



Impacto da Inteligência Artificial no PIB: uma revisão sistemática da literatura

Alonso Gonçalves Afonso de Oliveira¹;
André Luiz da Silva Teixeira²;

Resumo: Este trabalho buscou, através do uso da revisão sistemática da literatura, identificar trabalhos que calculam o impacto da Inteligência artificial (IA) em variáveis macroeconômicas, com destaque para o Produto Interno Bruto (PIB). Em função do marco histórico do lançamento do chatGPT foram analisados estudos quantitativos publicados entre dez/2022 a nov/2024. Ao longo da pesquisa foram identificados 4 estudos com impacto direto da IA no PIB, sendo que as análises concluíram que os avanços da Inteligência Artificial podem elevar o PIB Mundial entre 0,55% a 300% em 10 anos. Além disso, foram identificados 3 estudos com impactos indiretos, isto é, eles avaliaram dados históricos para mensurar as relações do IA com a macroeconomia e concluíram que IA e PIB possuem correlação positiva, assim como IA influencia o mercado de trabalho substituindo empregos e, por fim, aumentando disparidades salariais.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; GPT; Impacto; PIB; Macroeconomia

Código JEL: 032; 033; 047

Área Temática: Indicadores de Ciência, Tecnologia, Inovação

Impact of Artificial Intelligence on GDP: a systematic literature review

Abstract: This study sought, through a systematic literature review, to identify studies that calculate the impact of Artificial Intelligence (AI) on macroeconomic variables, with an emphasis on Gross Domestic Product (GDP). Due to the historical milestone of the launch of chatGPT, quantitative studies published between December 2022 and November 2024 were analyzed. Throughout the research, 4 studies with a direct impact of AI on GDP were identified, and the analyses concluded that advances in Artificial Intelligence can increase the global GDP by between 0.55% and 300% in 10 years. In addition, 3 studies with indirect impacts were identified, that is, they evaluated historical data to measure the relationship between AI and the macroeconomic and concluded that AI and GDP are positive correlated, as well as AI influences the labor market by replacing jobs and, ultimately, increasing wage disparities.

Keywords: Artificial Intelligence; GPT; Impact; GDP; Macroeconomics

¹ Mestrando em Economia UNIFAL - MG. E-mail: alonso.oliveira@sou.unifal-mg.edu.br

² Professor Doutor em Economia UNIFAL - MG. E-mail: andre.teixeira@unifal-mg.edu.br

1. Introdução

Em meio há diversas definições, pode-se entender inteligência artificial (IA) como aquela que “têm capacidade de processar dados e informações de uma forma que se assemelha ao comportamento inteligente e, normalmente, inclui aspectos de raciocínio, aprendizagem, percepção, previsão, planejamento ou controle” Unesco (2021, artigo 1.2).

A inteligência artificial (IA) teve um importante marco em 1956, quando ocorreu a Dartmouth College Conference. Desde então, segundo Sichman (2021), a história da IA tem sido marcada por momentos de altas expectativas e consequentemente altos investimentos, que, por outro lado, geraram frustrações e escassez de investimentos em seguida. Estes levam aos conhecidos AI Winter (Inverno da IA), como aqueles ocorridos no período 1975 a 1980 e 1987 a 1993.

O lançamento do chatGPT em novembro de 2022 marcou a história, popularizou ainda mais o termo IA e parece ter iniciado uma nova era de altas expectativas sobre IA. Em janeiro de 2023 estima-se que haviam 100 milhões de usuários mensais, um real crescimento explosivo, por permitir usuários em todo o mundo utilizar os Modelos de Linguagem de Grande Porte (LLM). Conforme dados da PINTEC (2022) apenas 16,9% das empresas avaliadas no Brasil utilizaram alguma ferramenta de IA em 2022.

Segundo dados da AI Index, Maslej et al (2024), apesar de um declínio no investimento privado geral em IA em 2023 (atingindo US\$95,99bilhões contra 103,4 bilhões em 2022), o financiamento para IA generativa aumentou, quase octuplicando de 2022 para 2023 ao atingir US\$ 25,2 bilhões. Além disso, os custos de treinamento de modelos de IA de última geração atingiram níveis sem precedentes. O GPT-4 da OpenAI usou um valor estimado de US\$ 78 milhões em computação para treinamento, enquanto o Gemini Ultra do Google custou US\$ 191 milhões em computação. Maslej et al (2024)

Conforme Sichman (2021) atualmente, atravessamos novamente um período de euforia sobre os possíveis benefícios que a IA pode prover. Tal otimismo se justifica por uma conjunção de três fatores fundamentais: (i) o custo de processamento e de memória nunca foi tão barato; (ii) o surgimento de novos paradigmas, como as redes neurais profundas, possibilitados pelo primeiro fator e produzindo inegáveis avanços científicos; e (iii) uma quantidade de dados gigantesca disponível na internet em razão do grande uso de recursos tais como redes e mídias sociais. Sichman (2021)

O objetivo desse artigo é realizar uma revisão sistemática de trabalhos que calculam o impacto do avanço da Inteligência artificial em agregados macroeconômicos, com destaque para o Produto Interno Bruto (PIB). Já que, diante das inúmeras expectativas e frustrações que acompanharam a história dessa área, nesse momento de grande entusiasmo, quais as bases científicas estão sendo usadas para quantificar esse impacto? Como ele está sendo quantificado? Assim, foca-se em trabalhos quantitativos, facilitando a visão comparativa entre os estudos. Em função do marco histórico do lançamento do chatGPT serão usados estudos após esse marco, logo o período de análise serão estudos publicados entre dez/2022 e nov/2024. Futuros estudos poderão ampliar esse período de análise, inclusive comparando estimativas pré e pós ChatGPT.

O presente artigo é dividido em mais 4 seções, além dessa introdução. A seção 2 trata de uma revisão de literatura com destaque para a visão Neoschumpeteriana dos Ciclos Econômicos, assim como os Marcos históricos da IA. Já a seção 3 é apresentada a metodologia utilizada na condução da pesquisa. A seção 4 apresenta os resultados e a seção 5 as considerações finais.

