma base de dados com mais de 900 mil patentes retiradas do Escritório Mundial de Patentes.

A literatura destaca que a inovação pode ser motivada no nível nacional por determinantes como gastos em P&D do setor privado e de universidades, disponibilidade de mão de obra, fluxos de Investimento Direto Estrangeiro e produtividade nacional. Também se reconhece os componentes necessários de um país para comportar setores da Indústria 4.0, como a especificidade técnica e qualidade de mão de obra

. Argumenta-se que países com setores privados e instituições de educação terciária mais ativos em P&D irão apresentar um maior índice de inovação, acumulando conhecimento de maneira mais intensa no nível nacional, resultando em mais patentes. Também argumenta-se que, devido à especificidade técnica da Indústria 4.0, países mais produtivos irão apresentar mais atividades inovadoras, visto que uma maior produtividade implica numa maior especialização da mão de obra nacional. Neste trabalho, objetiva-se testar premissas da literatura da inovação dentro do escopo da Indústria 4.0, confirmando se gastos em P&D, Investimento Direto Estrangeiro de produtividade são fatores determinantes da inovação. Também busca-se analisar dados pouco explorados de patentes da WIPO, destacando quais são os principais no nível nacional e no nível privado dentro da Indústria 4.0. Também contribui-se com a literatura com a seleção tecnologias de maneira criteriosa, consolidando definições atuais da Indústria 4.0.

Primeiramente, revisa-se a literatura de inovação e apresenta-se os mecanismos teóricos do processo de inovação, destacando como dinâmicas como a globalização e o fortalecimento de regimes de propriedade privada condicionaram a formação do cenário de inovação dentro da Indústria 4.0. Depois, delimita-se a metodologia utilizada na construção de nossa base de dados. Em seguida, é conduzida uma análise exploratória, objetivando encontrar quais empresas e países possuem proeminência dentro da Indústria 4.0. Em seguida, os dados extraídos da WIPO são enriquecidos com informações de localização de inventores de patentes disponibilizadas pela OCDE. Atribui-se uma

localização aos inventores das patentes para analisar os determinantes nacionais da atividade inovativa no nível nacional. Assim, apresenta-se um modelo que avalia como variáveis estudadas pela literatura se relacionam com atividades inovadoras dentro da Indústria 4.0. Finalmente, discute-se os resultados e indica-se possíveis pontos de melhoria, assim como recomendações de pesquisas futuras.

2. Revisão de literatura

Inicialmente centrada em modelos de organização industrial que consideravam a alocação ótima de bens como o principal determinante acerca do comportamento de firmas, a literatura evoluiu e passou a destacar a importância de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para indústrias. A visão schumpeteriana de desenvolvimento industrial critica proposições teóricas acerca da competição e aumento de produtividade em monopólios e oligopólios, destacando que a variação de preços não é a variável principal dentro da competição industrial. Schumpeter (1942) destaca que a competição industrial pode tomar duas formas: um processo de destruição criativa ou um processo de acumulação criativa. Um cenário de destruição criativa ocorre quando há poucas barreiras para a entrada de firmas no mercado, geralmente no estágio inicial de uma tecnologia. Nesse contexto, empresas irão buscar introduzir produtos inovadores no mercado, obtendo vantagens comerciais em relação aos seus concorrentes e auferindo ganhos extraordinários. Já o processo de acumulação criativa ocorre quando existem barreiras para a entrada de firmas no mercado, beneficiando firmas que já possuem conhecimento técnico sobre como produzir certo produto. Neste cenário, grandes empresas tendem a dominar mercados, acumulando conhecimento técnico e aplicando-o em centros de P&D. Nesse sentido, empresas têm incentivos para inovarem e atualizarem sua estrutura interna de modo a aumentar sua produtividade e capturar os ganhos da introdução de um bem inovador num mercado composto por bens relativamente desatualizados.

Tigre (2009) analisa a evolução de teorias econômicas da firma e apresenta o paradigma das tecnologias da informação e comunicação como um novo elemento do comportamento industrial, caracterizado pela relevância de conhecimento e informação. A atuação de uma firma em seu setor torna-se dependente de sua capacidade de aprendizado tecnológico e parte da premissa da racionalidade invariante, ou seja, empresas tomam suas decisões com base em interações com o mercado, não exclusivamente com base na alocação ótima de bens. Além de competências tecnológicas distintas, também se destaca a organização interna de firmas e condições institucionais como precursores de performance econômica. A competitividade de uma firma torna-se relacionada com sua organização interna, com atores optando por centralizar suas competências chave e dispersar sua cadeia produtiva através da descentralização.

No caso das tecnologias da informação, o período de desenvolvimento inicial dessa tecnologia coincidiu com o período da globalização e a consequente maior integração de mercados internacionais. Por estar num estágio inicial de desenvolvimento, havia diversas linhas de pesquisa e desenvolvimento potenciais para a área de TI, gerando oportunidades para firmas acumularem conhecimento e se estruturarem de modo a desenvolver inovações no setor. O desenvolvimento industrial em países em desenvolvimento permite que empresas deleguem atividades não essenciais para fornecedores globais, estes capacitados para acomodar o processo produtivo dessas empresas. Desse modo, são estabelecidas cadeias globais de valor, definidas por Gereffi et al (2005) como um processo no qual tecnologia é combinada com inputs laborais e materiais e depois processada e comercializada em diferentes países. Conforme mercados internacionais passaram a apresentar maior qualidade e capacidade de absorver esses insumos tecnológicos, empresas passaram a fragmentar sua produção em outros países. A decisão de dispersão do processo é condicionada por fatores como acesso à informação, arcabouço institucional e a qualidade de fornecedores internacionais.

Sturgeon (2005) destaca que empresas deveriam concentrar suas atividades core, como P&D, marketing e design, enquanto delegam suas atividades secundárias para *turn-key suppliers*, caracterizados por alta capacidade produtiva e independência. Essa dinâmica permite que empresas consigam propagar riscos e auferir valor de inovações de maneira rápida, dado que podem alterar seu processo produtivo de maneira rápida e flexível. Como a linha de produção se encontra descentralizada, para realizarem uma mudança, basta alterarem sua linha de fornecedores. Este fenômeno cria um cenário

no qual fornecedores internacionais competem entre si para receberem contratos de produção de grandes empresas. Quando mais um fornecedor se torna flexível, capaz de acomodar demandas de grandes empresas rapidamente e, conseqüentemente, capaz de suportar o processo inovativo de empresas, as mesmas terão incentivos para terceirizarem sua produção. Assim, grandes firmas podem concentrar seus gastos em inovações de produto, visto que não terão que arcar com os custos de remodelar seu sistema produtivo para comportarem aquela inovação.

Conforme empresas terceirizam sua produção e concentram gastos em P&D, as mesmas buscam consolidar seus ganhos intelectuais a partir do estabelecimento de regimes de propriedade intelectual. Estes ganhos intelectuais podem ser representados em ativos tangíveis, como um novo produto inovador, ou intangíveis. Durand (2018) define um ativo intangível como um ativo não financeiro imaterial, que pode ser consumido de maneira ilimitada e parcialmente apropriado. Um dos efeitos da organização industrial em cadeias globais de valor é o estabelecimento de monopólios intelectuais, ocasionado pelo acúmulo de conhecimento de grandes empresas e a rentabilidade de ativos intelectuais intangíveis. O autor também descreve a formação de monopólios naturais quando empresas chefes capturam maior parte do valor advindo do processo produtivo, através de *rents* intelectuais. Essa captura de valor é intensificada pela escalabilidade de ativos intangíveis e pelo fortalecimento de regimes de propriedade intelectual. Historicamente, o regime de propriedade intelectual vem se fortalecendo em três frentes: o TRIPS, a inclusão de cláusulas de propriedade privada em *preferential trade agreements* e regimes internacionalmente estabelecidos.

