



Efeitos das Tecnologias Digitais no Desempenho Inovador das Empresas: evidências empíricas para o Brasil

Ana Paula Macedo de Avellar¹, Jorge Nogueira de Paiva Britto², Flávio José Marques Peixoto³, Leandro Dias Gomes de Carvalho⁴, João Carlos Ferraz⁵, Marina Szapiro⁶

Resumo: A literatura sugere que tecnologias digitais específicas podem influenciar o desempenho inovativo empresarial, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. O objetivo do artigo é estimar a probabilidade de as empresas brasileiras industriais inovarem em produto e em processo de negócios tanto em função da adoção de tecnologias específicas quanto pelo uso conjunto tecnologias digitais (Big Data, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Manufatura Aditiva, Robotização). Para a realização desse estudo foi utilizada uma base de dados constituída pela PINTEC Semestral (“*Tecnologias Digitais Avançadas, Teletrabalho e Cibersegurança*” e Indicadores Básicos) de 2022 e pela PIA de 2022. Esse artigo dá uma contribuição original para a literatura: utiliza uma base de informações de qualidade e representativa do universo empresas industriais brasileiras com 100 empregados ou mais, e testa a relação entre a adoção de ao menos uma tecnologia digital, *vis a vis* o uso combinado de um conjunto de seis tecnologias digitais e seus efeitos sobre inovação. Quanto ao uso das tecnologias digitais pelas empresas inovadoras é possível observar que as empresas que realizaram inovação de produto e/ou processo adotam com mais frequência o uso da tecnologia de computação em nuvem, seguida pela internet das coisas e pela robótica. Os resultados encontrados apontam que as tecnologias digitais, quando utilizadas de maneira combinada, geram efeitos positivos e significativos na probabilidade de as empresas inovarem em produto e/ou processo e inovarem em produto e processo.

Palavras-chave: Tecnologias Digitais; Inovação; PINTEC.

Código JEL: O30, O54.

Área Temática: 1.6 Novos temas - Indústria 4.0, Internet das coisas, outros.

Effects of Digital Technologies on the Innovative Performance of Companies: Empirical Evidence for Brazil

Abstract: The literature suggests that specific digital technologies can influence innovative business performance in both developed and developing countries. The aim of this article is to estimate the probability of Brazilian industrial companies innovating in products and business processes, both as a result of adopting specific technologies and by using a combination of digital technologies (Big Data, Cloud Computing, Artificial Intelligence, the Internet of Things, Additive Manufacturing, Robotics). To conduct this study, a database was used, consisting of the 2022 Semestral PINTEC (“Advanced Digital

¹ Professora Titular do Instituto de Economia e Relações Internacionais da UFU. E-mail: anaavellar@ufu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8455-9458>

² Professor Associado da UFF. E-mail: britto.jorge@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0730-4958>

³ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Coordenação de Pesquisas Estruturais e Temáticas em Empresas – CESET. Gerência de Pesquisas Temáticas – GEPET. E-mail: flavio.peixoto@ibge.gov.br. ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-8625-9120>

⁴ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Coordenação de Pesquisas Estruturais e Temáticas em Empresas – CESET. E-mail: leandro.dias@ibge.gov.br. ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-0649-4944>

⁵ Professor Titular do Instituto de Economia da UFRJ. E-mail: jeferraz@ie.ufrj.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5980-2591>

⁶ Professora Associada do Instituto de Economia da UFRJ. E-mail: marina@ie.ufrj.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4549-1192>

Technologies, Remote Work, and Cybersecurity” and Basic Indicators) and the 2022 Annual Industrial Survey. This article develops an original contribution to the literature: it uses a quality database and representative of the universe of Brazilian industrial companies with 100 or more employees and tests the relationship between the adoption of at least one digital technology, vis-à-vis the combined use of a set of six digital technologies and their effects on innovation. Regarding the use of digital technologies by innovative companies, it is observed that companies that engaged in product and/or process innovation more frequently adopted cloud computing technology, followed by the Internet of Things and robotics. The results found indicate that digital technologies, when used in combination, have positive and significant effects on the probability of companies innovating in products and/or processes and innovating in both products and processes.

Keywords: Digital Technologies, Innovation, PINTEC.

1. Introdução

Diversos estudos empíricos internacionais vêm encontrando evidências de que as tecnologias digitais influenciam a inovação e o desempenho empresarial tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento (Luo, 2023; Zhou et al, 2023; Chen et al, 2024). No entanto, pesquisas sobre os efeitos da adoção de tecnologias digitais na inovação e no desempenho das empresas, considerando um diverso conjunto de tecnologias digitais ainda são incipientes. Ao analisar esses trabalhos, constata-se a utilização de diferentes indicadores para mensurar a capacitação digital das empresas, referenciando-a a diferentes tipos de tecnologias. Além disso, é possível identificar uma ampla diversidade de indicadores de desempenho para mensurar os efeitos das tecnologias digitais, que abarcam resultados inovativos (inovação de produto, inovação de processo e patente), bem como resultados financeiros e indicadores de produtividade.

Dentro desse debate, o objetivo do artigo é estimar a probabilidade de as empresas brasileiras industriais inovarem em produto e em processo de negócios tanto em função da adoção de tecnologias específicas quanto pelo uso conjunto tecnologias digitais (Big Data, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Manufatura Aditiva, Robotização). O artigo pretende contribuir para o debate sobre adoção de tecnologias digitais e esforços inovativos de empresas industriais. Diversas pesquisas recentes exploraram os efeitos de tecnologias digitais específicas isoladas no desempenho e na inovação das empresas ou, alternativamente, os efeitos da adoção de tecnologias digitais num nível muito geral. No entanto, a análise comparativa dos efeitos da adoção de tecnologias digitais na inovação empresarial tomando como base tecnologias digitais específicas em comparação com um conjunto mais amplo de tecnologias digitais específicas (ou seja, um portfólio de tecnologias digitais) ainda é pouco investigado.

Para a realização desse estudo empírico foi utilizada uma base de dados constituída a partir de dois ciclos da Pesquisa de Inovação Semestral – PINTEC Semestral: Indicadores Temáticos “*Tecnologias Digitais Avançadas, Teletrabalho e Cibersegurança*” e, Indicadores Básicos (sobre conduta inovativa das empresas, ambos referentes ao ano base 2022. Para tanto, construiu-se uma base de empresas comuns (1.435 empresas industriais) a estes dois ciclos de pesquisa e com informações selecionadas da Pesquisa Industrial Anual – PIA 2022. A análise empírica desse estudo está dividida em duas etapas. A primeira etapa consiste na análise descritiva para extrair evidências acerca do comportamento das empresas quanto à inovação e ao grau de digitalização. A segunda etapa do estudo de natureza econométrica, com estimação de modelos probabilísticos (probit), tem como objetivo associar a capacidade inovativa aos esforços em digitalização.

Esse artigo traz uma contribuição original para a literatura: utiliza uma base de informações de qualidade e representativa do universo empresas industriais brasileiras com 100 empregados ou mais, e testa a relação entre a adoção de ao menos uma tecnologia digital, *vis a vis* o uso combinado de um conjunto de seis tecnologias digitais e seus efeitos sobre inovação.

O artigo está dividido em cinco seções, além desta breve Introdução. Na seção dois é apresentada a revisão da literatura teórica e conceitual, bem como da literatura empírica. A seção três apresenta a base de dados, as variáveis utilizadas no modelo econométrico e o método de estimação. Na seção quatro são apresentados os resultados da análise empírica. Inicialmente caracteriza-se a amostra de empresas do estudo por meio de estatística descritiva, e em seguida, estão descritos os resultados dos modelos probabilísticos. Por fim, a quinta seção organiza as considerações finais do estudo.

2. A influência de tecnologias digitais no desempenho inovativo

2.1. A literatura teórica e conceitual

Dentre os estudos que analisam os efeitos de tecnologias digitais sobre o desempenho inovativo das

empresas, é possível distinguir dois grupos de tecnologias digitais, com base na sua relação com o processo de inovação (Li et al, 2023). O primeiro grupo compreende tecnologias físicas relacionadas com o processo de produção e o desenvolvimento da inovação em si, enquanto o segundo grupo inclui tecnologias intangíveis baseadas em dados que cobrem horizontalmente as funções de negócio e apoiam indiretamente o processo de inovação. Estas tecnologias caracterizam-se por fortes complementaridades, uma vez que a sua adoção se relaciona com a incorporação de sistemas complexos que integram elementos tangíveis e intangíveis inter-relacionadas. A mera adoção de tecnologias digitais não implica, necessariamente, mais inovações nas empresas, fazendo com que a presença de uma relação direta e inquestionável da transformação digital com o desempenho inovativo seja controversa (Usai et al, 2021). É possível supor que a transformação digital tem o potencial de impactar diferentes fases do processo de inovação de formas complexas e causalmente ambíguas, devido à vasta gama de tecnologias facilitadoras e às múltiplas formas como as mesmas podem influenciar o desempenho dos processos, produtos e serviços.