2. Revisão bibliográfica

2.1 A inovação e o ciclo econômico

Conforme Schumpeter (1984, Capítulo 7) é a inovação que alimenta o processo de destruição criadora que caracteriza o sistema capitalista. No livro *Teoria do Desenvolvimento Econômico*, publicado em 1911, no capítulo 6, Schumpeter (1911, tradução 1997) relaciona os ciclos econômicos com inovação: “o boom termina e a depressão começa após a passagem do tempo que deve transcorrer antes que os produtos dos novos empreendimentos possam aparecer no mercado. E um novo boom se sucede à depressão, quando o processo de reabsorção das inovações estiver terminado”. Schumpeter (1911, tradução 1997)

Esse ciclo oscilante entre os períodos de boom e depressão é resultado da introdução de inovações e possuem uma tendência ao equilíbrio com os passar do tempo: “como a luta por uma nova posição de equilíbrio, que incorporará as inovações e dará expressão aos seus efeitos sobre as empresas antigas, assim é o significado real de um período de depressão” Schumpeter (1911, tradução 1997)

No livro *Business Cycles*, publicado em 1939 Schumpeter classifica as inovações de acordo com seu impacto na economia. Ele define dois tipos: as “*minor innovations*” e “*major innovations*”. Schumpeter apresenta argumentos dos ciclos associados as “*major innovations*” tais como ferrovias e a eletrificação, que revolucionaram os ciclos de negócios existentes. Albuquerque (2021) destaca que inovações radicais ou “*major innovations*” marcaram a história do sistema capitalista, gerando as revoluções tecnológicas, sendo a primeira delas a revolução industrial britânica. A tabela 1 construída por Perez (2010) apresenta cinco revoluções tecnológicas, que compõe a história do capitalismo, segregada por fases e os marcos, que foram responsáveis por desencadear as revoluções tecnológicas.

Tabela 1 – Cinco revoluções tecnológicas

Revolução tecnológica	Nome	Ano do marco inicial	País líder
Primeira	Revolução Industrial	1771	Grã-Bretanha
Segunda	Era do Vapor e das Ferrovias	1829	Grã-Bretanha
Terceira	Era do Aço, da Eletricidade e da Engenharia Pesada	1875	EUA e Alemanha
Quarta	Era do Petróleo, do Automóvel e da Produção em Massa	1908	EUA
Quinta	Era da Informação e da Telecomunicação	1971	EUA

Fonte: Perez (2010)

Para Albuquerque (2021), é possível que estejamos vivenciando uma sexta revolução tecnológica desencadeada pela invenção da www em 1991. Para o autor: “[ela] é uma forte candidata à posição de uma inovação radical (...), que representa o big bang de uma nova fase – seria a sexta revolução tecnológica”. Além disso Albuquerque (2021) ressalta que: “explorando a conexão entre o desenvolvimento da www e inovações posteriores, a www está relacionada com uma explosão de dados disponíveis”. Isto é, a pavimentação para o desenvolvimento de áreas, que são fundamentadas em dados, tais como: *big data*, *machine learning* e a própria inteligência artificial.

Para entender esse novo contexto, novos conceitos são relevantes. Estes são tratados nas seções seguintes e serão discutidos os seguintes conceitos: GPT, IA, chatGPT, AGI e Agentes Inteligentes.

2.2 General Purpose Technologies (GPT)

O termo *General Purpose Technologies* (GPT) foi apresentado na literatura pela primeira vez por Bresnahan e Trajtenberg em 1995, que em uma tradução livre significa “Tecnologia de Propósito Geral”. Helpman (1998) edita o livro *General Purpose Technologies*, onde ele apresenta o conceito de GPT assim: “uma inovação drástica se qualifica como GPT se tiver potencial para uso generalizado em uma ampla gama de setores, de maneira que mude drasticamente seu modo de operação”.

Além disso, o Helpman (1998) apresenta quatro características principais de GPT: “(1) inicialmente muito espaço para aperfeiçoamentos e melhorias, (2) muitos usos variados, (3) aplicabilidade em grandes partes da economia, (4) fortes complementaridades com outras tecnologias”.

Conforme Albuquerque (2021) “O foco nas GPTs, e sua emergência no final dos anos 1980 e início dos anos 1990 (...) a multiplicação de fontes para inovações radicais, uma consequência da difusão, crescimento e sofisticação dos sistemas de inovação cria condições para uma aceleração da dinâmica inovativa.”. A Inteligência Artificial pode ser uma GPT, Albuquerque (2021).

A próxima seção trata de alguns conceitos sobre IA e depois seus marcos históricos.

2.3 Alguns conceitos elementares sobre Inteligência Artificial (IA)

Conforme, já mencionado a IA “têm capacidade de processar dados e informações de uma forma que se assemelha ao comportamento inteligente e, normalmente, inclui aspectos de raciocínio, aprendizagem, percepção, previsão, planejamento ou controle”. Unesco (2021, artigo 1.2).

Haenlein e Kaplan (2019) apresentam classificações da IA como: analítica, inspirada no ser humano e humanizada. O conceito de inteligência humana é muito abrangente, mas resumidamente pode ser dividida em três tipos: cognitiva, emocional e social.

Lamb et al (2023) separam dois tipos de IA: a “IA Fraca” e “IA Forte”. As IAs Fracas são como computadores que executam tarefas específicas e limitadas, como jogar xadrez ou traduzir idiomas. Já uma “IA Forte” terá inteligência cognitiva como o ser humano e será consciente.

Hastie, Tibshirani e Friedman (2009) argumentam que o aprendizado de máquina estatístico tem como essência extrair padrões de massas de dados, tanto por métodos estatísticos consagrados, como regressão ou agrupamento, quanto por métodos relativamente novos.

Costa e Cozman (2024) argumentam que o Deep Learning (aprendizado profundo) são técnicas baseadas em redes neurais artificiais com muitas camadas. De uma maneira simplória elas reproduzem alguns aspectos da organização neuronal observada em organismos biológicos, sendo cada camada

contendo um conjunto de pequenas unidades de computação simples que são chamadas de neurônios artificiais.