Mesmo que a organização industrial em cadeias globais de valor e o fortalecimento dos regimes de propriedade privada estimulem o processo de inovação, deve-se reconhecer que este é motivado por outros fatores e não ocorre de maneira inteiramente aleatória. Arthur (2007) inicialmente distingue os conceitos de inovação e invenção, limitando o primeiro a introdução comercial de melhorias referentes a tecnologias existentes, enquanto o segundo é definido como a introdução de uma tecnologia inteiramente nova. Depois, o autor reconhece que o processo inventivo é impossível de ser mapeado, porém, está correlacionado a necessidades sociais e econômicas, noções de custo e risco, formação de conhecimento cultural e acadêmico. Arthur argumenta que conforme indivíduos identificam problemas atuais incapazes de serem solucionados com a tecnologia vigente, inicia-se um processo de *problem solving*, fomentando o desenvolvimento de novas tecnologias.

Além de ocorrer como a solução de problemas, o desenvolvimento de novas tecnologias também é condicionado por dois fenômenos no mercado: *technological push* e *market pull*, representando a demanda e oferta por inovação respectivamente. O surgimento de uma nova tecnologia, principalmente através de pesquisa básica, gera novas linhas de pesquisa para outros agentes, tornando a inovação um fenômeno exógeno. Já o *market pull* ocorre quando forças do mercado demandam e competem pela introdução de inovações no mercado. Por exemplo, interações entre usuários de uma tecnologia podem gerar feedback para seus criadores, indicando novas aplicações comerciais dessa tecnologia. Além de estarem expostos a forças do mercado, atores também consideram possíveis ganhos quando desenvolvendo novas tecnologias. Para Dosi (2000), empresas irão quantificar possíveis ganhos quando planejarem um investimento em Pesquisa e Desenvolvimento, considerando a maturidade dos investidores e do setor. A rentabilidade de um investimento em P&D também se torna dependente das condições de apropriabilidade e capacidade de proteção de propriedade intelectual. Considera-se o regime de propriedade privada, o tempo de duplicação da tecnologia e a curva de aprendizado de eventuais concorrentes como indicadores de quanto uma empresa pode lucrar com a introdução de uma nova tecnologia no mercado.

Além dos mecanismos propostos por Dosi, a literatura propõe dois níveis de análise distintos para o entendimento dos motores do processo de inovação: o nível macro, com destaque para processos de regionalização e transbordamento de conhecimento; e o nível micro, centrado em como características setoriais, interações entre agentes econômicos e qualidades tecnológicas podem gerar níveis de inovação distintos. Para Pavitt (1984), a introdução de novas inovações está correlacionada com a natureza do setor: em setores de base, espera-se que os mesmos inovem a partir de investimentos em P&D e acúmulo de conhecimento; enquanto em setores dominados por fornecedores, espera-se que os mesmos interajam com setores de base e internalizam suas inovações. Por exemplo, o setor de bens de capital está

interessado em produzir maquinários inovadores para seus consumidores, almejando consolidar uma posição competitiva no mercado. Já o setor têxtil depende de máquinas inovadoras produzidas pelo setor de bens de capital, assim possuindo incentivos para gerar feedback para o mesmo e promover uma interação entre produtores e usuários. Desse modo, Pavitt estabelece uma taxonomia, na qual o processo de inovação intrasetorial depende de interações intersetoriais e características das firmas, como sua fonte de conhecimento tecnológico.

Já Malerba e Orsenigo (1997) propõe que existe uma diferença entre setores que apresentam tecnologias Schumpeter Mark I ou Mark II. Tecnologias Mark I são caracterizadas por poucas barreiras de entrada e o protagonismo de novas firmas em atividades de inovação, gerando um cenário de destruição criativa. Já em tecnologias Mark II observa-se diversas barreiras para a entrada fundamentado no acúmulo de conhecimento de grandes firmas, no qual investimento em P&D e acumulação de conhecimentos caracterizam as atividades-chaves de firmas. Os autores argumentam que o fator decisivo para padrões de atividade inovativa remete ao conceito de regimes tecnológicos, definido pelo autor como o ambiente tecnológico na qual uma firma opera, composto pela combinação particular de quatro dimensões: condições de apropriabilidade, condições de oportunidade, condições de acumulação e bases de conhecimento.

Setores com maiores condições de apropriabilidade, ou seja, capacidade de proteção de propriedade intelectual, geram garantias para empresas inovarem. Mecanismos como patentes permitem que empresas obtenham proteções legais contra cópias de seus produtos. Já condições de oportunidades discorrem a dimensão de eventuais ganhos dado o investimento em inovação. Em um cenário na qual uma tecnologia possui diversas aplicações, há uma maior probabilidade de gastos em P&D se traduzirem para ganhos econômicos, assim incentivando o processo de inovação. Condições de acumulação indicam como uma linha de inovação vai se comportar no futuro, ou seja, se há espaço para investimentos futuros de inovação numa mesma tecnologia. Caso a formação de conhecimento e investimento em P&D em T possam impactar o processo inovativo em $T+1$, empresas têm incentivos para continuarem seu processo de inovação. Por fim, destaca-se o papel de bases de conhecimento, principalmente como contratações e *face to face talks* promovem a absorção de conhecimento para empresas. A introdução de novos funcionários com experiência prévia em P&D permite que empresas internalizem esse conhecimento e apliquem-no de modo a contribuir para a inovação de seus produtos.

Lundvall (1988) assume que, ao invés de atores estarem preocupados com otimização de recursos, estes se mobilizam de acordo com informações disponíveis e almejam produzir produtos na fronteira da tecnologia, de modo a otimizar seus ganhos. Para o autor, a inovação é um processo iterativo, na qual usuários de uma tecnologia geram feedback para seu produtor, assim indicando possíveis caminhos de novas aplicações comerciais dessa tecnologia. Por fim, Lundvall reconhece o papel do Estado em prover condições ótimas para o processo inovativo a uma escala nacional, criando regulações que tornam a interação entre usuários e produtores mais eficientes. Assim, o autor define o conceito de Sistema Nacional de Inovação como um sistema aberto no qual todo o conjunto industrial de um país e seus fluxos de conhecimento potencializados pelo arcabouço institucional de um país.

3. Metodologia

A base de dados utilizada agrega patentes depositadas nos escritórios nacionais de países membros da WIPO, por exemplo, utiliza-se patentes depositadas e protegidas pelo Escritório Americano de Marcas e Patentes. Além de patentes aplicadas nos escritórios nacionais, também considera-se patentes registradas através do Tratado de Cooperação de Patentes (PCT). Embora sejam de livre acesso, os dados foram extraídos manualmente. Utiliza-se o PATENTSCOPE por ser uma ferramenta que disponibiliza patentes gratuitamente e inclui códigos da Classificação Internacional de Patentes (IPC) e a Classificação de Cooperação de Patentes (CPC). Enquanto o IPC é administrado pela WIPO e é mais abrangente, códigos CPC apresentam um nível adicional de detalhe referente a novas tecnologias, sendo utilizado principalmente pelo Escritório de Marcas e Patentes dos EUA e pelo Escritório Europeu de Patentes.