A digitalização implica transformações que ocorrem através de múltiplos canais (Jung e Gómez-Bengoechea, 2022) e vários estudos indicam que adoção de tecnologias digitais pode melhorar o desempenho das empresas em vários aspectos (Luo, 2023). À digitalização estão associados ganhos de desempenho em termos de redução de custos e novas oportunidades de receitas, incrementos de produtividade e até a emergência de novos modelos de negócio. Porém, por detrás destes eventos estão processos de mudança, de inovação. A digitalização, então, poderia afetar a amplitude e a velocidade com que ocorre a inovação, reforçando a capacidade de uma empresa acelerar a modernização de processos e o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Na análise desses impactos, Blichfeldt et al (2021) distinguem entre amplitude e profundidade de adoção das tecnologias digitais. O conceito de amplitude reflete se uma tecnologia foi adotada ou não, enquanto o conceito de profundidade avalia até que ponto o potencial de uma tecnologia foi efetivamente utilizado em toda a sua extensão, favorecendo a construção de um conhecimento mais profundo em torno da mesma, o que pode retroalimentar as trajetórias de inovação

Segundo Nwankpa e Roumani (2016), a transformação digital permite que as organizações tirem partido da ligação generalizada de pessoas, dados, informações e conhecimento, favorecendo a modularização de processos, o que possibilita introduzir novas práticas nas operações produtivas e na cadeia de fornecedores, viabilizando maior flexibilidade e eficiência operacional. Para Liu et al (2023), por outro lado, a inovação constitui um fator impulsionador da transformação organizacional em função de duas características definidoras, associadas às noções de convergência e *generatividade*. A noção de convergência refere-se à presença de uma arquitetura tecnológica aberta que acumula informações de múltiplas fontes e permite a participação de múltiplas partes, reunindo produtos, serviços e até indústrias anteriormente separadas (Yoo et al., 2012). A noção de *generatividade*, por sua vez, refere-se a uma “capacidade global para produzir mudanças espontâneas, impulsionadas por audiências grandes, variadas e descoordenadas” (Zittrain, 2006), operando como tecnologia facilitadora, que contribui para a geração de novos produtos, processos e serviços (Kohli e Melville, 2019). Em especial, diversas tecnologias digitais baseiam-se na reprogramação e na homogeneização de dados, que criam um ambiente de “acessibilidade aberta e flexível” (Yoo et al., 2012), onde a noção de “acessibilidade” (*affordance*) refere-se à natureza combinatória e distribuída das tecnologias digitais, que faz com que o seu potencial possa ser explorado propositadamente por uma organização.

Segundo Zhou et al (2023), os estudos que investigam a relação entre a adoção de tecnologias digitais e a performance inovativa das empresas podem ser divididas em dois grandes campos. O primeiro deles é baseado em uma tecnologia digital específica, contemplando seus efeitos na inovação das empresas, como Blockchain (Wan, Gao e Hu 2022) e Big Data (Ciampi et al. 2021). Outra categoria de estudos baseia-se numa perspectiva abrangente e integrada das tecnologias digitais (Blichfeldt e Faullant, 2021; Usai et al., 2021). No entanto, muitos desses estudos centram-se no efeito direto das tecnologias de base digital na performance inovativa das empresas, enquanto os mecanismos de mediação subjacentes a esse efeito em geral não são discutidos adequadamente. Zhou et al (2023) argumentam que a base de conhecimento desempenha um papel importante no processo de inovação das empresas impulsionado por tecnologias

digitais, operando como um mecanismo de mediação que reflete um maior nível de capacitação capaz de favorecer a adoção de tecnologias digitais.

Kastelli et al (2022) ressaltam que as tecnologias digitais emergentes melhoram/aceleram a inovação através da transformação organizacional, incluindo mudanças nas estruturas organizacionais, o uso de mídias sociais e plataformas digitais para interagir com os usuários, a abertura de novos canais de vendas e a consolidação de novos modelos de negócio (Scuotto et al. 2022). Segundo Kastelli et al (2022), para que as empresas realizem a transformação digital, é necessário desenvolver a sua capacidade digital, o que engloba esforços para integrar e utilizar ativamente as tecnologias digitais, transformando as suas funções e desenvolvendo os seus recursos humanos para adotar e tirar partido dessas tecnologias. Considerando a capacidade de absorção como mediadora entre capacidade digital e o desempenho inovativo, é possível recorrer à análise de Cohen e Levinthal (1990), que conceberam a capacidade de explorar o conhecimento externo como aspecto crítico para o desempenho inovador. Destaca-se, nesta perspectiva, o papel do conhecimento prévio e da intensidade de esforços na resolução de problemas e na interação com fontes externas de conhecimento. Segundo Li et al (2023), diversos estudos sugerem que as empresas com maior capacidade de absorção podem muitas vezes obter benefícios mais inovadores com o uso de tecnologias digitais. Usai et al (2021) argumentam que a capacidade de absorção pode ser considerada como uma capacidade organizacional essencial para viabilizar a adoção de tecnologias digitais e aumentar o seu efeito positivo no desempenho inovativo. Para Heredia et al (2022), as capacidades dinâmicas digitais complementam outras capacidades, apresentando uma relação positiva com o desempenho inovativo da empresa.

Usai et al (2021) assumem uma postura crítica em relação a diversos estudos que identificam um efeito positivo das tecnologias digitais para a inovação (Boeker et al., 2019; Verstegen, Houkes e Reymen, 2019), ressaltando que muitos destes estudos baseiam-se em análises qualitativas (Brock e von Wangenheim, 2019; Warner e Wager, 2019; Galindo-Martín, Castano-Martínez e Mendez-Picazo, 2019; Urbinati et al., 2020), em vez de testes empíricos mais robustos. Contrapondo-se a essa visão dominante, Usai et al (2021) argumentam que, embora a evidência anedótica sugira que as tecnologias digitais podem aumentar a eficiência e a produtividade no curto prazo, elas podem ter consequências negativas graves na aprendizagem e nas capacidades relacionais. Em especial, sugerem que as propriedades generativas e combinatórias das tecnologias digitais são potencialmente inibidoras da inovação porque estão associadas ao conhecimento codificado, reutilizável e imitável. Além disso, argumentam que estudos anteriores não diferenciam o impacto de cada grupo de tecnologias digitais no desempenho inovativo, assumindo uma posição reducionista, pois, em geral, estudam apenas o efeito de uma tecnologia digital específica, não investigando também se e como tais tecnologias interagem com diferentes padrões de realização das atividades de P&D. O argumento de Usai et al (2021) também é reconhecido por Kastelli et al (2022), para quem o foco no estímulo do desempenho inovador deveria residir no desenvolvimento de fontes de conhecimento únicas de cada empresa, quer internamente, quer em colaboração com outros agentes. Na mesma direção, Heredia et al (2022) argumentam que as tecnologias digitais podem atuar como reconfiguradoras de capacidades e recursos dentro de uma organização e que, dado esse papel, as mesmas não necessariamente afetam positivamente o desempenho inovador da empresa.

Chen et al (2024) argumentam que a digitalização tem um impacto potencialmente significativo nas práticas de inovação das empresas em países emergentes. Nesse sentido, três influências principais são mencionadas. Em primeiro lugar, estas tecnologias permitem superar as limitações de tempo e espaço, ligando recursos internos e externos através de plataformas digitais compartilhadas e abertas, injetando dinamismo no sistema de inovação empresarial. Em segundo lugar, as tecnologias digitais têm forte penetração e compatibilidade com outras tecnologias, aumentando a possibilidade de recombinação com reflexo no desempenho inovativo. Em terceiro lugar, a aplicação de tecnologias digitais pode aumentar a eficiência dos processos de desenvolvimento de novos produtos, melhorando a coordenação e a troca de conhecimentos entre os diferentes participantes, reduzindo assim o custo e o tempo das atividades de P&D e melhorando a qualidade do desenvolvimento de novos produtos. Chen et al (2024) também ressaltam que a inovação tecnológica e a P&D possuem atributos de bens públicos, exigindo uma intervenção política no

sentido do fornecimento de “guias” orientadores, como a concessão de subsídios. Isto incentiva os projetos de inovação das empresas a superar dificuldades, melhorando a sua capacidade de enfrentar o risco (Ivanov, Dolgui & Sokolov, 2019).

Na discussão dos impactos de tecnologias digitais sobre o processo de inovação Urbinati et al (2022) ressaltam que a maioria das pesquisas considera a “inovação digital” como o resultado final da adoção de tecnologias digitais, a qual seria incorporada em novos produtos, processos, serviços ou modelos de negócios. Paralelamente a esta investigação sobre a inovação digital como “resultado”, é possível conceber o conceito de inovação digital como um “processo” organizacionalmente delimitado, articulando capacidades de inovação, estruturas organizacionais e gestão tecnológica nas organizações. Segundo Radicic e Petkovic (2023), a implementação de tecnologias digitais pode afetar qualquer fase dos processos de inovação, desde os insumos desse processo (tais como despesas em P&D e outros investimentos em inovação) até aos resultados obtidos (por exemplo, inovações de produtos e processos). Além disso, a digitalização pode apoiar o desenvolvimento e a aquisição de novas habilidades, competências e conhecimentos, que, por sua vez, podem levar a novos produtos e processos (Nambisan et al., 2020). A digitalização melhora o acesso ao conhecimento existente e fornece novos conhecimentos, através, por exemplo, da análise de Big Data, ampliando a capacidade de absorção das empresas e, consequentemente, aumentando a probabilidade de geração de novos produtos e processos (Agostini et al., 2020). Urbinati et al (2022) destacam vários aspectos que distinguem um processo de inovação “transformado digitalmente” de um processo “não digital”.