Os Modelos de Linguagem de Grande Porte é uma tradução do termo em Inglês “Large Language Model (LLM)” e trata-se de uma organização particular de neurônios artificiais e camadas que amplia a capacidade de processar dados pelas redes neurais resultantes. Tais redes são os chamados transformers (Vaswani et al., 2017). Costa e Cozman (2024) detalham que um modelo de linguagem recebe símbolos em uma determinada linguagem e produz probabilidades de emissão de outros símbolos. O primeiro modelo de linguagem de grande porte que fez uso de transformers foi o modelo Bert (Devlin et al, 2019). O chatGPT utiliza um LLM.

A sigla chatGPT significa *chat Generative Pre-Trained Transformer*, que pode ser traduzido como transformador generativo pré-treinado. Importante destacar que o significado do termo chatGPT é totalmente diferente da sigla GPT.

Outro tipo de IA é aquela definida como IA geral. Haenlein e Kaplan (2019) detalham que a *Artificial General Intelligence* (AGI) ocorrerá quando os sistemas mostrarem comportamento indistinguível dos humanos em todos os aspectos ao possuírem inteligência cognitiva, emocional e social. Esse é o tema e crença de algumas pesquisas em IA. O termo AGI pode ser referido como IA forte, IA completa ou ação inteligente geral.

Por fim, Sichman (2021) expõe o conceito de agente inteligente (Russell; Norvig, 2010), proposto em 1995, faz parte de uma área de pesquisa, denominada agentes autônomos e sistemas multiagentes, que integram vários sistemas para solução de problemas.

Essa seção esclarece, que o termo IA abrange uma ampla área de atuação, atualmente estamos no estágio evolutivo da IA Fraca. Não todos, mas alguns estudiosos acreditam que chegaremos na IA Forte ou AGI. Essa crença de alguns e ceticismos de outros sempre foi a base dos confrontos históricos da IA. As próximas duas seções trazem um pouco da história da IA e suas incertezas.

2.4 Marcos históricos da Inteligência Artificial

O entendimento da história é base para compreensão do futuro. Portanto, a clareza da história da IA é fundamental para entendermos os impactos macroeconômicos que ela pode causar.

Haenlein e Kaplan (2019) argumentam que a inteligência artificial (IA), teve um importante marco em 1956, quando ocorreu a Dartmouth College Conference. Nesse evento foi oficialmente cunhado o termo Inteligência Artificial (IA).

Conforme Sichman (2021) entre 1956 e 1973, os avanços na IA foram expressivos, as expectativas crescentes e substanciais investimentos. Os pais da IA obtiveram brilhantes resultados de pesquisa e, diante desse cenário, “em 1970, Marvin Minsky deu uma entrevista à revista Life na qual afirmou que uma máquina com a inteligência geral de um ser humano médio poderia ser desenvolvida dentro de três e oito anos” (Haenlein e Kaplan, 2019).

Haenlein e Kaplan (2019) detalham, que 3 anos depois, em 1973, o matemático britânico James Lighthill publicou um relatório afirmando que as máquinas só atingiriam o nível de um amador experiente em jogos como xadrez e que o raciocínio de senso comum sempre estaria além de duas habilidades. Inicia-se então, um novo marco na história florescente da IA, porém agora com redução de expectativas e consequentemente redução de investimentos, período conhecido como “inverno da IA”, que durou até 1980.

Entre 1980 e 1987 novos investimentos foram feitos, inicialmente pelo governo Japonês e depois

pelos EUA, porém poucos avanços. Com as expectativas novamente frustradas entre 1987 e 1993 um novo inverno de IA se inicia.

Em 1997 um novo marco renasce o interesse pela IA: o programa de xadrez Deep Blue da IBM derrota o campeão mundial Gary Kasparov.

Conforme Brachman e Levesque (2004), por décadas, o principal foco da pesquisa em IA foi a codificação de problemas em linguagens formais, frequentemente baseadas em lógica, e a busca de soluções usando algoritmos gerais. Porém, Costa e Cozman (2024) explicam, que o principal foco da IA passou, nas duas últimas décadas, para a extração de padrões a partir de enormes bases de dados, usando métodos estatísticos ou de inspiração biológica para interpretar observações, medidas, textos e imagens.

Costa e Cozman (2024) enfatizam que soluções baseadas em aprendizado de máquina alcançavam um desempenho notável, próximo do final da década de 2000. Técnicas de aprendizado profundo se popularizaram a partir de 2012, ano em que redes neurais do tipo convolucional venceram uma competição de detecção de objetos em imagens (Krizhevsky; Sutskever; Hinton, 2012). Tais técnicas são baseadas em redes neurais artificiais com muitas camadas, de onde vem o termo *deep learning*.

Um novo marco foi em 2015, quando o programa desenvolvido pelo Google, o AlphaGo, venceu o campeão mundial no jogo de tabuleiro Go, que é mais complexo do que o xadrez.

Em 2017, surgem os chamados “*transformers*” Vaswani et al. (2017), que são a base dos modelos de linguagem de grande porte (LLM). O mais conhecido é o modelo do ChatGPT, que teve lançamento em novembro de 2022 marcou a história e popularizou ainda mais o termo IA. Conforme, Sichman (2021), atualmente, atravessamos novamente um período de euforia sobre os possíveis benefícios que a IA pode prover.

2.5 O incerto futuro da IA

Como pode ser observado, altas expectativas e altos investimentos, frustrações e descrédito acompanharam a história do fascinante universo da IA. O aumento das expectativas tem o poder de gerar um fluxo financeiro para investimentos, sobretudo, quando as promessas envolvem a superação das habilidades humanas.

Martins, Teixeira e Pereira (2021) relacionam a incerteza na abordagem pós-keynesiana e neoschumpeteriana. A abordagem pós-keynesiana aponta para a dificuldade, ou mesmo impossibilidade, de valorar ativos com grau de previsibilidade razoável, especialmente num prazo temporal mais longo. Para Dosi (1988), o processo inovativo possui algumas características que reforçam essa dificuldade de valoração, a saber: (a) apropriabilidade incompleta; (b) taciticidade parcial; (c) incerteza; (d) variedades quanto às bases de conhecimento, processos de busca e oportunidades; (e) cumulatividade e; (f) irreversibilidade. A inovação caminha unida com a incerteza, sendo que, muitos novos produtos, serviços e até empresas não cumprem com as promessas iniciais. Além disso, a maior parte dos investimentos são irreversíveis.