O paradigma da Indústria 4.0 reside na dificuldade em definir os componentes da mesma, sendo ultimamente representada como uma fábrica de ponta, moldada por tecnologias de manufatura sedimentadas pela tecnologia da informação. Segundo Martinelli et al. (2021), a Indústria 4.0 é composta por *enabling technologies*, consideradas como possuindo um alto potencial de transformação e inovação, podendo remodelar os sistemas de produção onde estão inseridas. Constrói-se um banco de dados que inclui patentes individuais referentes às áreas de *Big Data*, *IoT*, *Robotics*, *AI*, *Cloud Manufacturing* e *Additive Manufacturing*. Separa-se as patentes de acordo com a data de aplicação da invenção, realizando uma categorização num escopo anual.

Para delimitar os códigos referentes a tecnologias da Indústria 4.0 no PATENTSCOPE, utiliza-se códigos extraídos por Martinelli et. al (2021) em seu artigo “*The enabling technologies of industry 4.0: examining the seeds of the fourth industrial revolution*”. Os autores obtêm códigos IPC e CPC relacionados à Indústria 4.0 a partir do relatório de outono do EPO-PATSTAT de 2019, incluindo 61.772 patentes asseguradas ao escritório estadunidense entre 1990 e 2014. Os autores utilizam palavras-chave para selecionarem códigos referentes a uma tecnologia específica, assim mapeando quais códigos pertencem às áreas analisadas. Devido à relevância global dos Estados Unidos, os autores afirmam que o uso dos EUA como base não apresenta um viés doméstico, contribuindo para a precisão dos códigos utilizados. O EPO-PATSTAT, produzido pelo Escritório de Patentes Europeu, é considerado como referência dentro do campo de propriedade intelectual, corroborando a qualidade dos códigos utilizados em nossa pesquisa.

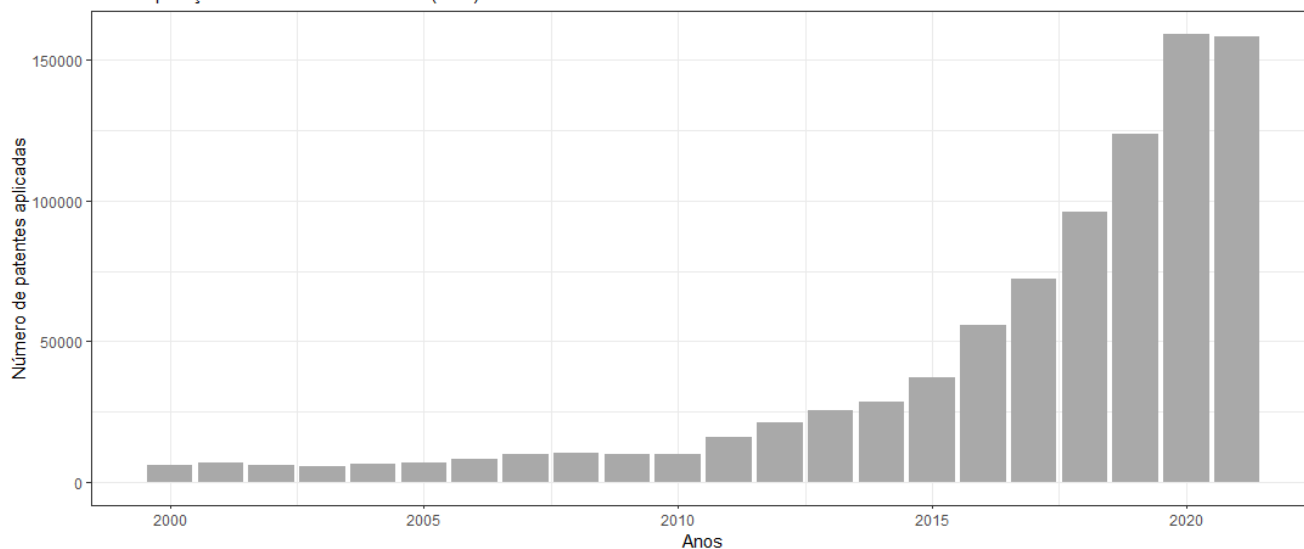
Ao fim, construo uma base de dados de 981.258 patentes aplicadas entre 2020 e 2021, incluindo informações sobre em qual país a patente foi aplicada, qual instituição ou firma aplicou a patente, os inventores da patente e os códigos IPC e CPC. A seção seguinte apresenta o resultado da análise exploratória, contendo a evolução anual da Indústria 4.0 e destacando quais países e empresas possuem proficiência na aplicação de patentes dentro de cada área da tecnologia.

4. Análise exploratória de dados

A seguir, apresenta-se uma análise exploratória descritiva dos dados utilizados na pesquisa. Primeiramente, realiza-se um recorte anual para toda a base, depois aplica-se o mesmo recorte anual para cada área da Indústria 4.0. Também analisa-se quais países e empresas lideram o setor como principais aplicantes de patentes. Informações de patentes referentes ao ano de 2022 não foram incluídas devido a data de coleta dos dados. Inicialmente, nota-se o crescimento no número de aplicações de patentes a partir dos anos 2010, destacando o aumento de 10.113 em 2010 para 55.818 para 2016, atingindo seu ponto máximo em 2020, com 159.074 novas aplicações.

Número de aplicações de patentes referentes a Indústria 4.0 por ano (2000 - 2021)

Novas aplicações realizadas em cada ano (fluxo)



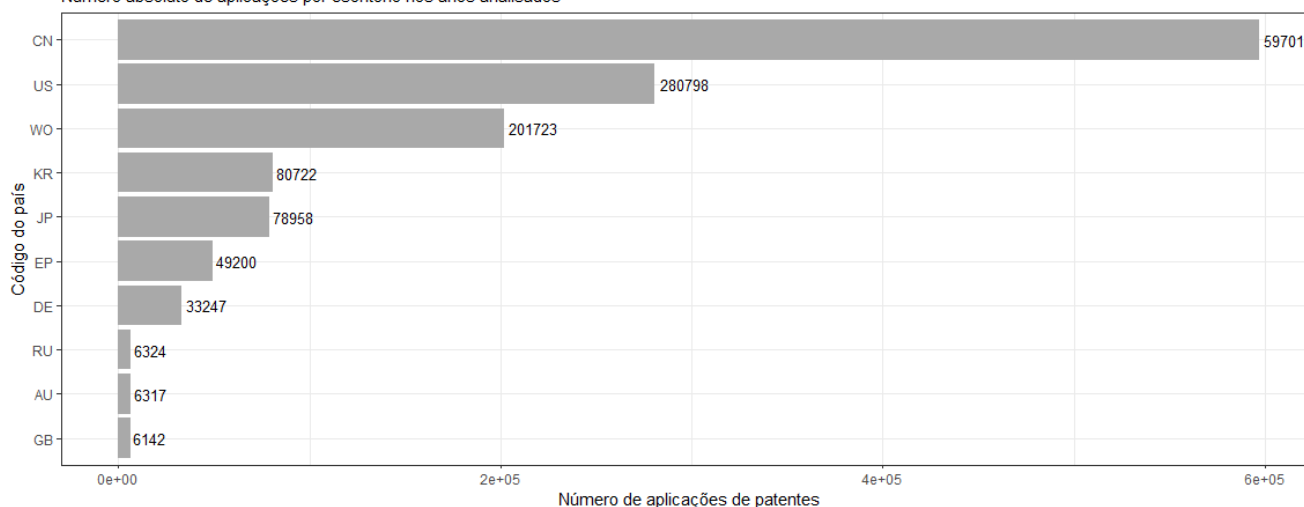
Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Gráfico 1: Número de aplicações de patentes da Indústria 4.0 por ano (2020 – 2021). Autoria própria.