Massini et al (2024) ressaltam que, mais recentemente, estudos têm também procurado discutir as relações entre a adoção de tecnologias digitais ao nível da empresa e a produtividade. Em particular, argumenta-se que a adoção de novas tecnologias traz ganhos de produtividade, mas, historicamente, tem sido observado um “paradoxo da produtividade”, originariamente associado à adoção de tecnologias de informação e comunicação (TIC) na década de 1990, mas que poderia ser expandido para novas tecnologias de base digital, como a Inteligência Artificial (Brynjolfsson et al., 2021). A OCDE (2023) sugere um impacto modesto na produtividade, enquanto Benassi et al. (2022) concluem que a produtividade das empresas está positiva e significativamente relacionada com o desenvolvimento de modernas tecnologias digitais, enquanto a rentabilidade das empresas não parece ser afetada. A análise de Gaglio et al (2022) se conecta ao debate em torno das complexas relações entre inovação, digitalização e produtividade. Parte, nesse sentido, da abordagem baseada em uma modelagem sequencial proposta por Crepon-Duguet-Mairesse (CDM) (1998) aplicada a investigações sobre inovação, discutindo a relação entre P&D, inovação e produtividade. Integra-se, nesse sentido, a outros estudos que procuraram alargar aquela modelização para avaliar o papel das TIC, e, eventualmente, das tecnologias digitais, como insumos para a inovação (Van Leeuwen e Farooqui, 2008; Polder et al., 2010; Aboal e Tacsir, 2018; Alvarez, 2016).

2.2. A literatura empírica

Os diversos estudos aplicados que, de alguma forma, discutem as relações entre a adoção de tecnologias digitais e o desempenho inovativo das empresas industriais, em geral, contemplam variáveis relacionadas às seguintes dimensões: (i) adoção de tecnologias de base digitais; (ii) inovação empresarial; (iii) fatores moderadores/ aceleradores da relação e, (iv) variáveis de controle. Esta seção identifica estudos recentes que discutem estes aspectos, os quais podem ser diferenciados em termos de objetivos, hipóteses, fontes de dados, metodologia e técnicas de abordagem.

O Quadro 1 apresenta uma sistematização não exaustiva de análises recente que abordam a relação entre a adoção de tecnologias de base digital e a performance inovativa de empresas industriais, as quais utilizam diferentes “proxies” para aferir a capacitação digital das empresas, referenciando-a a diferentes tipos de tecnologias. Apesar da maioria dos estudos apontar para uma relação positiva entre a adoção de tecnologias digitais e a performance inovativa, alguns apontam na direção contrária, enquanto outros destacam a presença de importantes fatores moderadores a serem considerados na análise dessa relação.

Quadro 1. Síntese de Resultados de Estudos Aplicados

Autor	Objeto	Base Informações	Variáveis Dependentes	Variáveis independentes	Variáveis Moderadoras	Metodologia	Resultados
Li et al (2023)	China	Stock Market Accounting Research (CSMAR) 8.709 observações	Nível de inovação corporativa captado por meio dos pedidos de patentes de invenção	Digitalização empresarial captada pela análise da frequência de palavras-chave nos relatórios anuais das empresas	nível regional de inovação da indústria digital	Modelos de Regressão com Efeito Fixo	Digitalização e nível de inovação da indústria digital têm impacto benéfico na inovação da empresa. Nível de inovação da indústria digital tem uma influência moderadora negativa no nível de digitalização da empresas.
Usai et al (2021)	Europa	Dados Eurostat. Duas fontes: Dados da CIS -2015 sobre inovação e pesquisa sobre uso de TIC, concentrada em informações sobre E - business	Tipos de grau de “radicalidade” de inovações	Uso de TIC como proxy para tecnologias digitais. Variável sobre o número de empresas que adotaram integração de processos internos, ou com clientes, fornecedores e cadeia de suprimentos, serviços de computação em nuvem, análise de big data, impressão 3D e robótica.	A variável associada a empresas inovação fechada ou aberta agrupa as empresas por P&D interno e externo	Análise de componentes principais (PCA) e da regressão múltipla multivariada (MANOVA) para explorações e modelos preditivos	Uso de tecnologias digitais não resulta um maior desempenho inovativo
Blichfeldt et al (2021)	Europa (Alemanha, Áustria, Suíça, Dinamarca, Holanda)	European Manufacturing Survey (EMS) 747 empresas de indústrias de tecnologias de processo	Inovação de Produto e Serviço. Retorno das vendas (ROS)	Amplitude e profundidade da adoção de 10 tecnologias de base digital diferentes		Matrizes de correlação entre variáveis	Impacto positivo da implementação de tecnologias digitais em inovação do produto e de serviços. O grupo de empresas Diferenças entre as empresas de acordo com seu nível de intensidade tecnológica
Ferreira et al (2019)	Portugal	Questionário via telefone aplicado a 938 empresas portuguesas	Adoção de novos processos digitais (não vs. sim); número de inovações em produtos, processos e serviços; volume de negócios	Importância que as empresas atribuem aos novos processos digitais		Modelo de regressão logística para estimar a probabilidade de um evento particular. Esta função foi linearizada através da transformação logit dos resultados da variável.	Alguns fatores específicos têm uma influência estatisticamente positiva na adoção de novos processos digitais
Gaglio et al (2022)	África do Sul	711 MPE industriais localizadas em Joanesburgo	1ª estágio: Inovação 2º estágio: Produtividade	1ª estágio: Tecnologias Digitais e Realização de P&D; 2ª estágio: Inovação	Adoção de Tecnologias Digitais (no 2º estágio)	Modelagem sequencial CDM adaptada para adoção de TIC. Mínimos quadrados de dois estágios (2SLS)	Adoção de TICs tem efeito positivo na inovação. Iovação condicionada à utilização destas tecnologias tem um efeito positivo na produtividade do trabalho
Álvarez (2016)	Chile	2.300 empresas (manufatura e serviços) em 2 versões da Encuesta Longitudinal de Empresas	1ª estágio: Decisão de Inovar 2º estágio: Produtividade	1ª estágio: Investimento em Tecnologias Digitais e Realização de P&D; 2ª estágio: Inovação		Modelagem sequencial CDM adaptada para adoção de TIC. Regressão em três fases	TIC contribuem positivamente para a inovação Investimento em TIC aumenta a produtividade diretamente Adoção de TIC melhora resultados da inovação, independentemente das medidas de inovação e das indústrias consideradas.
Radice e Petkovic (2023)	Alemanha	2854 PMEs de indústria e serviços <i>Mannheim Innovation Panel</i> (MIP)	Introdução de inovações de produto e processo (indicadores binários)	Três tipos de digitalização: - produção e logística; cadeias de valor digitais análise de Big Data	P&D interno	Modelo probit binário	Impacto da digitalização nas atividades de inovação é heterogêneo, dependendo do tipo de tecnologia e do tipo de inovação. Engajamento em P&D interno enfraquece os efeitos da digitalização
Kastelli et al (2022)	Grécia	1.014 empresas industriais	Inovação de produto, processo ou marketing (Var, binárias)	Tecnologias digitais 14.0 baseadas em produto (rotulada como PbT) e baseadas em gestão (MbT) Capacidade digital (rotulada como DC) combinando PbT e MbT	Capacidade de absorção	Modelagem de equações estruturais de mínimos quadrados parciais (PLS-SEM)..	Contribuição direta positiva da capacidade de absorção e, em menor grau, da capacidade digital para o desempenho inovativo. Papel mediador da capacidade de absorção no aprimoramento dos efeitos positivos da digitalização