Conforme Freeman e Soete (2008, p. 415), “o que pode ser reconhecido ex-post nem sempre pode ser controlado ou iniciado ex-ante”. Para esse autor, são diversos os tipos de incerteza envolvidos no processo inovativo: (1) a incerteza técnica, atrelada a resolução de problemas tecnológicos relacionados e mal estruturados (Dosi, 1988); (2) a incerteza de mercado, ligada à dificuldade de prever a resposta dos consumidores e competidores à inovação e (3) a incerteza geral da economia que pode, em alguns casos, ser descrita como a incerteza do negócio como um todo. No caso da IA, tais incertezas estão presentes também.

Em suma, a partir dessa breve contextualização sobre IA e alguns conceitos, pode-se sintetizar e concluir que o desenvolvimento capitalista é baseado em inovações e que as GPTs tem um papel relevante nisso, afinal estas podem ser capazes de ser um combustível que desencadeia , verdadeiras revoluções. Porém, o processo inovativo possui como base a incerteza em relação ao futuro. Como exemplo, poderíamos citar que o caminho até a chegada da AGI é ainda desconhecido. Segundo Ford (2018, p. 528), entre 23 pesquisadores especialistas em IA consultados, as expectativas de tempo para isso oscilam entre 11 anos e 182 anos, a partir de 2018. O que remete a Rosenberg (1996) que, ao avaliar a incerteza sobre o futuro de tecnologias, disse que “a ignorância seria o termo mais adequado”.

Porém, o processo inovativo é também cumulativo e com o tempo e os avanços geram novos conhecimentos e, a cada desafio superado, as evoluções vão se tornando mais palpáveis, assegurando uma trajetória tecnológica menos desconhecida. E avanços científicos também vão contribuindo para isso ao conseguirem apontar caminhos factíveis para tais avanços (Albuquerque, 1999). Diante disso, após cerca de 68 anos do marco inicial da IA, após momentos de “boom” e “crises”, ainda não há segurança sobre o incerto futuro da IA, apesar de esforços substanciais para quantificá-los ou supor o futuro desse fascinante universo.

3. Metodologia: Estratégia de busca, critérios de seleção e seleção de dados

Este trabalho baseia-se na busca, nas principais bases de dados científicos, das contribuições que calculam o impacto da Inteligência Artificial no PIB a partir de dezembro/2022, após lançamento do chatGPT. As bases escolhidas foram Scielo, Web of Science e Scopus.

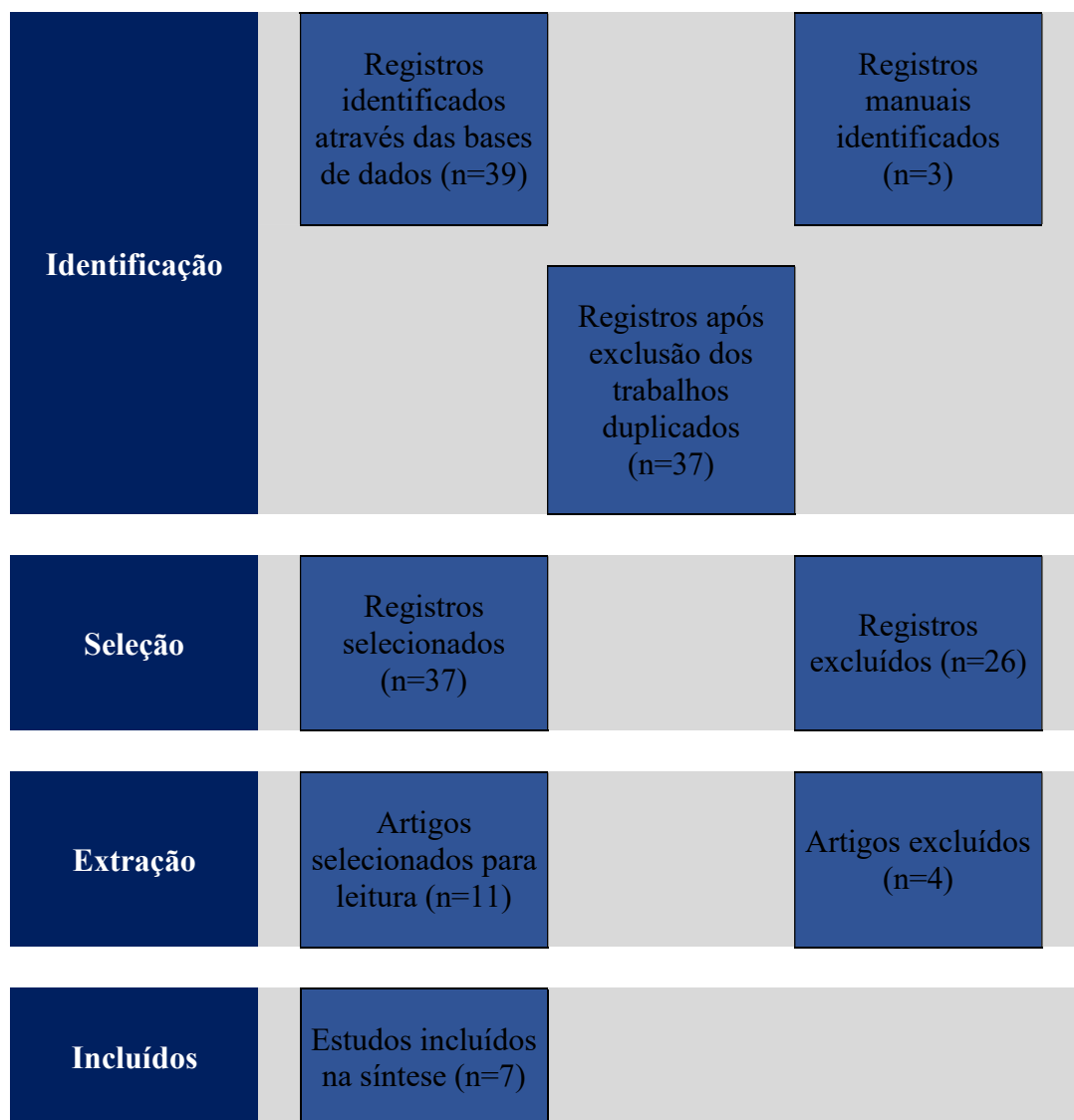
Pesquisas foram feitas para identificar estudos no formato artigo científico, artigo de congressos, capítulo de livro e relatórios, de autores brasileiros e estrangeiros. As *strings* de buscas aplicadas continham as palavras-chave entre aspas escolhidas no protocolo da revisão sistemática, que são: impacto da inteligência artificial na macroeconomia, macroeconomia da inteligência artificial e PIB da inteligência artificial. Assim como os termos em Inglês: *Impact of artificial intelligence on macroeconomics; Macroeconomics of Artificial Intelligence e PIB of Artificial Intelligence*.