Uma tendência em todas as áreas da Indústria 4.0 é a proeminência chinesa, sendo o escritório com maior número de patentes aplicadas considerando o período analisado. Essa dinâmica pode ser atribuída a 3 principais fatores: (I) intensificação de gastos em P&D em tecnologias estratégicas, principalmente *enabling technologies*; (II) expansão de políticas de financiamento de pesquisa nos níveis municipais e regionais; (III) financiamento além do setor privado, direcionado à indivíduos e universidades (Li, 2012). Também observa-se uma competição em menor escala entre China e Estados Unidos, com o último ocupando o segundo lugar com 280.798 patentes. Mesmo com a consolidação do *Patent Cooperation Treaty* (PCT) (representado pela sigla WO), a China lidera a aplicação de patentes da indústria 4.0, possuindo mais de 40% das patentes aplicadas nos últimos 20 anos.

Número de aplicações de patentes referentes a Indústria 4.0 por país (2000 - 2021)

Número absoluto de aplicações por escritório nos anos analisados



Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Gráfico 2: Número de aplicações de patentes da Indústria 4.0 por escritório (2020 – 2021). Autoria própria.

IoT pode ser definido como um conglomerado de aparelhos com capacidade de conexão inter-dispositivos realizada através de técnicas de *near field communication*. Em um contexto industrial, IoT pode ser considerado como a premissa básica da implementação de um processo produtivo ancorado na indústria 4.0. A conexão inter-dispositivos permite uma constante troca de informações entre sensores, viabilizando a escalabilidade e rentabilidade de sistemas produtivos, visto que a constante troca de informações pode apontar pontos deficitários dentro de um processo produtivo. Em suma, tecnologias de IoT permitem a cooperação de tecnologias distintas dentro de uma mesma cadeia produtiva. Num nível desagregado, IoT apresenta 37.195 patentes aplicadas nos últimos 21 anos, correspondendo a 3.7% de nossa amostra. Destaca-se a evolução no número de aplicações entre os anos 2010-2011 e um recuo no número de aplicações no ano de 2021, possivelmente resultante da pandemia de Covid-19.

Número de aplicações de patentes relacionadas à IoT por ano (2000-2021)

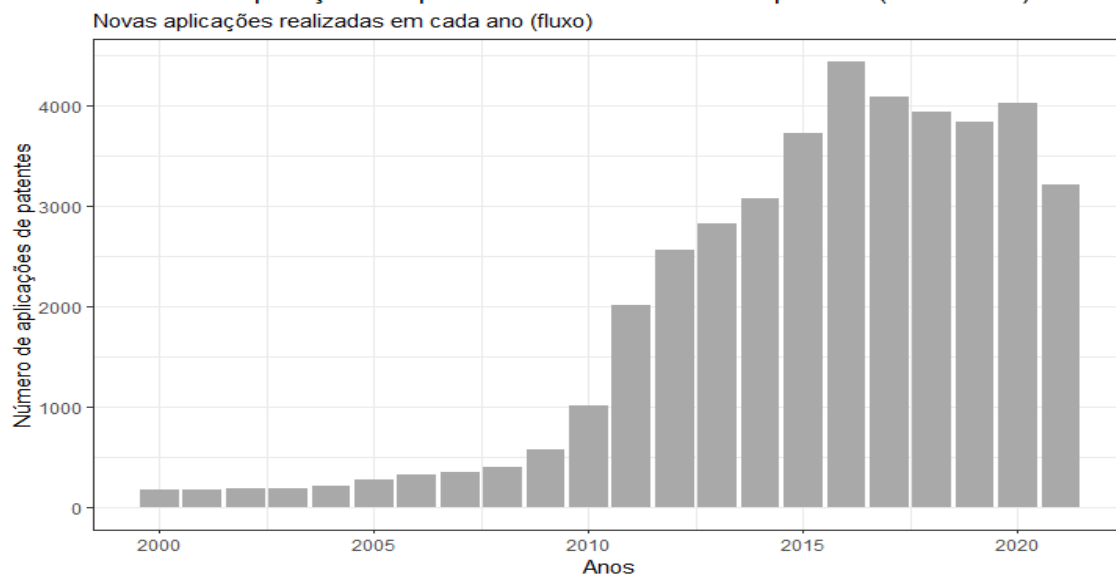


Gráfico 3: Número de aplicações de patentes referentes a IoT por ano (2020 – 2021). Autoria própria.

Destaca-se a Intel como líder do setor, apresentando 1006 patentes. Também aponta-se que a China mesmo concentrando aproximadamente 40% das aplicações de patentes relacionadas a IoT possui apenas a Huawei como a única empresa chinesa dentro dos 5 maiores aplicantes, indicando a pluralidade de aplicantes dentro da China. Mesmo que 5% das patentes referentes a IoT tenham sido feitas por 6 empresas, o setor aparenta ser altamente pluralizado, com 14.015 aplicantes distintos nos últimos anos. Quando olha-se para empresas aplicantes, nota-se uma distinção entre a nacionalidade de empresas aplicantes e aplicações de patentes em seus escritórios nacionais. Assumi-se que, mesmo que uma empresa esteja sediada em um país Y, ela pode possuir laboratórios de pesquisa em outros países, ou pode optar por depositar suas patentes em diferentes escritórios.

Maiores aplicantes de patentes referentes a IoT

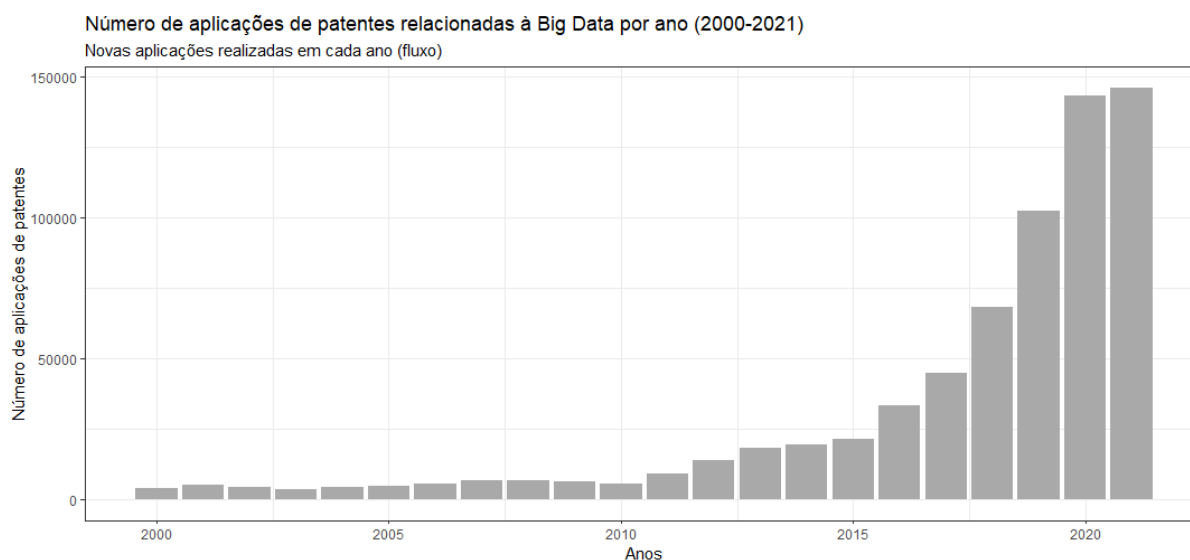
Os dez maiores são apresentados

Aplicantes	Nacionalidade	Nº de aplicações de patentes
Intel	United States	1006
LG Coorporation	South Korea	964
LM Ericsson	Sweden	962
Huawei	China	878
Samsung	South Korea	838
Qualcomm	United States	804
State Grid	China	629
ZTE Coorporation	China	549
Mitsubishi	Japan	316
Convida Wireless	United States	228

Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Quadro 1: Número de aplicações de patentes referentes a IoT por empresa (2000-2021). Autoria própria.