Massini et al (2024)	Inglaterra	120 empresas em universos de 2.800 de Manchester Inquérito sobre a Adoção de Tecnologias e Competências Digitais (AdiTS); Motivações, Impactos e Competências	Consequências da adoção de DT na produtividade de uma empresa	Adoção de seis Tecnologias Digitais avançadas: - IA, Big Data, Computação em Nuvem, Impressão 3D, IoT e Robótica		Técnica de aprendizado de máquina Interações entre a adoção de Tecnologias Digitais, características das empresas e desempenho inovativo testada utilizando modelos de regressão logística.	Tecnologias Digitais apresentam forte complementaridade e são. A adoção de Tecnologias Digitais em PME e nas empresas mais jovens, em conjunto com a presença de competências adequadas, influencia significativamente os níveis de produtividade das empresas.
Cuin et al (2024)	Alemanha	1.100 PME do Painel de Inovação de Mannheim do Centro de Investigação Econômica Europeia	Desempenho inovador: no de tipos de inovações. Inovações de produto, processo, marketing e organizacional	Índice obtido usando a análise de componentes principais de 11 tecnologias digitais	Capacidade de absorção: análise de componentes principais de três proxies: i) intensidade de P&D ii) parcela da mão de obra em P&D; iii) a mão de obra qualificada (pós-graduação)	Estimativas probit multinomiais e multivariadas	Difusão digital é um gatilho positivo para a inovação nas PMEs. Capacidade de absorção modera a relação entre difusão digital e inovação apenas no caso da inovação de produtos e não para qualquer outro tipo de inovação. Evidências sugerem que as empresas com P&D e capital humano de alta qualidade fazem melhor uso das tecnologias digitais para inovar em produtos.
Brea (2021)	Austrália	197 respondentes em pesquisa telefônica de 15 minutos a partir de base de 807 empresas	Cinco medições diferentes para desempenho inovativo, de um ângulo diferentes	Quatro tipos de Tecnologias associadas à Inteligência Artificial: i) Análise avançada de dados ii) IA: uso de dados não estruturados; iii) Computação cognitiva; iv) Computação conversacional. Diferenciação entre Modos de Inovação : STI x DIU		Modelos de regressão logística (para inovação de produto, inovação de processo e inovação de modelo de negócio como variáveis dependentes) e modelos logísticos ordenados (para diversidade de inovação e radicalidade de inovação como variáveis dependentes).	Relação positiva e significativa entre o uso de tecnologias cognitivas e o desempenho inovador. Uso de tecnologias cognitivas modera positivamente o efeito do modo STI no desempenho da inovação de produtos
Chen et al (2024)	China	7505 empresas privadas cotadas em bolsa.	Número de patentes de invenção	Índice de transformação digital (Dt) e política de incentivo à inovação (Sub) Índices calculados a partir de rastreamento de citações em relatórios das empresas..		Rastreador Python, para análise de conteúdo relatórios das empresas Modelo de Regressão logística com testes de robustez	Transformação digital promove a inovação nas empresas privadas, com um efeito mais forte e em regiões economicamente desenvolvidas.; As políticas de incentivo à inovação desempenham um papel crucial no reforço do impacto da transformação digital na inovação.
Peng e Tao (2022)	China	China Stock Market & Accounting Research 1.578 amostras de empresas listadas, sendo 527 com transformação digital e 1.051 sem transformação digital	Retorno sobre ativos totais (ROA), Retorno sobre ativos líquidos (ROE) e Produção de inovação (Innovation)	Transformação digital (Digital) como variável independente principal		Regressão logística, com modelo de efeito fixo (EF) e modelo de efeito aleatório (RE).	Transformação digital melhorou muito o desempenho das empresas e pode estimular a inovação empresarial

Fonte: Elaboração dos autores.

3. A aproximação metodológica

3.1 A PINTEC Semestral

A base de dados utilizada nesse estudo é constituída a partir da Pesquisa de Inovação Semestral – PINTEC Semestral⁷. Essa iniciativa se propõe a realizar sete rodadas de consultas sobre inovação e temas correlatos a empresas brasileiras com 100 ou mais pessoas ocupadas nas indústrias extrativas e de transformação. Desde a segunda metade de 2022 foram realizados dois ciclos de pesquisa sobre inovação e uma sobre adoção de tecnologias digitais avançadas. Neste artigo se utiliza a pesquisa sobre digitalização e a segunda rodada de investigação sobre inovação, ambas tendo como período de referência o ano de 2022, anterior ao da coleta.

A PINTEC Semestral se propõe a divulgar resultados de forma tempestiva: a coleta tarda 3 meses e, ao seu término, também em igual período de três meses, os resultados são divulgados. Deste modo, com o intuito de fornecer informações rápidas e necessárias, não apenas sobre aspectos relacionados à conduta inovativa de curto prazo das empresas, mas também sobre sua atuação estratégica em relação a temas correlatos específicos, fez-se necessário que as investigações fossem desenhadas de forma que suas respostas pudessem ser obtidas de maneira clara, objetiva e rápida. Dessa forma, a PINTEC Semestral segue um sistema de coleta de autopreenchimento eficiente e, sobretudo, com questionários curtos, objetivos e autoexplicativos de forma a garantir o claro entendimento dos conceitos e definições investigados na pesquisa, garantindo, assim, a padronização necessária para o bom resultado estatístico.

Para garantir o cumprimento dos objetivos da PINTEC Semestral de fornecer informações relevantes e precisas de curto prazo, fez-se necessário delimitar o universo das empresas a serem investigadas. A delimitação do universo de empresas industriais foi feita de maneira a refletir o fenômeno estudado em função das atividades econômicas das empresas e, ao mesmo tempo, garantir que tal universo fosse suficientemente representativo para espelhar de forma acurada as características dos fenômenos investigados, no tempo de coleta e apuração planejados. Entendeu-se que o universo de empresas industriais com 100 ou mais pessoas ocupadas era a mais adequada para representar dimensões econômicas relevantes. De fato, de acordo com a Pesquisa Industrial Anual (PIA) de 2021, este conjunto de empresas representa 85,6% do total de valor de transformação industrial (VTI); 85,9% do total da receita líquida de vendas (RLV); 62,2% do total de pessoas ocupadas de toda a população de empresas extrativas e de transformação em 2021. Quantitativamente, porém, este mesmo conjunto representou apenas 2,8% do total de empresas industriais no mesmo ano. Além disso, segundo a pesquisa PINTEC 2017, essas empresas foram responsáveis por 85,7% do total dos dispêndios das empresas industriais em atividades inovativas em 2017; e por 95,1% do total dos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) das empresas com 10 ou mais pessoas ocupadas nas indústrias extrativa e de transformação.

Uma vez que o período de referência das estatísticas divulgadas na pesquisa é anual, no início de cada ano de referência, a amostra a ser investigada é atualizada para refletir a evolução do cadastro básico de seleção (CBS) do IBGE, a partir dos critérios definidos pela PINTEC Semestral⁸. Deste modo, identificou-se que, em 2022, havia 9.584 empresas ativas com 100 ou mais pessoas ocupadas nas indústrias extrativas e de transformação, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). Para representar este universo, a PINTEC Semestral utilizou a técnica de

⁷ A PINTEC Semestral (pintec.ibge.gov.br) é um projeto de pesquisa iniciado em dezembro de 2021 realizado em parceria entre o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O projeto tem duração de 48 meses e prevê a realização de sete ciclos de pesquisa. O objetivo da pesquisa é fornecer dados para a geração de indicadores de inovação e temáticas associadas, visando subsidiar o desenho, a implementação e o monitoramento de políticas públicas e estratégias empresariais.

⁸ Ver IBGE (2022).

amostragem estratificada, onde os estratos naturais foram definidos em função das atividades econômicas que compõem o âmbito da pesquisa. As empresas da indústria extrativa foram agrupadas em um único estrato natural, ao passo que as demais empresas classificadas na indústria de transformação foram alocadas em distintos estratos definidos pelo próprio código de divisão (2 dígitos) da CNAE resultando em 25 estratos naturais. Cada estrato natural foi dividido em um estrato certo, com empresas selecionadas para amostra com probabilidade 1, e um estrato amostrado, com empresas selecionadas aleatoriamente para a amostra, de acordo com o número de pessoas ocupadas.

No entanto, para aumentar a eficiência da amostra, em virtude do tempo reduzido de coleta na PINTEC Semestral, optou-se pela definição de pontos de cortes distintos para cada estrato natural, uma vez que a distribuição da variável “número de pessoas ocupadas” difere de acordo com a atividade econômica das empresas. O simples ponto de corte pelo tamanho de acordo com o número de pessoas ocupadas, por exemplo, 500 pessoas ocupadas, resultaria num tamanho de amostra maior do que a capacidade operacional disponível para a realização da pesquisa. Deste modo, foi adotado um método de estratificação de populações assimétricas, como é o caso da variável número de pessoas ocupadas, descrito em Hidiroglou (1986), que tem como objetivo fornecer o melhor ponto de corte para a determinação dos estratos (certo e amostrado) de modo a minimizar o tamanho da amostra em cada estrato natural para um nível de precisão relativa predeterminado. Assim, o tamanho da amostra da pesquisa foi dimensionado tanto para assegurar que o estimador do total da variável número de pessoas ocupadas em cada estrato natural tivesse um coeficiente de variação de 8% quanto para considerar taxas de perda pré-determinadas, de modo a garantir maior eficiência na gestão de coleta de cada estrato natural.

Dessa forma, para o ano de referência 2022, foram selecionadas 1.532 empresas para representar a população de 9.584 empresas com 100 ou mais pessoas ocupadas nas indústrias extrativas e de transformação. Deste total, 687 empresas compuseram estrato certo da amostra, com peso igual a 1, ao passo que as demais 845 empresas fizeram parte do estrato aleatório da amostra, recebendo, portanto, um peso proporcional ao tamanho e atividade econômica que faz parte para representar o total de empresas do universo de cada estrato natural.

Ao final de cada ciclo, verificada cada situação de coleta específica e realizada a imputação necessária em cada estrato natural, os pesos amostrais de seleção são recalibrados de modo a garantir a totalização do número de empresas e de pessoas ocupadas, por estrato amostrado, consistentes com o cadastro básico de seleção atualizado. Por isso, ainda que os dois ciclos da pesquisa de um determinado ano de referência tenham partido da mesma amostra, é importante destacar que uma mesma empresa que esteve presente em ambos os ciclos da pesquisa daquele mesmo ano pode ter pesos distintos em cada um dos ciclos.