Os critérios de inclusão definidos foram: o artigo calcula a projeção de PIB; baseia-se em um método apropriado e claro; e está escrito em inglês, português ou espanhol. Os critérios de exclusão foram: não apresenta cálculo do PIB; o estudo foi realizado antes de 2023; e calcula a projeção do PIB, mas não relacionado a IA; não é um documento de acesso aberto. Além disso a pesquisa foi limitada a área de Economia, Econometria, Negócios e Finanças (*Economy, Econometrics e Business and Finance*)

As buscas retornaram 39 estudos, que foram analisados por títulos, palavras-chave e resumos na etapa de seleção. Dessa forma, 8 artigos foram aceitos para a etapa da extração das informações; 26 foram rejeitados; e 5 classificados como duplicados. Na extração, examinou-se o documento por completo a fim de assegurar o cumprimento dos critérios. Além disso, foram inseridos 3 estudos, identificados nas referências bibliográficas de alguns dos estudos levantados na revisão, e que atendiam aos objetivos desse estudo. Desses 11 artigos, 4 foram rejeitados, principalmente por usar IA somente para projeção do PIB, isto é, como ferramenta para o trabalho e não como mensuração do impacto gerado pela IA.

No fim da etapa de extração, foram aceitos 7 estudos, que compõem a revisão;. Com o intuito de facilitar a compreensão da mensuração dos impactos, os estudos foram divididos em impactos diretos e impactos indiretos. Os 4 primeiros estudos avaliam, diretamente, o resultado do impacto da IA no PIB nos próximos 10 anos; os outros 3 estudos avaliam indiretamente o impacto no PIB, sem fazer projeção para os próximos anos, mas avaliando os dados históricos e suas correlações. A figura 1 sintetiza esse processo.

Figura 1. Diagrama de fluxo de inclusão e exclusão.



Fonte: Elaboração própria

4. Resultados

A avaliação quantitativa do impacto dos modelos de Inteligência Artificial no PIB é uma forma de avaliação agregada sobre o futuro da IA a partir de estudos recentes, após o lançamento do chatGPT. O principal desafio desse processo é a incerteza que envolvem o desenvolvimento das tecnologias de IA sendo assim, altamente complexas as possíveis mensurações. Apesar disso, inúmeros autores se aprofundaram em pesquisas quantitativas desses impactos. Os métodos utilizados foram muito variados, assim como os impactos previstos.

O Quadro 1 mostra as informações básicas dos trabalhos obtidos na revisão sistemática. A seguir, os impactos tratados nesses estudos são separados entre diretos e indiretos. Por impactos diretos entende-se como estudos que quantificaram os impactos da IA no futuro do PIB, isto é, quanto a IA irá gerar de aumento do PIB. Já os impactos indiretos, entende-se como estudos que utilizaram ferramentas econométricas para identificar apenas correlação estatística entre IA e variáveis macroeconômicas.

Quadro 1 – Estudos da Análise Sistêmica

Título Estudo	Autores	Periódico	Data Publicação
The Simple Macroeconomics of AI	Acemoglu, Daron	Massachusetts Institute of Technology	April, 2024
The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth (Briggs/Kodnani)	Jan Hatzius; Joseph Briggs; Devesh Kodnani; Giovanni Pierdomenico	Goldman Sachs Economics	March, 2023
The economic potential of generative AI The next productivity frontier	Michael Chui; Eric Hazan; Roger Roberts; Alex Singla; Kate Smaje; Alex Sukharevsky; Lareina Yee; Rodney Zimmel	McKinsey & Company	June, 2023
Scenarios for the Transition to AGI	Anton Korinek and Donghyun Suh	Technical Report, National Bureau of Economic Research	2024
Digital Progression and Economic Growth: Analyzing the Impact of ICT Advancements on the PIB of European Union Countries	Anastasios I. Magoutas, Maria Chaideftou, Dimitra Skandali and Panos T. Chountalas	Economies	March, 2024
Substitution or creation? Identifying the role of artificial intelligence in employment	Meng QIN, Hsu-Ling CHANG, Chi-Wei SU , Raluca-Ioana RĂCĂȚĂIAN, Andreea-Florentina CRĂCIUN	Vilnius Gediminas Technical University	Sep, 2024
Productivity and wages: what was the productivity-wage link in the digital revolution of the past and what might occur in the AI revolution of the future?	Edward Lazear; Kathryn L. Shaw; Grant E. Hayes; James M. Jedras	NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH	Dec, 2022

Fonte: Elaboração própria

4.1 – Impactos diretos

Acemoglu (2024) utiliza o teorema de Hulten para determinar os impactos macroeconômicos da IA, isto é, o efeito da IA sobre PIB e os ganhos de produtividade agregada podem ser estimados por qual fração de tarefas são impactadas pela IA com redução de custos e aumento de produtividade. Sendo assim, a partir de inúmeros estudos, em especial as bases desenvolvidas por Eloundou et al. (2023) e Svanberg (2024), que avaliam as tarefas expostas a IA, ou seja, a partir dos efeitos microeconômicos da IA estimou-se os impactos macroeconômicos. Dessa forma, obteve-se que 19,9% das tarefas de trabalhos dos EUA são expostas à IA sendo 23% dessas lucrativamente executadas pela IA e consequentemente resultando em 15,4% de redução de custos na média total. Isso irá gerar 0,07% de crescimento anual na produtividade total dos fatores (PTF) e um aumento total entre 1,1% e 1,8% no PIB nos próximos 10 anos nas estimativas mais otimistas. Porém, supondo que 74% das tarefas são de fácil implementação e o restante são difíceis, exigindo mais tempo e investimento, o impacto no PIB será entre 0,55% e 0,90% em 10 anos. Além disso, o autor destaca que a previsão dos efeitos da IA na macroeconomia é extremamente difícil e terá que ser baseado em uma série de suposições.