Dentre as tecnologias habitantes analisadas, a área de Big Data apresenta 542.737 aplicações de patentes entre os anos estudados. Embora não exista uma definição objetiva de Big Data, pode-se interpretar suas tecnologias dentro de quatro dimensões: (1) Volume, com de bases de dados que superam capacidades ordinárias de processamento; (2) Variedade, referente ao formato de informações disponíveis; (3) Velocidade, indicando o caráter instantâneo de processamento de dados e (4) Valor, permitindo a extração de insights e informações relevantes de um montante extenso de dados. Entre o ano de 2015 até 2020, o setor apresentou um aumento no número de aplicações de 17.216 para 111.230 aplicações, ou seja, 646%.



Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Gráfico 4: Número de aplicações de patentes referentes a Big Data por ano (2020 – 2021). Autoria própria.

Num nível de aplicantes, intensifica-se a competição entre Estados Unidos e China no setor, com todos os aplicantes sediados em alguma das potências, com exceção da Samsung, sediada na Coreia do

Sul. Destaca-se a presença de ambas Google, Microsoft e IBM como representantes da especialização estadunidense em Big Data. Também relata-se o papel de universidades chinesas como produtoras de conhecimento, capazes de competir com o capital privado em introduzir novas tecnologias.

Maiores aplicantes de patentes referentes a Big Data		
Os dez maiores são apresentados		
Aplicantes	Nacionalidade	Nº de aplicações de patentes
IBM Corporation	United States	8008
Nanjing University	China	4951
Zhejiang University	China	4247
Google	United States	3867
Tencent Technology	China	3635
Microsoft	United States	3539
Ping An Technology	China	3231
Beijing Baidu	China	3223
Samsung	South Korea	3089
Beijing University	China	2350

Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Quadro 2: Número de aplicações de patentes referentes a Big Data por empresa (2000-2021). Autoria própria.

O setor de robótica, totaliza 178.622 aplicações, correspondendo a 18,2% de nossa amostra, apresentou um crescimento menos acentuado na década de 2010 e uma redução de 17,5% entre 2020 e 2021, possivelmente motivada pela pandemia de Covid-19. O setor de robótica enquadra tecnologias que permitem a automação de processos produtivos, tendo como base a interação humano-máquina para sua manutenção.

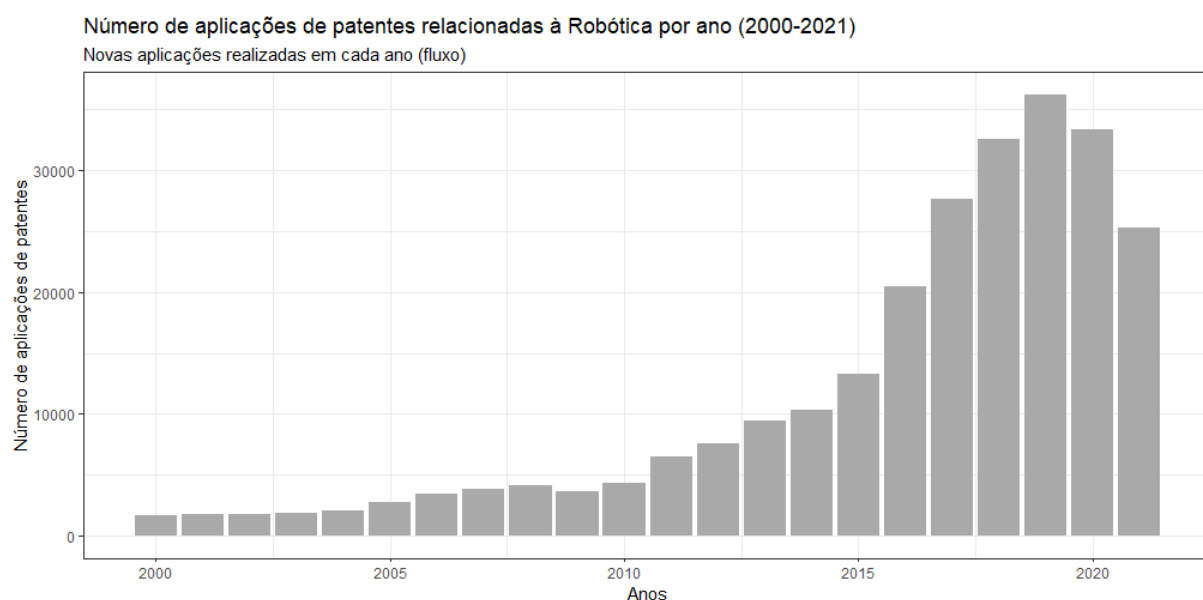


Gráfico 5: Número de aplicações de patentes referentes a robótica por ano (2020 – 2021). Autoria própria.

Diferentemente de Big Data, não observa-se nenhuma empresa ou universidade chinesa como líder na aplicação de patentes. Nota-se a proeminência de firmas do setor automobilístico liderando a aplicação de patentes de tecnologias relacionadas à robótica. Também destaca-se a presença da GMBH, uma firma

alemã e da Toyota, uma empresa japonesa, como empresas líderes de conhecimento tecnológico dentro do setor, contrapondo a “hegemonia” chinesa e estadunidense observada previamente em outras áreas.

Maiores aplicantes de patentes referentes a Robótica

Os dez maiores são apresentados

Aplicantes	Nacionalidade	Nº de aplicações de patentes
Robert Bosh GMBH	Germany	4202
Toyota	Japan	4041
Ford	United States	3861
General Motors	United States	2507
Hyundai	South Korea	2281
Honda	Japan	1972
BMW	Germany	1662
Nissan	Japan	1572
LG Eletronics	South Korea	1482
Volkswagen	Germany	1388