3.2. Procedimentos de seleção de empresas e variáveis

Em 2023, a PINTEC Semestral gerou dois ciclos de pesquisa: Indicadores Temáticos “*Tecnologias Digitais Avançadas, Teletrabalho e Cibersegurança*” e Indicadores Básicos (sobre inovação), ambos referentes ao ano base de 2022. Para a realização deste artigo, montou-se uma base de empresas comuns aos dois ciclos de pesquisa e que também possuísse as informações necessárias da Pesquisa Industrial Anual – 2022.

Das 1.532 empresas que compuseram a amostra da pesquisa para o ano de referência 2022, observou-se a existência de 1.444 as empresas comuns aos dois ciclos da pesquisa. No entanto, nove empresas não possuíam as informações da PIA-Empresa 2022 necessárias para a modelagem proposta neste artigo. Desse modo, criou-se uma base de referência com informações das variáveis investigadas nos dois ciclos da pesquisa, mais as informações da PIA -Empresa 2022 contendo 1.435 empresas.

Assim, para este artigo criou-se uma base de dados de 1.435 empresas, contendo todas as variáveis dos dois ciclos de pesquisa, mais um conjunto de variáveis selecionadas da PIA Empresa 2022, para aplicar a modelagem e discutir as questões propostas. Todos os modelos foram aplicados no nível dos microdados, sem aplicação de expansão (pesos) para representar a população de empresas. É importante ressaltar que a despeito de serem informações coletadas em ciclos distintos, a partir de dois questionários separados, as variáveis foram concebidas de forma análoga, para o mesmo conjunto de empresas, de modo que a junção das bases e utilização conjunta das variáveis trazem elementos essenciais que complementam a análise e entendimento dos fenômenos investigados.

Uma vez selecionado o universo de empresas, procedeu-se à análise descritiva, a partir do cruzamento de variáveis dos dois ciclos da pesquisa da PINTEC Semestral. Desta análise foram extraídos os primeiros indícios de relações entre inovação e digitalização das empresas. Em seguida foram realizadas estimações econométricas. Como variáveis dependentes, foram considerados quatro indicadores relacionados ao processo de inovação, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis dependentes: tipos de inovação

Variável	Descrição
Inovação de produto e/ou processo de negócios (InovProdProc)	Empresas que responderam “sim” para inovação de produto e/ou inovação de processo, desde que tenham respondido “sim” para as categorias relacionadas às atividades de produção (produção de bens, logística e TI).
Inovação de produto (InovProd)	Empresas que inovaram apenas em produto, ou seja, que responderam “sim” para inovação de produto e “não” para todas as inovações de processos de negócios.
Inovação em processo (InovProc)	Empresas que inovaram apenas em processo de negócios exclusivamente relacionados às atividades de produção (produção de bens, logística e TI).
Inovação em produto e processo de negócios (InovProd_&_Proc)	Empresas que responderam “sim” para inovação de produto e inovação de processo, desde que tenham respondido “sim” para as categorias relacionadas às atividades de produção (produção de bens, logística e TI).

No Quadro 2 estão as variáveis independentes, que indicam o grau de adoção de tecnologias digitais avançadas pelas empresas. Note-se que, diferentemente da maior parte dos estudos empíricos revisados, este artigo não trata da digitalização como um processo de adoção de soluções digitais discretas ou específicas. Muito pelo contrário, e aqui reside uma de suas contribuições, este artigo analisa a digitalização como a adoção (ou não) de um conjunto de tecnologias digitais, conforme investigado pela PINTEC Semestral.

Quadro 2 – Variáveis independentes que refletem a adoção de tecnologias digitais pelas empresas

Variável	Descrição
Digitalização (Digital)	Variável binária com valor 1 se a empresa respondeu que utilizou as <u>6 tecnologias</u> digitais avançadas investigadas na pesquisa (análise de Big Data e Computação em Nuvem e Inteligência Artificial e Internet das coisas e manufatura aditiva e robótica).
Digitalização2 (Digital2)	Variável binária com valor 1 se a empresa respondeu que utilizou <u>ao menos uma</u> das digitais avançadas investigadas na pesquisa (análise de Big Data ou Computação em Nuvem ou Inteligência Artificial ou Internet das coisas ou manufatura aditiva ou robótica).

No Quadro 3 se apresentam as demais variáveis explicativas utilizadas neste artigo.

Quadro 3 – Demais Variáveis Explicativas

Variável	Descrição
Pessoal Ocupado (lnPO)	Logaritmo natural do número de pessoas ocupadas.
Pessoal Ocupado ² (PO ²)	Número de pessoas ocupadas x número de pessoas ocupadas.
Capital estrangeiro (CapEst)	Variável binária com valor 1 se a empresa tem capital estrangeiro ou predominantemente estrangeiro.
P&D (PD)	Variável binária com valor 1 se a empresa realizou gasto com P&D >0.
Cooperação (Coop):	Variável binária que recebe valor 1 se a empresa esteve envolvida em arranjos cooperativos com outra(s) organização(ões) para desenvolver atividades inovativas de produto/processo de negócios em 2022.
Apoio do governo (Apoio)	Variável binária que recebe valor 1 se a empresa utilizou algum dos instrumentos de apoio público para suas atividades inovativas.
Aquisição de máquinas e equipamentos/RLV (ME)	Variável contínua com valor da aquisição de M&E dividido pela Receita líquida de vendas em 2022.
Intensidade Alta e Média-Alta (AMA)	Variável binária com valor 1 se a empresa está classificada entre os setores de alta e média-alta intensidade digital (variável <i>dummy</i>). ⁹

A partir da regressão *probit*, foram gerados 08 (oito) modelos que apresentam as estimativas da função de distribuição normal inversa. Tais estimativas não são probabilidades em si, mas sim valores que podem ser vistos na tabela normal, a tabela *z* (*score z*). Nesse sentido, aplicou-se uma fórmula determinada pela média da densidade da distribuição normal dos valores previstos de cada modelo vezes os seus coeficientes, chamado como probabilidades e efeitos marginais, onde torna-se possível “traduzir” esses coeficientes em probabilidades previstas e efeitos marginais. Assim, além dos efeitos observados no *score z*, o modelo apresenta as probabilidades marginais através das diferentes variáveis regressoras. Por fim, utilizou -se, ainda, o Critério de Informação de Akaike (AIC), cujo segundo Dobson (2018), é uma estatística de qualidade de ajuste baseada na função de verossimilhança, com penalização para o número de parâmetros estimados, dado através da fórmula:

$$AIC = -2\ln(L) + 2p,$$

onde L é a verossimilhança e p é o número de parâmetros estimados.

4. Análise dos resultados

4.1. Análise descritiva

Os resultados obtidos com a tabulação especial permitem analisar a frequência de empresas e os valores relacionados às variáveis selecionadas do conjunto de empresas inovadoras. A Tabela 1 apresenta o número de empresas que possuem capital estrangeiro, o número de empresas que realizaram investimentos em P&D, que receberam apoio do governo e que realizaram atividades de cooperação. Pelos dados apresentados é possível verificar que o grupo das empresas que inovam em produto e/ou processo constitui o grupo com maior número de empresas: 832 empresas da amostra que é composta por 1.435 empresas. O menor grupo das empresas, por sua vez, é formado por empresas que inovam somente em processo (39 empresas). Quanto ao esforço inovativo, as empresas que desenvolvem inovação de produto e/ou processo são umas das que mais realizam gastos em P&D (75,6% das empresas), bem como grupo de empresas que inova em produto e processo, 177 empresas, que representam 85,5% do total desse grupo. As empresas que inovam em produto e processo se

⁹ A variável de controle setorial por intensidade digital foi construída com base na classificação da OCDE. Os setores classificados como de alta e média-alta intensidade digital são: Equipamentos de transporte; Móveis; Outras manufaturas; Reparos de computadores; Produtos de informática, eletrônicos e ópticos, Máquinas e equipamentos, Equipamentos elétricos, Produtos de madeira e papel, e Impressão.

destacam por apresentarem uma frequência elevada quanto ao recebimento de benefícios do governo (apoio), com cerca de 70% das empresas beneficiadas (145 empresas), bem como por realizarem arranjos cooperativos (68% das empresas).

Tabela 1 - Número de empresas que realizaram inovação, por tipo, e suas características.

Tipos de Inovação	Número de Empresas	Capital estrangeiro	P&D	Apoio	Cooperação
Inovação em Produto e/ou Processo	832	219	629	487	446
Inovação em Produto	191	59	118	94	63
Inovação em Processo	39	16	24	16	19
Inovação em Produto e Processo	207	52	177	145	142

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2 apresenta o pessoal ocupado, a receita líquida de vendas, o valor dispendido na aquisição de máquinas e equipamentos e os valores dos investimentos em P&D. Ademais, é possível construir a variável produtividade do trabalho a partir da relação entre valor de transformação industrial e pessoal ocupado. Esta tabela indica que o grupo de empresas que inova em produto e/ou processo apresenta indicadores superiores em relação aos demais grupos, sendo seguido pelo grupo de empresas que inovam em produto e processo. As empresas que inovam apenas em processo apresentam maiores gastos na aquisição de máquinas e equipamentos (M&E) e menores gastos com P&D em relação ao grupo de empresas que inovam apenas em produto.

Tabela 2 - Características das empresas que realizaram inovação, por tipo.