Já o Goldman Sachs (2023) emitiu um relatório aos investidores em 2023 sobre os potenciais da IA e debate se estamos em um momento disruptivo da história, a partir uma aceleração na automação de tarefas, que resultará em redução de custos e aumento de produtividade. O estudo avalia se a IA pode ser comparada a inovações como a eletricidade e a internet. Estima-se que 25% das tarefas de trabalhos atuais podem ser automatizadas pela IA nos Estados Unidos e Europa, e 18% do trabalho globalmente. Dessa forma, assumiu-se que 7% dos empregos serão substituídos pela IA, 63% será complementado e 30% não será afetado. Devida alta incerteza para estimar o aumento da produtividade, foram utilizados três cenários, que mostram uma faixa 0,3 – 3,0pp, com isso foi utilizado 1,5pp nos Estados Unidos e 1,4pp ao ano de ganho de produtividade no mundo durante os próximos 10 anos e avaliando o impacto atrasado nas economias emergentes. A partir dessas estimativas, chega-se ao impacto de 7% ao PIB global em 10 anos, apesar da incerteza significativa em torno do alto potencial da IA generativa e necessidade de entrega das promessas, conforme programado.

Já McKinsey & Company (2023) emite um relatório com foco empresarial, sobre o potencial da IA Generativa, sendo considerada a próxima fronteira da produtividade. A partir da base estatísticas da US Bureau of Labor com 850 ocupações e 2100 atividades foi estimada uma avaliação do potencial de automação de cada tarefa, foram modelados cenários. Primeiro estimou-se o tempo para implementação de automação de cada atividade. Depois, estimou-se o custo da tecnologia, desde da introdução até a redução com o tempo, com foco no momento que o custo da tecnologia se torna igual ao custo do trabalho do ser humano. Com base na análise histórica de várias tecnologias foram modeladas um faixa de tempo de 27 anos entre o começo e platô, usando uma curva-S. Estima-se um aumento anual de produtividade de 0,5% a 3,4% de 2023 a 2040, dependendo da taxa de adoção da automação, com a IA Generativa contribuindo com 0,1 a 0,6 pp do crescimento. Por fim, estima-se que a IA Generativa ofereça um impulso de US\$ 2,6 trilhões a US\$ 4,4 trilhões para a economia global nos próximos 10 anos, estimando o impacto da IA e outras tecnologias de automação entre 1,5 a 3,4pp anual no PIB das economias avançadas nos próximos 10 anos.

Korinek and Suh (2024) analisa como a produção e os salários se comportam em diferentes cenários de progresso tecnológico, que para os autores irão culminar na Inteligência Artificial Geral (AGI), definida como a capacidade dos sistemas de IA de executar todas as tarefas que os humanos podem executar. Os autores consideraram um modelo econômico em que todas as tarefas humanas podem ser automatizadas e estruturam a análise em torno de três cenários principais: (1) um avanço lento e controlado, (2) um salto tecnológico abrupto e (3) a interação com sistemas superinteligentes. Além disso, eles simularam também o crescimento sem nenhuma grande inovação, cenário descrito “como é hoje” e apresentam a previsão de um aumento de 2% anualmente no produto. Porém, nos cenários 2 e 3 o aumento de 18% anualmente no produto após a completa automatização das tarefas. Conforme Acemoglu (2024): “Korinek e Suh (2024) preveem um crescimento do PIB “de base” de 100% nos próximos 10 anos (cenário 1) e também consideram a possibilidade de taxas de crescimento da AGI

“agressivas” muito mais elevadas com um aumento de 300% no PIB (cenário 2).” Cada cenário é baseado principalmente na velocidade de desenvolvimento até a AGI. A partir da “crença” que a Inteligência Artificial irá substituir o ser humano, levando a possíveis colapsos salariais o artigo apresenta uma visão pessimista para o mercado de trabalho, porém muito otimista para a acumulação de capital e aumento do produto agregado em todos os cenários previstos.

4.2 – Impactos indiretos

Magoutas et al (2024) avalia a relação dinâmica entre o crescimento econômico da União Europeia e o desenvolvimento dos setores de Tecnologia da Informação e Comunicação (ICT, em inglês), a partir de bases de dados globais (DESI, EUROSTAT e OECD) do período entre 2017 e 2022. Foi utilizado o Modelo de Equações Estruturais (SEM) para testar a hipótese, que o ICT tem um efeito positivo no progresso econômico. Para previsão dos dados, foi utilizado o software SmartPLS. Os resultados da análise mostraram que o crescimento do ICT tem uma influência direta e positiva no crescimento do PIB. Os cinco indicadores com maior impacto em ordem decrescente foram: Habilidades de usuários de internet (DCS=0,891), Usuários E-Governo (EGU=0,844), Habilidades avançadas de empresariais nos treinamentos de ICT (EPT=0,834), Serviços Públicos Digitais (DP=0,760) e Adoção de IA (IA=0,758). Esse estudo demonstrou que, pela primeira vez, a IA foi um “acionador” do crescimento econômico nos 27 estados da União Europeia, no contexto da Integração da Tecnologia Digital nos Negócios.

QIN et al (2024) produziram o artigo intitulado “Substituição ou criação? Identificando o papel da Inteligência Artificial no emprego”. Foi utilizada a técnica de autorregressão de vetor de frequência mista (MF-VAR), que incorporaria de forma inovadora dados em diferentes frequências em um modelo para identificar a correlação entre o índice mensal de inteligência artificial (AII) e taxa de desemprego (UR) sob o controle do PIB trimestral na China. O intervalo dos dados foi 2013 a 2023. Os resultados apontaram que, apesar de os impactos da IA serem ambivalentes, o efeito total da tecnologia no mercado de trabalho chinês é predominantemente de substituição de empregos. A pesquisa também aponta que a interação entre o Produto Interno Bruto (PIB), a taxa de desemprego e o Índice de Inteligência Artificial (AII) revela uma relação complexa, onde a IA influencia o mercado de trabalho e PIB de forma não linear.