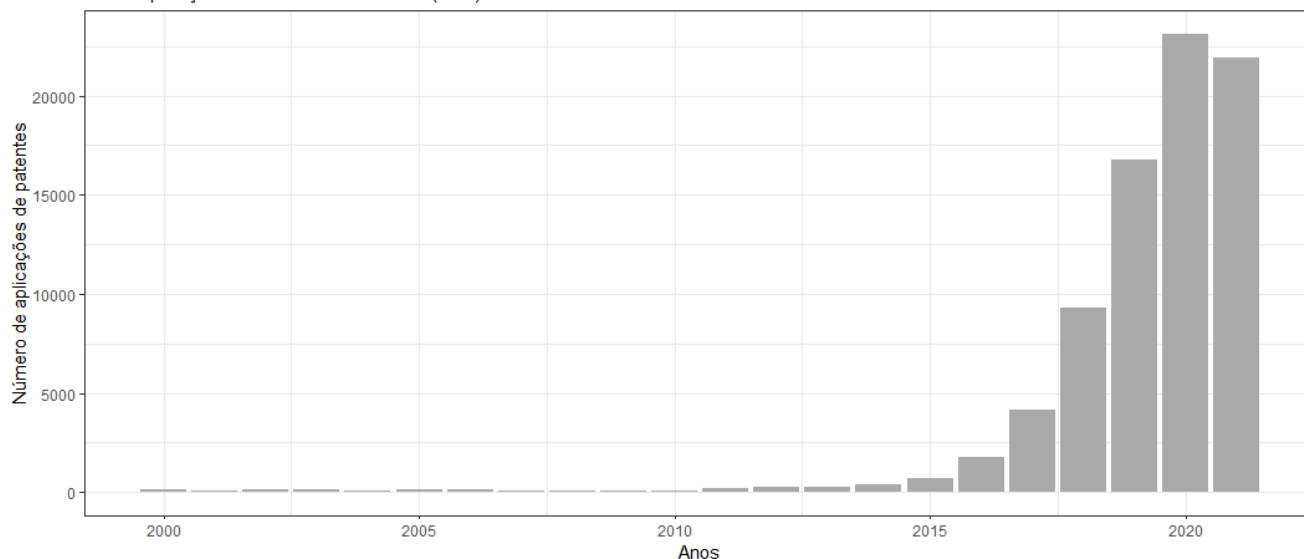
Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Quadro 3: Número de aplicações de patentes referentes a robótica por empresa (2000-2021). Autoria própria.

Dentro do contexto da Indústria 4.0, a IA promove a noção de *Smart Manufacture*, definida como a aplicação de sistemas de inteligência avançados para a dinamização de sistemas para lidarem com flutuações na demanda, além da otimização em tempo real da cadeia de valor. Nota-se um desenvolvimento tardio da IA quando comparada com outros setores, apresentando uma diferença de 2309 novas aplicações entre 2018 e 2019. No total, observa-se 30.169 aplicações de patentes entre os anos de 2000 e 2021.

Número de aplicações de patentes relacionadas a IA por ano (2000-2021)

Novas aplicações realizadas em cada ano (fluxo)



Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Gráfico 6: Número de aplicações de patentes referentes a IA por ano (2020 – 2021). Autoria própria.

Observa-se uma presença consolidada de grandes empresas e universidades chinesas, acompanhada de gigantes ocidentais como Siemens e IBM. Devido à amplitude da área de inteligência artificial, considera-se aplicações referentes a modelos de IA responsáveis pela predição e diagnósticos no setor da medicina, explicando em partes a proeminência da Siemens através de sua vertente Siemens Healthcare. Ademais, nota-se que o setor de IA, por ser uma nova área da tecnologia, está mais suscetível à dinâmicas de destruição criativa, com poucas barreiras para a entrada de novas firmas e poucos agentes consolidados no mercado.

Maiores aplicantes de patentes referentes a IA		
Os dez maiores são apresentados		
Aplicantes	Nacionalidade	Nº de aplicações de patentes
Tencent Technology	China	747
Samsung	South Korea	713
Zhejiang University	China	612
Nanjing University	China	558
Beijing Baidu	China	548
Ping An Technology	China	501
Siemens Healthcare	Germany	455
Google	United States	408
IBM	United States	391
Shanghai United	China	292

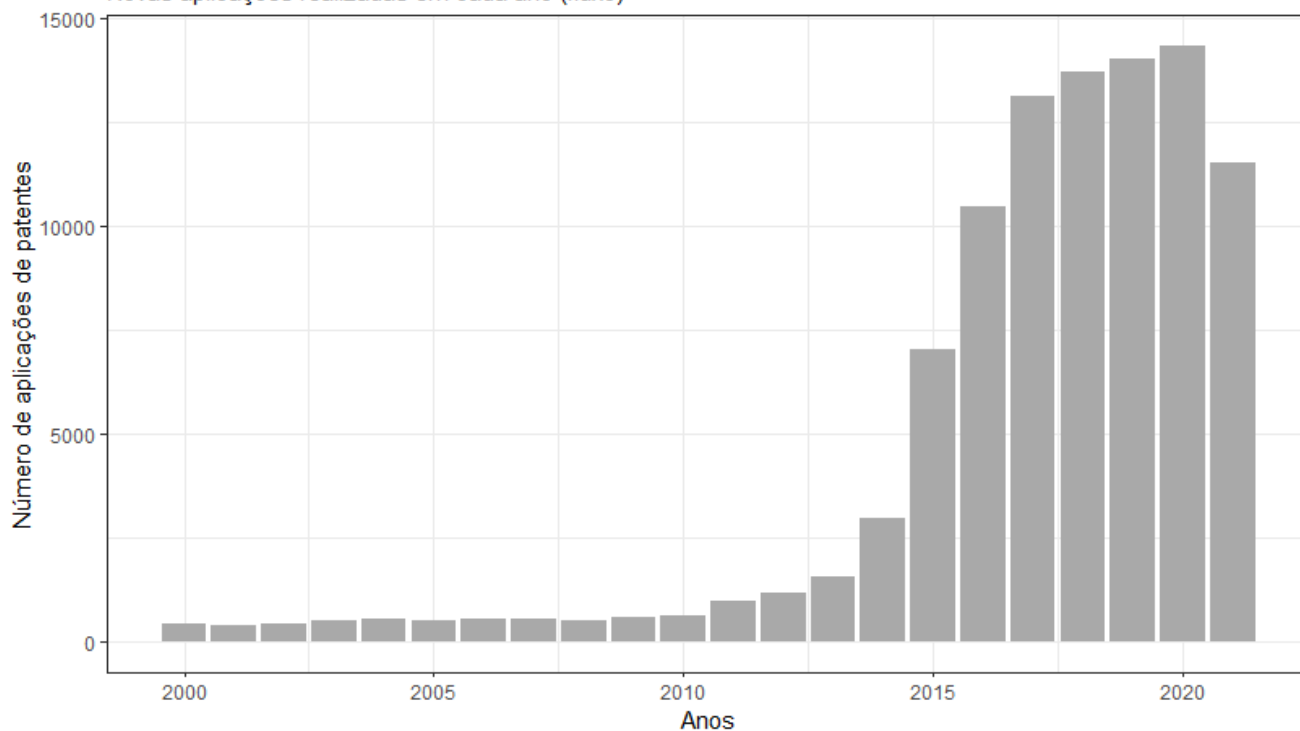
Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Quadro 4: Número de aplicações de patentes referentes a IA por empresa (2000-2021). Autoria própria.

Considera-se a área de *additive manufacturing* como o cerne da produção dinâmica dentro da Indústria 4.0. Dado o aumento da complexidade e customização de objetos, mecanismos de impressão 3D são capazes de aumentar a quantidade e qualidade da produção. Destaca-se o ano de 2015 como o estopim da *additive manufacturing*, dado um aumento de 136% no número de aplicações em relação ao ano anterior. O setor apresentou 106.393 aplicações de novas patentes nos últimos 20 anos.

Número de aplicações de patentes relacionadas a Impressão 3D por ano (2000-2021)

Novas aplicações realizadas em cada ano (fluxo)



Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Gráfico 6: Número de aplicações de patentes referentes a *additive manufacturing* por ano (2020 – 2021). Autoria própria.

Nota-se a presença de empresas líderes como Hewlett-Packard e General Electric, firmas com experiência prévia no setor de impressão gráfica. Essa dinâmica ilustra como o conhecimento e gastos em P&D são acumulados por firmas e podem ser traduzidos em outros setores. Ademais, destaca-se a presença de três universidades chinesas de províncias distintas.