Tipos de Inovação	Pessoal Ocupado (número)	RLV (R\$ mil)	M&E (R\$ mil)	Gastos com P&D (R\$ mil)	Produtividade do Trabalho (VTI/PO)
Inovação de Produto e/ou Processo	2.062.979	3.127.583.646	63.768.412	26.679.034	602.462
Inovação de Produto	282.910	238.812.812	5.068.195	2.336.615	277.325
Inovação de Processo	105.897	144.952.009	8.271.195	251.345	373.168
Inovação de Produto e Processo	796.893	997.433.594	14.936.574	6.079.326	375.604

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 apresenta resultados da tabulação que permitem analisar o número de empresas que utilizam cada tecnologia digital avançada. Dentre as empresas que realizaram inovação de produto e/ou processo a computação em nuvem é a tecnologia mais adotada dentre as tecnologias digitais analisadas. Em segundo lugar está a internet das coisas, seguida pela robótica e pela Big data. Vale destacar que as tecnologias digitais menos adotadas pelas empresas brasileiras que inovam em produto e/ou processo são manufatura aditiva e inteligência artificial. As demais categorias de inovadoras (produto, processo, produto e processo) também apresentam o mesmo padrão em relação às duas tecnologias avançadas mais utilizadas: em primeiro lugar encontra-se o uso de computação em nuvem, seguido pela internet das coisas.

Tabela 3 - Número de empresas que realizaram inovação, por uso de tecnologia digital.

Tipos de inovação	Big Data	Comput. nuvem	Intelig. artificial	Internet das coisas	Manufatura aditiva	Robótica	Digital	Digital 2
Inovação de produto e/ou processo	394	713	315	502	320	443	126	781
Inovação de produto	69	155	57	97	70	88	19	174
Inovação de processo	17	34	17	28	9	15	2	36
Inovação de produto e processo	117	186	100	146	106	131	47	198

As variáveis Digital e Digital2 foram construídas para compreender o comportamento das empresas que adotam as 6 tecnologias digitais simultaneamente (Digital) e das empresas que adotam ao menos uma das tecnologias digitais (Digital2). Ademais, a construção dessas variáveis possibilita, também nos exercícios econométricos, verificar a hipótese de complementaridade entre as diferentes tecnologias digitais conforme apontado por Usai et al (2021). De acordo com a Tabela 3 verifica-se que o número de empresas que realizaram inovação de produto e/ou processo e que utilizam as 6 tecnologias digitais ao mesmo tempo (Digital) é um grupo mais reduzido (126 empresas), sendo ainda mais restrito quando se considera a realização de apenas inovação de produto (19 empresas) e inovação de processo (2 empresas). No que tange à variável Digital2 observa-se um número mais expressivo de empresas que inovam, uma vez que para a sua construção considera-se todas as empresas que usaram ao menos uma tecnologia digital, sendo por isso uma variável que abrange um maior grupo de empresas. Dentre as empresas que inovam em produto e/ou processo 781 empresas (do total de 832 empresas) utilizaram ao menos uma tecnologia digital.

4.2. Análise econométrica

A regressão *probit*, ao contrário da regressão *logit*, retorna as estimativas por meio da função de distribuição normal inversa. Isso significa que os resultados vistos nas colunas de “Estimativas” (Estim.) das Tabelas 4 e 5 não são probabilidades em si, mas sim valores que podem ser vistos na tabela normal, a tabela z (por isso é comumente chamado de score z). Essas interpretações não são intuitivas e não há uma equivalência da razão de chances para esse tipo de regressão, dado que não estamos trabalhando com resultados de probabilidades ou log-probabilidades. Sendo assim, para ler as estimativas corretamente, ou seja, através da mudança na probabilidade, existem fórmulas que traduzem esses coeficientes em probabilidades previstas e efeitos marginais, por exemplo. Por conta disso, foi necessário adicionar uma terceira coluna em todas as estimações/modelos apresentadas nas tabelas 4 e 5, a seguir, de modo que elas tenham significado e sejam possíveis de serem interpretadas. Além disso, não foi encontrado valores que informassem multicolinearidade entre as variáveis em nenhum dos modelos, a maior parte dos dados se encontraram dentro do envelope simulado (parecido com o qqplot, mas para dados não normais). No que se refere às comparações de modelos, para verificar qual é melhor que o outro, foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (AIC). Então, tem-se os modelos a seguir, em que é possível ver suas estimativas, p-valores (usou-se o nível de significância $\alpha=0,05$) e probabilidades marginais.

A Tabela 4 apresenta os resultados das estimações dos modelos probabilísticos considerando as quatro variáveis dependentes: inovação de produto e/ou processo, inovação de produto, inovação de processo e inovação de produto e processo. Nesses modelos, a variável explicativa principal é a variável Digital, medida pela adoção de todas as 6 tecnologias digitais avançadas.

Pelos resultados apresentados nas colunas (1), (2) e (3) é possível analisar a probabilidade de a empresa innovar em produto e/ou processo de produção através das diferentes variáveis regressoras. Tem-se que a utilização do conjunto de 6 tecnologias avançadas (Digital) está associada a um aumento de 0,77 no score z da empresa inovar em produto e/ou processo de produção. Em termos de efeitos marginais, verifica-se que a adoção de 6 tecnologias digitais avançadas está associada a um aumento de aproximadamente 19,73% na probabilidade de esta empresa inovar em produto e/ou processo de produção. Ao se observar a variável capital estrangeiro verifica-se que a empresa ter capital estrangeiro está associado a uma diminuição de 0,22 no score z da empresa inovar em produto e/ou processo de produção. Em efeitos marginais, isso está associado a uma diminuição de 5,67% na probabilidade de a empresa inovar em produto e/ou processo de produção. Os resultados das demais variáveis explicativas indicam que dispêndio em P&D, apoio público, cooperação para inovação e setor de alta intensidade tecnológica aumentam a probabilidade de a empresa inovar em produto e/ou processo. Destaca-se a variável dispêndio em P&D: o dispêndio nestas atividades está associado a um aumento de aproximadamente 33,51% na probabilidade de a empresa inovar em produto e/ou processo de produção.

No modelo que testa o efeito da variável Digital na probabilidade de inovar em apenas produto o coeficiente associado é positivo, mas não significativo, conforme se observa nas colunas (4), (5) e (6). Esse comportamento se assemelha ao se observar o modelo que testa o efeito da variável Digital na probabilidade de inovar em apenas processo. Pelos resultados do modelo que testa o efeito da digitalização na probabilidade de as empresas inovarem em processo, o coeficiente associado é negativo, mas não significativo, de acordo com o apresentado nas colunas (7), (8) e (9).

Os resultados apresentados na coluna (10), (11) e (12) evidenciam que a adoção de ferramentas digitais afeta a probabilidade de a empresa inovar em produto e processo de produção. Verifica-se que a adoção de 6 tecnologias digitais avançadas está associada a um aumento de 0,24 no score z da empresa inovar em produto e processo de produção. Em termos de efeitos marginais, verifica-se que a adoção de todas as 6 tecnologias digitais avançadas está associada a um aumento de aproximadamente 4,5% na probabilidade de uma empresa inovar em produto e processo de produção. Os resultados das demais variáveis explicativas indicam que dispêndio em P&D, apoio público, cooperação para inovação e setor de alta intensidade tecnológica aumentam a probabilidade de a empresa inovar em produto e processo. Destaca-se a variável dispêndio em P&D cujo resultado indica que este em atividades de P&D da empresa está associado a um aumento de aproximadamente 11,83% na probabilidade de a empresa inovar em produto e processo de produção.

A Tabela 5 lista os resultados das estimações dos modelos probabilísticos considerando as quatro variáveis dependentes: inovação de produto e/ou processo, inovação de produto, de processo e inovação de produto e processo. Nesses modelos, a variável explicativa principal é Digital2, medida pela adoção de pelo menos uma das 6 tecnologias digitais (Big Data, Computação em nuvem, Inteligência artificial, Internet das coisas, Manufatura aditiva e Robótica). Pelos resultados apresentados nos 4 modelos, considerando os tipos de inovação, não se encontram evidências de que o uso de ao menos uma tecnologia digital afeta a probabilidade de as empresas inovarem.

Em síntese, ao se comparar os resultados das Tabelas 4 e 5 pode-se inferir que as tecnologias digitais geram efeitos positivos e significativos na probabilidade de as empresas inovarem quando são utilizados em conjunto, de maneira combinada (variável Digital), conforme já destacado por Li *et al* (2023) e Massini *et al* (2024). Ademais, os resultados positivos também estão presentes nos casos de empresas que inovam em produto e/ou processo e de empresas que inovam em produto e processo indicando que as tecnologias digitais, quando adotadas, possuem um efeito transversal afetando os dois tipos de inovação concomitantemente (produto e processo). Esse resultado coincide com os encontrados por Chen *et al* (2024), que destacam que o uso de tecnologias digitais pode aumentar a eficiência dos processos e, simultaneamente, o desenvolvimento de novos produtos.