Lazear; Shaw; Hayes e Jedras (2022) analisam a relação entre produtividade e salários na revolução digital do passado, e o que pode ocorrer na revolução da IA. O artigo apresenta análises e conceitos bem estruturados e com a relação entre a desigualdade salarial crescente e os ganhos de produtividade entre trabalhadores dos diferentes níveis de atividades. Foram utilizados dados agregados de produtividade e salários de países da OCDE e dos EUA. Para avaliar a produtividade por nível de habilidade foi medido o nível educacional de cada setor industrial, ou seja, quantidade média de anos de educação dos trabalhadores. Os autores identificaram, que aumento na produtividade agregada e PIB per capita são repassados para os salários agregados de todos os níveis. Porém, quando foi adicionada à dummy para produtividade por nível educacional na regressão, percebeu-se que a produtividade entre os profissionais com maior nível educacional aumentou mais e também os salários aumentaram mais, consequentemente fortaleceu a diferença salarial entre os níveis educacionais. Dessa forma, a correlação salário-produtividade existe, de modo que ganhos na produtividade agregada e PIB per capita, resultaram em salários mais altos para trabalhadores no topo e na base da distribuição de salários. Dessa forma, o aumento da produtividade impulsionado por tecnologias pela IA tende a favorecer grupos específicos, que embora tenham aumento no PIB per capita, aumentam as disparidades salariais.

O quadro 2 mostra o resumo dos métodos utilizados em cada estudo e os resultados principais nestes.

Quadro 2 – Resumo metodologia e resultados

	Título do Estudo (Autores, ano)	Resumo metodologia	Resultados
1	The Simple Macroeconomics of AI (Acemoglu, 2024)	Teorema de Hulten: o PIB e os ganhos de produtividade agregada podem ser estimados por qual fração de tarefas são impactadas e economias médias de custos no nível da tarefa	19,9% das tarefas de trabalho dos EUA são expostas à IA Economia média nos custos com mão de obra - 27% Economia média total de custos - 15,4% Aumento entre 0,55% e 1,8% no PIB em 10 anos
2	The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth (Jan Hatzius; Joseph Briggs; Devesh Kodnani; Giovanni Pierdomenico, 2023)	Avaliação dos empregos que automatizados e cria 3 cenários de aumento de produtividade, além de diferenciar a velocidade de implantação por desenvolvimento do país	Em 10 anos: 1,5% ao ano em crescimento de produtividade 7% no PIB Global
3	The economic potential of generative AI The next productivity frontier (Michael Chui; Eric Hazan; Roger Roberts; Alex Singla; Kate Smaje; Alex Sukharevsky; Lareina Yee; Rodney Zimmel, 2023)	Avaliação potencial de automatização de 850 ocupações e geração da curva S para 27 anos.	Em 10 anos: 1,5% a 3,4% ao ano em crescimento do PIB nas Economias Avançadas Impulso de US\$17,1 a US\$25,6 trilhões para a Economia Global
4	Scenarios for the Transition to AGI (Anton Korinek and Donghyun Suh, 2024)	Modelo econômico em que todas as tarefas humanas serão automatizadas	Em 10 anos: 100% PIB (Cenário 1: Avanço da IA lento e controlado) 300% PIB (Cenário 2: Salto tecnológico abrupto)
5	Digital Progression and Economic Growth: Analyzing the Impact of ICT Advancements on the PIB of European Union Countries (Anastasios I. Magoutas, Maria Chaideftou, Dimitra Skandali and Panos T. Chountalas, 2024)	Modelagem de equações estruturais a partir de dados entre 2017 e 2022 para avaliar a relação entre PIB e ICT	O uso de IA em negócios é um dos determinantes do desempenho Econômico. ICT e PIB possuem correlação positiva

Tabela 2 – Resumo metodologia e resultados (continuação)

	Título do Estudo (Autores, ano)	Resumo metodologia	Resultados
6	Substitution or creation? Identifying the role of artificial intelligence in employment (Meng QIN, Hsu-Ling CHANG, Chi-Wei SU , Raluca-Ioana RĂCĂȚĂIAN, Andreea-Florentina CRĂCIUN, 2024)	Técnica de autorregressão de vetor de frequência mista (MF - VAR), a partir dos do índice mensal de inteligência artificial e o desemprego	A pesquisa também aponta que a interação entre o Produto Interno Bruto (PIB), a taxa de desemprego e o Índice de Inteligência Artificial (AII) revela uma relação complexa, onde a IA influencia o mercado de trabalho de forma não linear
7	Productivity and wages: what was the productivity-wage link in the digital revolution of the past and what might occur in the AI revolution of the future? (Edward Lazear; Kathryn L. Shaw; Grant E. Hayes; James M. Jedras, 2022)	Regressão Linear com Dummies	Correlação salário-produtividade existe, de modo que ganhos na produtividade agregada, ou PIB por pessoa, resultaram em salários mais altos para trabalhadores no topo e na base da distribuição de salários.

Fonte: Elaboração própria

5. Considerações finais

Este trabalho procurou, no uso da revisão sistemática da bibliografia, estabelecer um conjunto de critérios de elegibilidade com o objetivo principal de analisar estudos quantitativos, que calculam o impacto da IA na Macroeconomia. Ao longo da pesquisa foram identificados 4 estudos que estimaram impactos diretos da IA no PIB e 3 que apresentam estudos com impactos indiretos.

Além da revisão sistemática, houve uma contextualização histórica da IA e seu paralelo com algumas teorias dos ciclos econômicos, resgatando conceitos de Schumpeter até a moderna visão Neoschumpeteriana com a inserção do termo GPT. Albuquerque (2021) e Lazear et al(2022) consideram a IA um GPT.

As metodologias para cálculo do impacto da IA foram muito variadas, apesar da maioria partir de princípios microeconômicos para estimar os impactos macroeconômicos. Com destaque para o trabalho de Acemoglu (2024) por apresentar uma base científica clara e fundamentada, apesar da necessidade de suposições no modelo de previsão.

Alguns autores acreditam na AIG e estimaram com muito otimismo a capacidade disruptiva da IA, em substituição das atividades humanas. Outros foram mais céticos. Os trabalhos finais analisados expuseram impactos diretos no PIB nos próximos anos e os impactos indiretos, com avaliações de correlação.