Maiores aplicantes de patentes referentes a impressão 3D

Os dez maiores são apresentados

Aplicantes	Nacionalidade	Nº de aplicações de patentes
HP	United States	1742
General Electric	United States	1232
Siemens	Germany	997
Seiko Epson	Japan	493
United Technologies	United States	482
Ricoh Company	Japan	442
Huazhong University	China	413
Xi'An Jiaotong University	China	387
South China University	China	386
Boeing	United States	382

Fonte: Dados coletados no PatentScope. Feito pelos autores

Quadro 4: Número de aplicações de patentes referentes a *additive manufacturing* por empresa (2000-2021).
Autoria própria.

5. Estratégia Empírica

A base de dados final inclui informações de 44 economias, os 38 países membros da OCDE, além da Argentina, China, Chile, Estônia, Israel, Romênia, Rússia, Singapura, Eslovênia, África do Sul, Latvia, Letônia, Colômbia e Taiwan, num escopo temporal de 2000 até 2021. Inclui-se esses países devido a disponibilidade de dados relacionados à pesquisa e desenvolvimento no banco de dados da OCDE, além dos mesmos comporem mais de 95% das patentes registradas na base de dados final. Das 981.258 patentes analisadas, estas retiradas da base de dados original contendo informações fornecidas pela WIPO, é enriquecida com dados de localização de patentes aplicadas via PCT utilizando a base de estatísticas de patentes da OCDE, a OECD REGPAT. Assim, localiza-se os inventores de 116.664 patentes a nível nacional, totalizando 357.089 endereços.

Para analisar os determinantes do processo de inovação a nível nacional, agrega-se o número de inventores por país e adapta-se o modelo de *Knowledge Production Function* (KPF), proposto por Griliches (1979). O framework KPF permite uma unidade de análise nacional e avalia o conhecimento como output, podendo ser mensurado por qualquer indicador de inovação, se relaciona com dois inputs: gastos do setor privado em P&D e participação da educação terciária em P&D. Ademais, seguindo a literatura de indústria 4.0, avalia-se a suposição que, conforme a indústria 4.0 avança, Estados passam a depender mais de mão de obra altamente qualificada. Assim, utiliza-se uma proxy de produtividade, mensurada em PIB gerado por trabalhador por hora trabalhada. Deste modo, testa-se 3 hipóteses:

H1: Países com maiores gastos em P&D do setor privado apresentam mais atividades inovadoras.

H2: Países com maiores gastos em P&D da educação terciária apresentam mais atividades inovadoras.

H3: Economias mais produtivas são mais capazes de comportar novas tecnologias da indústria 4.0, levando a mais atividades inovadoras.

Como variável dependente, utiliza-se a contagem de inventores de patentes da indústria 4.0 por país. Como variáveis independentes, considera-se gastos realizados pelo setor privado (SP) e gastos realizados por universidades (UNI), seguindo premissas da literatura. Ambas as métricas foram coletadas da OCDE, medidas em porcentagem do PIB e gastos em Paridade de Poder de Compra. A OCDE define o setor privado (SP) como empresas, institutos privados e públicos que atendem a essas empresas. Já a educação terciária é composta por todas as universidades, faculdades de tecnologia e outras instituições que oferecem programas formais de ensino superior, incluindo institutos de pesquisa, centros e clínicas que tenham as suas atividades de P&D sob o controle direto de uma instituição de ensino superior. Para mensurar a produtividade de uma economia e sua consequente participação em atividades inovadoras na indústria 4.0, replica-se a análise utilizada por Strange e Zucchella (2017), utilizando o PIB produzido por hora trabalhada (PIB_hora), medido em dólares e preços constantes tendo 2010 como o ano base. Estes dados foram obtidos do banco de dados da OCDE.

Também é incluída uma série de controles listados dentro da literatura como possíveis preditoras do processo de inovação. Martin et al (2017) argumentam que o Investimento Direto Estrangeiro (IED) pode fomentar a formação de conhecimento local, promovendo o desenvolvimento de novas tecnologias. Utilizando dados do Banco Mundial, cria-se uma variável de IED utilizando fluxos de investimentos para dentro dos países analisados entre os anos de 2000 e 2021. Anselin et al (2005) reconhecem que a criação de conhecimento também está correlacionada com a empregabilidade dentro de centros de P&D. Conforme os autores, considera-se o número de pesquisados de P&D por 1000 trabalhadores (P&D_personel) como uma medida de mão de obra aplicada em processos de inovação. Os dados são retirados da OCDE. Por fim, inclui-se o PIB nominal dos países analisados como uma medida de controle para a disparidade de tamanho dos países.

Com isso, o modelo é representado com a seguinte equação:

$$INV = \log(UNI) + \log(SP) + \log(IED) + \log(P\&D_personel) + \log(PIB_hora) + \log(PIB_nom) + \epsilon$$

Na qual a variável dependente, INV representa o número de inventores de patentes da indústria 4.0 por país. As variáveis UNI e SP representam gastos em P&D realizados por universidades e pelo setor privado respectivamente. Também considera-se fluxos de Investimento Direto Estrangeiro direcionados para o interior do país com a variável IED. P&D_personel representa o número de trabalhadores de P&D por 1000 trabalhadores. Controla-se o tamanho das economias utilizando seu PIB nominal, representado pela variável PIB_nom.

6. Resultados

Utilizando dados em painel, estima-se o efeito das variáveis utilizando um modelo de efeitos fixos, controlando por país e por ano. O resultado é um modelo que analisa o impacto de gastos do setor privado e da educação terciária como porcentagens do PIB. Replicamos o mesmo modelo sem os Estados Unidos e a China, considerando que ambos representam outliers em relação ao PIB nominal. Aplica-se um lag temporal de um ano no modelo, considerando que o processo de pesquisa e inovação podem demorar anos para se consolidarem. Griliches (1979) afirma que, embora difícil de metrificar o impacto separado de contribuições anuais de P&D, considerando que anos de investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias estão correlacionados. O autor também considera que, conforme autores intensificam seus gastos em P&D, os mesmos aumentam seu estoque de conhecimento e facilitam o processo de inovação posterior.

Ambas as medidas de PIB nominal e gastos em P&D realizados pelo setor privado apresentam significância estatística, enquanto a medida de produtividade e gastos em P&D realizados pela educação terciária não foram significantes. Assume-se que a ausência de significância estatística pode estar correlacionada com: (a) o desenvolvimento extremamente recente de tecnologias relacionadas a indústria 4.0; (b) o tempo de maturação de um investimento em uma tecnologia da indústria 4.0 é significativamente menor do que o tempo de um investimento em P&D generalizado. Com esses

resultados, confirma-se a relação positiva entre inovação e gastos em P&D realizados pelo setor privado, enquanto rejeito H2 e H3.

Table 1: Regression Results

	<i>Dependent variable:</i>
	Number of Inventors per Country
lag_HERD_percent	-0.034 (0.026)
lag_BERD_percent	0.141*** (0.039)
lag_GDP_nominal	0.505*** (0.066)
lag_FDI_new	0.001 (0.013)
lag_RD_personel	0.014 (0.034)
lag_GDP_perHour	0.008 (0.011)
Observations	738
R ²	0.175
Adjusted R ²	0.117
F Statistic	24.351*** (df = 6; 689) (p = 0.000)
<i>Note:</i>	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Table 2: Regression Results (without US and China)

	<i>Dependent variable:</i>
	Number of Inventors per Country
lag_HERD_percent	-0.085 (0.066)
lag_BERD_percent	0.351*** (0.098)
lag_GDP_nominal	0.896*** (0.116)
lag_FDI_new	0.002 (0.028)
lag_RD_personel	0.034 (0.086)
lag_GDP_perHour	0.021 (0.028)
Observations	736
R ²	0.175
Adjusted R ²	0.120
F Statistic	24.351*** (df = 6; 689) (p = 0.000)
<i>Note:</i>	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Também é reportado que não há uma interação significativa entre nossa variável dependente e outras variáveis de controle mencionadas na literatura, como a quantidade de trabalhadores de P&D, possivelmente indicando que a qualidade desses trabalhadores pode ser mais relevante que sua

quantidade. A significância estatística apresentada pelo coeficiente de PIB nominal comprova pressupostos da literatura que indicam que o processo inovativo é altamente custoso, podendo ser realizado com mais facilidade por grandes economias. Finalmente, argumenta-se que, a ausência de significância estatística em relação ao coeficiente de IED indica que a formação de conhecimento pode ocorrer com maior intensidade dentro do cenário nacional.