Tabela 4 – Estimações dos modelos probabilísticos por tipo de inovação com a variável dependente “Digital”

	Inovação de Produto e/ou Processo			Inovação de Produto			Inovação de Processo			Inovação de Produto e Processo		
Coef.	Estim. (1)	P-valor (2)	Prob.Marg. (3)	Estim. (4)	P-valor (5)	Prob.Marg (6).	Estim. (7)	P-valor (8)	Prob.Marg. (9)	Estim. (10)	P-valor (11)	Prob.Marg. (12)
Intercepto	-0,49	<0,05	-	-0,91	<0,05	-	-2,05	<0,05	-	-2,55	<0,05	-
Digital	0,77	<0,05	0,1972	0,01	0,95	0,0021	-0,41	0,18	-0,0245	0,24	0,08	0,0450
lnPO	-0,04	0,21	-0,0109	-0,07	0,08	-0,0141	0,001	0,99	4,09E-05	0,11	<0,05	0,0209
PO2	3,05E-10	0,57	7,82E-11	-6,01E-10	0,51	-1,26E-10	1,06E-10	0,48	6,41E-12	8,94E-11	0,47	1,70E-11
CapEstr	-0,22	<0,05	-0,0567	0,20	<0,05	0,0413	0,40	<0,05	0,0240	-0,23	<0,05	-0,0440
PD	1,31	<0,05	0,3351	0,36	<0,05	0,0763	0,17	0,38	0,0102	0,62	<0,05	0,1183
Coop	0,65	<0,05	0,1674	-0,26	<0,05	-0,0552	0,28	0,11	0,0167	0,43	<0,05	0,0814
Apoio	0,29	<0,05	0,0747	0,15	0,17	0,0321	-0,24	0,18	-0,0148	0,19	0,10	0,0355
ME	0,43	0,40	0,1105	-0,01	0,96	-0,0027	-0,48	0,70	-0,0287	-0,06	0,85	-0,0107
AMA	0,18	<0,05	0,0461	0,06	0,51	0,0119	-0,18	0,24	-0,0107	0,16	0,09	0,0300
	AIC = 1327,7			AIC = 1114,1			AIC = 363			AIC = 1011,5		

Tabela 5 – Estimações dos modelos probabilísticos por tipo de inovação com a variável dependente “Digital2”

	Inovação de Produto e/ou Processo			Inovação de Produto			Inovação de Processo			Inovação de Produto e Processo		
Coef.	Estim. (1)	P-valor (2)	Prob.Marg. (3)	Estim. (4)	P-valor (5)	Prob.Marg (6).	Estim. (7)	P-valor (8)	Prob.Marg. (9)	Estim. (10)	P-valor (11)	Prob.Marg. (12)
Intercepto	-0,73	<0,05	-	-0,96	<0,05	-	-1,96	<0,05	-	-2,67	<0,05	-
Digital2	0,17	0,18	0,0435	0,08	0,61	0,0158	0,03	0,91	0,0017	0,00	0,98	0,0009
lnPO	-0,03	0,45	-0,0067	-0,07	0,07	-0,0144	-0,02	0,75	-0,0011	0,13	<0,05	0,0244
PO2	5,37E-10	0,45	1,39E-10	-5,92E-10	0,51	-1,24E-10	1,22E-10	0,42	7,40E-12	8,10E-11	0,52	1,55E-11
CapEstr	-0,19	0,06	-0,0485	0,20	<0,05	0,0408	0,40	<0,05	0,0241	-0,22	<0,05	-0,0425
PD	1,29	<0,05	0,3332	0,36	<0,05	0,0753	0,17	0,38	0,0103	0,62	<0,05	0,1188
Coop	0,67	<0,05	0,1732	-0,27	<0,05	-0,0560	0,25	0,15	0,0153	0,44	<0,05	0,0848
Apoio	0,33	<0,05	0,0856	0,15	0,17	0,0322	-0,27	0,14	-0,0165	0,21	0,07	0,0395
ME	0,51	0,33	0,1309	-0,02	0,95	-0,0033	-0,53	0,67	-0,0320	-0,04	0,90	-0,0071
AMA	0,18	<0,05	0,0459	0,06	0,52	0,0118	-0,18	0,22	-0,0111	0,16	0,08	0,0310
	AIC = 1342,1			AIC = 1113,8			AIC = 365,1			AIC = 1014,6		

Fonte: Elaboração própria.

5. Considerações Finais

A literatura especializada sugere efeitos positivos de tecnologias digitais específicas no desempenho inovativo das empresas. Na mesma direção, o presente estudo investiga a relação entre a adoção de tecnologias digitais e inovação, a partir de uma amostra representativa de empresas industriais brasileiras com mais de 100 empregados, obtida da PINTEC Semestral, tendo 2022 como ano base.

Da base de dados composta por 1.435 empresas, são 832 aquelas que inovam em produto e/ou processo. O grupo que inova em produtos e processos é composto por 177 empresas. O conjunto de empresas que inovam somente em processos é formado por apenas 39 empresas. As empresas que desenvolvem inovação de produto e/ou processo também são as que mais realizam dispêndios em P&D (75,6% das empresas). As empresas que realizaram inovação de produto e/ou processo adotam, em sua maioria, tecnologia de computação em nuvem, seguida pela internet das coisas e robótica.

A principal contribuição deste artigo foi de discernir as diferenças entre a contribuição para a inovação empresarial advinda da adoção de uma ou poucas tecnologias digitais específicas vis a vis a adoção de um amplo conjunto de soluções digitais. Segundo as estimações econométricas (modelos probabilísticos) foi possível verificar que nos modelos em que a variável explicativa principal é Digital (medida pela adoção de todas as 6 tecnologias digitais avançadas - Big Data, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Manufatura Aditiva e Robótica) há evidências de que o uso de tecnologias digitais afeta a probabilidade das empresas inovarem em produto e/ou processo de produção e inovarem em produto e processo de produção.

A utilização do conjunto de 6 tecnologias avançadas (Digital) está associada a um aumento de 0,77 no score z da empresa inovar em produto e/ou processo de produção, ou seja, a adoção de conjunta de 6 tecnologias digitais avançadas está associada a um aumento de aproximadamente 19,73% na probabilidade de uma empresa inovar em produto e/ou processo de produção. Nessa mesma direção, a utilização do conjunto de 6 tecnologias avançadas (Digital) está associada a um aumento de 0,24 no score z da empresa inovar em produto e processo de produção. Ou seja, a adoção de 6 tecnologias digitais avançadas está associada a um aumento de aproximadamente 4,5% na probabilidade de esta empresa inovar em produto e processo de produção.

No entanto, os resultados dos modelos econométricos cuja variável explicativa principal a adoção de pelo menos uma das 6 tecnologias digitais (Digital2) são diferentes dos resultados com a variável Digital. Os resultados apresentados nos 4 modelos, considerando os quatro tipos de inovação, não indicam que o uso de pelo menos uma tecnologia digital afete a probabilidade de as empresas inovarem.

Em síntese, este artigo traz evidência de que as tecnologias digitais geram efeitos positivos e significativos na probabilidade de as empresas inovarem quando essas tecnologias digitais são utilizadas em conjunto, de maneira combinada, o que encontra respaldo em alguns dos estudos que tratam do nexo digitalização/inovação desde uma abordagem similar onde se destaca a importância da complementaridade entre as diferentes tecnologias digitais, entre as tecnologias digitais e outras capacidades que as empresas já possuem, bem como seus efeitos sobre o desempenho empresarial.

Ademais, os efeitos positivos da variável de tecnologia digital (Digital) são encontrados na amostra de empresas que inovam em produto e/ou processo e na amostra de empresas que inovam em produto e processo, indicando que as tecnologias digitais, quando adotadas, possuem um efeito transversal afetando os dois tipos de inovação concomitantemente (produto e processo de negócios). Esse resultado coincide com estudos que destacam que o uso combinado de tecnologias digitais pode afetar qualquer fase dos processos de inovação, ao apoiar a aquisição de novas habilidades,

possibilitando tanto o aumento da eficiência dos processos de negócios como o desenvolvimento de novos produtos.