Iniciando pelos resultados dos 4 estudos, que avaliam o impacto direto da IA na macroeconomia mundial, pôde-se notar que os impactos estimados do avanço da IA no PIB Mundial podem variar entre 0,55% a 300% em 10 anos. Ou seja, uma elevada variabilidade na estimativa. Já os 3 estudos que avaliaram dados históricos para mensurar as relações do IA com a macroeconomia, concluíram que avanço da IA e crescimento do PIB possuem correlação positiva, assim como a IA influencia o mercado de trabalho tanto substituindo empregos quanto possivelmente aumentando as disparidades salariais.

É útil destacar que o desenvolvimento capitalista sempre foi pautado em inovações, que naturalmente geram expectativas. No caso da IA, houveram expectativas frustradas ao longo da história. Será diferente agora? Só o tempo trará a resposta pois, baseado na incerteza neoschumpeteriana, é muito complexa a avaliação futura de uma tecnologia que está sendo desenvolvida. Apesar disso, é importante buscar antecipar possíveis efeitos da IA a fim de estabelecer políticas públicas adequadas.

O presente estudo possui limitações, que se mostram como oportunidade de pesquisa. Dentre elas, está a ampliação do horizonte temporal de seleção dos artigos, além de avaliações de impactos em outras variáveis macroeconômicas como: emprego, renda, investimento e produtividade.

Referências

- Acemoglu, Daron. “The Simple Macroeconomics of AI”. *MIT*, 5 de abril de 2024.
- Bresnahan, T.; Trajtenberg, M. General purpose technologies: engines of growth? *Journal of Econometrics*, v. 65, n. 1, p. 83-108, 1995.
- Chui, Michael, Eric Hazan, Roger Roberts, Alex Singla, Kate Smaje, Alex Sukharevsky, Lareina Yee, e Rodney Zemmel. “The next Productivity Frontier”. *McKinsey & Company*, junho de 2023.
- Costa, Anna Helena Reali, e Fabio Gagliardi Cozman. “O futuro da pesquisa em inteligência artificial”. *Revista USP*, nº 141 (5 de junho de 2024): 133–46. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i141p133-146>.
- FORD, M. Architects of intelligence: the truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018.
- Freeman, C. The Kondratiev long waves, technical change and unemployment. *In: OECD. Structural determinants of employment and unemployment*. v. 2. Paris: OECD, 1977. p. 181-196.
- Freeman, C. (ed.) Long waves in the world economy. London: Frances Pinter (Publishers), 1983.
- Freeman, C. Critical survey: the economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, v. 18, n. 5, p. 463-514, 1994.
- Haenlein, Michael, e Andreas Kaplan. “A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence”. *California Management Review* 61, nº 4 (agosto de 2019): 5–14. <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>.
- Hatzius, Jan, Joseph Briggs, Devesh Kodnani, e Giovanni Pierdomenico. “Global Economics Analyst The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth (Briggs Kodnani)”. *Goldman Sachs*, 26 de março de 2023.
- Helpman, E. (ed.). General purpose technologies. Stanford: Stanford University, 1998.
- Korinek, Anton, e Donghyun Suh. “Scenarios for the Transition to AGI”. *NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH*, março de 2024.
- Lamb, Hilary; Levy, Joel; Quigley, Claire e Winarski, Regiane. *Simples: Inteligência Artificial*. Editora Globo, 2023
- Lazear, Edward, Kathryn L Shaw, Grant E Hayes, e James M Jedras. “NBER WORKING PAPER SERIES”. *NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH*, dezembro de 2022.
- Magoutas, Anastasios I., Maria Chaideftou, Dimitra Skandali, e Panos T. Chountalas. “Digital Progression and Economic Growth: Analyzing the Impact of ICT Advancements on the PIB of European Union Countries”. *Economies* 12, nº 3 (6 de março de 2024): 63. <https://doi.org/10.3390/economies12030063>.
- Martins, Nildred Stael Fernandes, André Luiz Da Silva Teixeira, e Fernando Batista Pereira. “Incerteza nos investimentos inovativos: uma discussão neoschumpeteriana e pós- keynesiana”. Em *Blucher Engineering Proceedings*, 2012–30. Belo Horizonte: Editora Blucher, 2021. <https://doi.org/10.5151/v-enei-758>.
- Nestor Maslej, Loredana Fattorini, Raymond Perrault, Vanessa Parli, Anka Reuel, Erik Brynjolfsson, John Etchemendy, Katrina Ligett, Terah Lyons, James Manyika, Juan Carlos Niebles, Yoav Shoham,

Russell Wald, and Jack Clark, “The AI Index 2024 Annual Report,” AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, April 2024.

Peng, Sida, Eirini Kalliamvakou, Peter Cihon, e Mert Demirer. “The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot”. arXiv, 13 de fevereiro de 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.06590>.

Perez, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, v. 34, n. 1

_____.2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/investigacoes-experimentais/estatisticas-experimentais/35867-pesquisa-de-inovacao-semestral.html?edicao=41288&t=downloads> Acesso em: 19/11/2024.

Qin, Meng, Hsu-Ling Chang, Chi-Wei Su, Raluca-Ioana Răcățaian, e Andreea-Florentina Crăciun. “Substitution or Creation? Identifying the Role of Artificial Intelligence in Employment”. *Technological and Economic Development of Economy* 0, nº 0 (9 de setembro de 2024): 1–22. <https://doi.org/10.3846/tede.2024.21929>.

Rapini, Márcia Siqueira, Janaina Ruffoni, Leandro Alves Silva, e Eduardo da Motta Albuquerque. “Economia da ciência, tecnologia e inovação Fundamentos teóricos e a economia global”. *FACE - UFMG*, 2021.

ROSENBERG, N. Uncertainty and technical change. In: LANDAU, R.; TAYLOR, T.; WRIGHT, G. *The mosaic of economic growth*. Stanford: Stanford University, 1996. p. 334-356.

Schumpeter, Joseph. “BUSINESS CYCLES. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process.” *McGraw-Hill Book Company*, 1939, 461.

Schumpeter, Joseph Alois. *Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico*. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

Sichman, Jaime Simão. “Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos”. *Estudos Avançados* 35, nº 101 (abril de 2021): 37–50. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35101.004>.