7. Conclusão

Utilizando dados da *World Intellectual Property Organization*, este artigo conduz uma análise exploratória e destaca os principais agentes nacionais e privados no contexto da inovação dentro das grandes áreas da Indústria 4.0: IoT, Big Data, *Additive Manufacturing*, Inteligência Artificial e Robótica. Observa-se um crescimento generalizado no número de aplicações de patentes em todas as grandes áreas a partir de 2015 e a consolidação de dois mecanismos: (I) uma competição indireta entre China e Estados Unidos pelo domínio tecnológico dentro de áreas da Indústria 4.0; (II) fortalecimento do regime de propriedade privada internacional com o Tratado de Cooperação de Patentes (PCT).

Assumindo que, dentro de um *framework* KPF, a inovação no nível nacional resulta de insumos de conhecimento, como gastos em P&D realizados pelo setor privado e pela educação terciária, presença de mão de obra qualificada e investimentos estrangeiros, testando esse *framework* no contexto da Indústria 4.0. Encontra-se uma relação positiva entre gastos em P&D realizados pelo setor privado e o número de inventores em um país, corroborando achados prévios da literatura. Também é encontrada uma relação positiva entre PIB nominal e número de inventores, indicando que economias mais robustas conseguem arcar com os custos de inovação. Em resumo, neste artigo identifica os principais players dentro da fronteira da tecnologia e avalia se a fronteira tecnológica da indústria 4.0 pode ser explicada por determinantes nacionais do processo de inovação.

Este paper contribui para a delimitação da Indústria 4.0, sendo um termo pouco definido na literatura. Também explora-se dados pouco analisados da WIPO e identifica-se *players* inovadores dentro de áreas relevantes como IA e Robótica. No entanto, um dos pontos de melhoria do artigo é a obtenção de mais endereços de patentes e a inclusão de regressões espaciais, de modo a identificar possíveis *clusters* de inovação dentro da Indústria 4.0. A inclusão de modelos com outras estratégias para lidar com *outliers* como Estados Unidos e China, além de modelos com *lags* temporais mais extensos podem contribuir para a robustez dos achados neste artigo.

Referências

ACS, Zoltan J.; ANSELIN, Luc.; VARGA, Attila. **Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge**. *Research Policy*, v. 31, n. 7, p. 1069–1085, set. 2002.

ARTHUR, W. Brian. **The structure of invention**. *Research Policy*, v. 36, n. 2, p. 274–287, mar. 2007.

BOEING, Philipp.; HÜNERMUND, Paul. **A global decline in research productivity? Evidence from China and Germany**. *Economics Letters*, v. 197, p. 109646, dez. 2020.

DILBEROGLU, Ugur. et al. **The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0**. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 545–554, 2017.

DOSI, Giovanni. **Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation.** Journal of Economic Literature, v. 36, n. 3, p. pp. 1120-1171, 1988.

DURAND, Cédric; MILBERG, William. **Intellectual monopoly in global value chains.** Review of International Political Economy, v. 27, n. 2, p. 1–26, 5 set. 2019.

ERNST, Dieter; KIM, Linsu. **Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation.** Research Policy, v. 31, n. 8-9, p. 1417–1429, dez. 2002.

FURMAN, Jeffrey L.; PORTER, Michael E.; STERN, Scott. **The determinants of national innovative capacity.** Research Policy, v. 31, n. 6, p. 899–933, ago. 2002.

GEREFFI, Gary; HUMPHREY, John.; STURGEON, Timothy. **The Governance of Global Value Chains.** Review of International Political Economy, v. 12, n. 1, p. 78–104, fev. 2005.

Glossary. Disponível em: <<https://www.uspto.gov/learning-and-resources/glossary>>.

GRILICHES, Zvi. **Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth.** The Bell Journal of Economics, v. 10, n. 1, p. 92, 1979.

HU, Albert.; ZHANG, Peng; ZHAO, Lijing. **China as number one? Evidence from China's most recent patenting surge.** Journal of Development Economics, v. 124, p. 107–119, jan. 2017.

Industrial Property Statistics Glossary. Disponível em: <<https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/glossary.html>>.

SCHUMPETER, Joseph. **Capitalismo, socialismo e democracia.** Rio De Janeiro (Rj): Zahar Editores, 1984.

LI, Xibao. **Behind the recent surge of Chinese patenting: An institutional view.** Research Policy, v. 41, n. 1, p. 236–249, fev. 2012.

LUNDVALL, Bengt-Ake. **Innovation as an interactive process: From user-producer interaction to national systems of innovation.** African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, p. 61–84, 1 jan. 2010.

MALERBA, Franco; ORSENIGO, Luigi. **Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities.** Industrial and Corporate Change, v. 6, n. 1, p. 83–118, 1 jan. 1997.

MARTIN, Roman. **Regional Innovation Systems and Global Flows of Knowledge**. New Avenues for Regional Innovation Systems - Theoretical Advances, Empirical Cases and Policy Lessons, p. 127–147, 2018.

MARTINELLI, Arianna; MINA, Andra; MOGGI, Massimo **The Enabling Technologies of Industry 4.0: Examining the Seeds of the Fourth Industrial Revolution**. SSRN Electronic Journal, 2020.

NELSON, Richard.; WINTER, Sidney. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Southern Economic Journal, v. 50, n. 2, p. 590, out. 1983.

PAGANO, Ugo. **The crisis of intellectual monopoly capitalism**. Cambridge Journal of Economics, v. 38, n. 6, p. 1409–1429, 4 ago. 2014.

TIGRE, Paulo. **Paradigmas Tecnológicos e Teorias Econômicas da Firma**. Revista Brasileira de Inovação, v. 4, n. 1, p. 187–187, 18 ago. 2009.

PAVITT, Keith. **Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory**. Research Policy, v. 13, n. 6, p. 343–373, dez. 1984.

PERES, Ricardo. et al. **Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook**. IEEE Access, v. 8, p. 220121–220139, 2020.

RIKAP, Cecilia. **From global value chains to corporate production and innovation systems: exploring the rise of intellectual monopoly capitalism**. Area Development and Policy, p. 1–15, 14 fev. 2022.

STRANGE, Roger; ZUCHELLA, Antonella. **Industry 4.0, global value chains and international business**. Multinational Business Review, v. 25, n. 3, p. 174–184, 18 set. 2017.

STURGEON, Timothy. **Modular production networks: a new American model of industrial organization**. Industrial and Corporate Change, v. 11, n. 3, p. 451–496, 1 jun. 2002.

XU, Li. D.; XU, Eric.; LI, Ling. **Industry 4.0: state of the art and future trends**. International Journal of Production Research, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 9 mar. 2018.