Referências

- Aboal, D., Tacsir, E., Innovation and productivity in services and manufacturing: the role of ICT. *Ind. Corp. Chang.* 27 (2), 221–241. 2018.
- Agostini, L., Galati, F., Gastaldi, L., The digitalization of the innovation process. Challenges and opportunities from a management perspective. *Eur. J. Innov. Manag.* 23 (1), 1–12. 2020. <https://doi.org/10.1108/EJIM-11-2019-0330>.
- Alvarez, R., The impact of R&D and ICT investment on innovation and productivity in Chilean firms. In: *Inter-American Development Bank Technical Note Series: Washington DC, IDB-TN-1056*. 2016.
- Benassi, M., Grinza, E., Rentocchini, F., Rondi, L., Patenting in 4IR technologies and firm performance. *Industrial and Corporate Change* 31 (1): 112-136. 2022. <https://doi.org/10.1093/icc/dtab041>.
- Blichfeldt, H., Faullat, R., Performance effects of digital technology adoption and product & service innovation – A process-industry perspective. *Technovation*, 105, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102275>
- Boeker, W., Howard, M. D., Basu, S., Sahaym, A., Interpersonal relationships, digital technologies, and innovation in entrepreneurial ventures. *Journal of Business Research*, 125(November 2018), 495–507. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.003>
- Brea, E., An empirical exploration of the role of artificial intelligence in enhancing innovation performance in organisations. In: *Proceedings of the 18th International Schumpeter Society Conference*. International Joseph A. Schumpeter Society, Italy, 2021.
- Brock, J. K. U., Von Wangenheim, F., Demystifying AI: What Digital Transformation Leaders Can Teach You about Realistic Artificial Intelligence. *California Management Review*, 61(4), 110–134. 2019
- Brynjolfsson, E., Rock, D., Syverson, C., The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies. *American Economic Journal-Macroeconomics* 13 (1): 333-372. 2021 <https://doi.org/10.1257/mac.20180386>
- Chen, P., Kim, S., The impact of digital transformation on innovation performance - The mediating role of innovation factors. *Heliyon*, 9, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13916>
- Chen, L., Tu, R., Huang, B., Zhou, H., Wu, Y., Digital transformation's impact on innovation in private enterprises: Evidence from China. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100491>
- Ciampi, F., Demi, S., Magrini, A., Marzi, G., Papa, A., “Exploring the Impact of Big Data Analytics Capabilities on Business Model Innovation: The Mediating Role of Entrepreneurial Orientation.” *Journal of Business Research* 123: 1–13. 2021. doi:10.1016/j.jbusres.2020.09.023
- Cohen, W. M., Levinthal, D. A., Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152. 1990. <https://doi.org/10.2307/239355>
- Crepon, B., Duguet, E., Mairesse, J., Research, innovation, and productivity: an econometric analysis at the firm level. *J. Econ. Innov. New Technol.* 7 (2), 115–158. 1998.
- Cui, J., Impact of Digital Transformation on Corporate Innovation-- Empirical evidence from public companies. *SHS Web of Conferences* 169, 01046. 2023. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202316901046>

- Ferreira, J.J.M, Fernandes, C.I., Ferreira, F.A.F., To be or not to be digital, that is the question: Firm innovation and performance. *Journal of Business Research* 101 583–590. 2019.
- Gaglio, C., Kraemer-Mbula, E., Lorenz, E., The effects of digital transformation on innovation and productivity: Firm-level evidence of South African manufacturing micro and small enterprises. *Technological Forecasting & Social Change*, 182, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121785>
- Galindo-Martín, M. A., Castano-Martínez, M. S., Mendez-Picazo, M. T., Digital transformation, digital dividends and entrepreneurship: A quantitative analysis. *Journal of Business Research*, 101, 522-527. 2019. /doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.12.014.
- Hassan, S.S., Meisner, K., Krause, K., Bzhalava, L., Moog, P., Is digitalization a source of innovation? Exploring the role of digital diffusion in SME innovation performance. *Small Business Economics*, 62, p.1469–1491, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11187-023-00826-7>
- Heredia, J. et al. How do digital capabilities affect firm performance? The mediating role of technological capabilities in the "new normal", *Journal of Innovation & Knowledge* (JIK), ISSN 2444-569X, Elsevier, Amsterdam, Vol. 7, Iss. 2, pp. 1-10,, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100171>
- Hidiroglou, M.A., The construction of a self-representing stratum of large units in survey design. *The American Statistician*, Vol. 40, No. 1, pp. 27-31, American Statistical Association, 1986.
Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/239799358_The_Construction_of_a_SelfRepresenting_Stratum_of_Large_Units_in
- IBGE Pesquisa de Inovação Semestral 2021 – Indicadores básicos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2022. Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101989.pdf>. Acesso em: julho de 2024.
- IBGE Pesquisa de Inovação Semestral 2022 – Indicadores temáticos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2023. Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102028.pdf>. Acesso em: julho de 2024.
- IBGE Pesquisa de Inovação Semestral 2022 – Indicadores básicos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2024. Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102067.pdf>. Acesso em: julho de 2024.
- Ivanov, D., Dolgui, A., e Sokolov, B., The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International journal of production research*, 57(3), 829–846. 2019. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1488086>
- Jung, J., Gómez-Bengoechea, G. A., literature review on firm digitalization: drivers and impacts. *Estudios sobre la Economía Española* 2022/20. Septiembre de 2022
- Kastelli, J., Dimas, P., Stamopoulo, D., Tsakanikas, A., Linking Digital Capacity to Innovation Performance: the Mediating Role of Absorptive Capacity. *Journal of the Knowledge Economy*, 15, p. 238–272, 2024. <https://doi.org/10.1007/s13132-022-01092-w>
- Kohli, R., Melville, N.P., Digital innovation: A review and synthesis Volume29, Issue. Pages 200-223 January 2019. <https://doi.org/10.1111/isj.12193>
- Li, S., Gaoa, L., Hanb, C., Guptac, B., Alhalabid, W., Almakdie, S., Exploring the effect of digital transformation on Firms' innovation performance. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100317>
- Liu, W., Wang, Z., Shi, Q., Bao, S., Impact of the digital transformation of Chinese new energy vehicle enterprises on innovation performance. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 2024. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03109-y>

- Liu, Y., Dong, J., Mei, L., Shen, R., Digital innovation and performance of manufacturing firms: An affordance perspective. *Technovation*, 119, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102458>
- Luo, J., A Study of the Effect of Digital Transformation on Firm Performance - Based on the Mediating Effect of Green Technology Innovation. In: Y. Jiao et al. (eds.), Proceedings of the 3rd International Conference on Internet Finance and Digital Economy (ICIFDE 2023), Atlantis Highlights in Economics, Business and Management, 1, 2023. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-270-5_17
- Massini, S., Sanchez-Barrioluengo, M., Yu, X., Salehnejad, R., Digital transformation in firms: determinants of technology adoption and implications for performance. *MloIR Working Paper Series*, No.01, 2024.
- Nambisan, S., Lyytinen, K., Yoo, Y., Handbook of Digital Innovation. Edward Elgar Publishing. 2020.
- Nwankpa, J.K., Roumani, Y., IT Capability and Digital Transformation: A Firm Performance Perspective. Thirty Seventh International Conference on Information Systems, Dublin 2016
- OECD. Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the labour market. 2023. https://www.oecd-ilibrary.org/employment/oecd-employment-outlook-2023_08785bba-en.
- Peng, Y., Tao, C., Can digital transformation promote enterprise performance? —From the perspective of public policy and innovation. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100198>
- Polder, M., van Leeuwen, G., Mohnen, P., Raymond, W., Product, Process and Organizational Innovation: Drivers, Complementarity and Productivity Effects. CIRANO - Scientific Publications, 2010s-28. 2010.
- Radicic, D., Petkovic, S., Impact of digitalization on technological innovations in small and medium-sized enterprises (SMEs). *Technological Forecasting & Social Change*, 191, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122474>
- Scuotto, V., Magni, D., Palladino, R., e Nicotra, M., Triggering disruptive technology absorptive capacity by CIOs. Explorative research on a micro-foundation lens. *Technological Forecasting and Social Change*, 174, 121234. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121234>
- Urbinati, A., Chiaroni, D., Chiesa, V., e Frattini, F., The role of digital technologies in open innovation processes: An exploratory multiple case study analysis. *R&D Management*, 50(1), 136–160. 2020. <https://doi.org/10.1111/radm.12313>
- Urbinati, A., Manelli, L., Frattini, F., & Bogers, M. L. A. M., The digital transformation of the innovation process: Orchestration mechanisms and future research directions. *Innovation*, 24, p. 65-85, 2022. <https://doi.org/10.1080/14479338.2021.1963736>
- Usai, A., Fiano, F., Messeni Petruzzelli, A., Paoloni, P., Farina Briamonte, M., Orlando, B., Unveiling the impact of the adoption of digital technologies on firms' innovation performance. *Journal of Business Research*, 133, p. 327–336, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.035>
- Van Leeuwen, G., Farooqui, S., ICT investment and productivity. In: Eurostat Final Report Information Society: ICT Impact Assessment by Linking Data From Different Sources, pp. 163–189. 2008. Working Paper.
- Verstegen, L., Houkes, W., & Reymen, I., Configuring collective digital-technology usage in dynamic and complex design practices. *Research Policy*, 48(8), 103696. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.020>
- Wan, Y., Y. Gao, and Y. Hu., Blockchain Application and Collaborative Innovation in the Manufacturing Industry: Based on the Perspective of Social Trust. *Technological Forecasting and*

Social Change 177: 121540. 2022. doi:10.1016/j.techfore.2022.121540

Wang, Z., Lin, S., Chen, Y., Lyulyov, O., Pimonenko, T., Digitalization Effect on Business Performance: Role of Business Model Innovation. *Sustainability*, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15119020>

Wang, X., Wang, Y., Chen, D., How Does Digitalization Influence Innovation Performance of Manufacturing Enterprises in Emerging Countries? The Perspective of Dual Innovation Synergy. *Pol. J. Environ. Studies*, 33, No. 3, 2024. <http://doi.org/10.15244/pjoes/174838>

Warner, K. S., Wager, M., Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*, 52(3), 326–349. 2019

Yoo, Y., Boland, R. J., Jr, Lyytinen, K., & Majchrzak, A., Organizing for innovation in the digitized world. *Organization science*, 23(5), 1398–1408. 2012.

Zittrain, J., The generative Internet. *Harv. Law Rev.* 119, 1974–2040. 2006

Zhou, Y., Yang, C., Liu, C., Gong, L. Digital technology adoption and innovation performance: a moderated mediation model, *Technology Analysis & Strategic Management*, May, 2023. DOI: 10.1080/09537325.2023.2209203