

# **Análise de Projetos de Pesquisa com Foco em Inteligência Artificial e Tecnologias Digitais para Combater a COVID-19**

## *Analysis of Research Projects Focusing on Artificial Intelligence and Digital Technologies to Fight COVID-19*

*Karla Susiane dos Santos Pereira<sup>1</sup>*

*Daniel Reis Armond de Melo<sup>1</sup>*

*Dalton Chaves Vilela Junior<sup>1</sup>*

*Lana Gonçalves Rodrigues<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil

### **Resumo**

Em 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou a pandemia da COVID-19 como emergência de saúde pública internacional. Surgiram investimentos de vários países e continentes em projetos de pesquisa e inovação tecnológica com o objetivo de mitigar essa problemática global. Este artigo pretende avaliar os projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) referentes às soluções de combate à COVID-19 que utilizam Inteligência Artificial (IA) e tecnologias relacionadas e que receberam financiamento no período de 2020 a 2022, além dos que foram registrados na plataforma Orbit Insight. Em relação aos executores dos projetos, identificou-se que 50% são empresas, 23% são institutos, 20% são universidades e 7% fazem parte do governo dos Estados Unidos. Em relação aos países que mais investiram, 57,14% são financiadores da Comissão Europeia e 42,86% são dos Estados Unidos.

Palavras-chave: COVID-19. Pesquisa e Inovação. Tecnologia.

### **Abstract**

In 2020, the World Health Organization declared that the COVID-19 pandemic become a public health emergency of international concern. Thus, investments from various countries and continents have emerged in research projects and technological innovation aimed at mitigating this global problem. This article aims to evaluate the Science, Technology and Innovation (ST&I) projects concerning solutions using Artificial Intelligence (IA) and related technology to fight COVID-19 that received funding in the period from 2020 to 2022 and were registered on the Orbit Insight platform. Regarding the institutions responsible for the projects, 50% are companies, 23% are institutes, 20% are universities, and 7% are from the United States government. Regarding the countries that have invested the most, 57.14% are funded by the European Commission and 42.86% are funded by the United States.

Keywords: COVID-19. Research and Innovation. Technology.

Área Tecnológica: Desenvolvimento de Sistemas. Dispositivos Eletrônicos. Suporte Tecnológico.



# 1 Introdução

Em março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) formalizou que a propagação do coronavírus ou da *Coronavirus disease 2019* (COVID-19) já se encontrava em estágio de pandemia e que se tratava de uma emergência de saúde pública de interesse internacional (AMORIM; SALLES; GRECCO, 2022). Diversos países buscaram coordenar iniciativas de pesquisa internamente e também por meio de redes internacionais. Muitos desses esforços estão representados pelos vários editais para financiamento de pesquisas científicas e tecnológicas.

Dessa forma, surgiram investimentos de vários países e continentes em projetos de pesquisa e inovação tecnológica com o objetivo de mitigar essa problemática global, uma vez que a saída dessa crise sanitária, econômica e social estava associada à capacidade de produção de conhecimento e novas tecnologias.

Entre essas tecnologias de suporte, estão a IA e suas aplicações de identificação, triagem e diagnóstico do vírus, reaproveitamento ou reposicionamento de medicamentos, e previsão de novos focos de epidemia, podendo ainda ser combinada com dispositivos digitais como *Internet of Things* (IoT, Internet das Coisas), robótica, etc.

Chang *et al.* (2021) afirmam que a tecnologia de IA está gradualmente saindo do laboratório em direção às aplicações clínicas e de saúde pública, a exemplo de análises inteligentes de extensos dados médicos e alertas precoces de epidemias. Todavia, para que essas soluções cheguem ao mercado e à sociedade, são necessários que sejam realizados investimentos em PD&I. Uma maneira de analisar essa perspectiva é por meio da análise dos projetos de pesquisa financiados por organizações e governos.

Nos Estados Unidos e no Reino Unido, desde o início da pandemia, os investimentos dessa natureza foram focados diretamente em Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI). Na Alemanha e no Canadá, os investimentos foram para auxiliar empresas com soluções que minimizassem os impactos da COVID-19. Os contextos citados eram diferentes do que acontecia no Brasil que não tinha uma estratégia de longo prazo definida para enfrentar a pandemia. A comunidade científica prestou assessorias sobre estratégias de curto prazo envolvendo medidas de isolamento social para governos estaduais (IPEA, 2020).

Conforme aponta a Nota Técnica de n. 64 do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), datada de maio de 2020, existiam muitas perguntas em relação à doença ainda sem respostas, desde questões epidemiológicas até protocolos mais eficientes de tratamento e prevenção (DE NEGRI; KOELLER, 2020).

Todas essas questões necessitam de um esforço de pesquisa e de inovação muito grande e ágil, para que possam dar respostas em tempo de minimizar os efeitos da crise na sociedade. Por essa razão, muitos governos estão coordenando iniciativas, alocando recursos adicionais para fomentar a pesquisa e a inovação, mobilizando universidades, instituições de pesquisa e empresas, e definindo prioridades de pesquisa adequadas às suas realidades. (DE NEGRI; KOELLER, 2020, p. 7)

Em relação aos investimentos nas ações de PD&I adotadas pelos países para fazer frente à crise da COVID-19 em 2020, a Tabela 1 mostra que o Canadá investiu 11,8% de seu orçamento federal em PD&I, seguido do Reino Unido com destinação de 10,8% do seu orçamento e 6,3% da Alemanha.

**Tabela 1** – Investimentos dos países em PD&I frente à pandemia da COVID-19

AÇÃO ADOTADA	ESTADOS UNIDOS	REINO UNIDO	CANADÁ	ALEMANHA	BRASIL
Em moeda local (bilhões)	6,1	1,31-1,35	1,3	2,1	0,47
Novos recursos para PD&I					
Em US\$ (bilhões)	6,1	1,66-1,72	0,97	2,34	0,10
Orçamento federal em P&D (%)	4,1	10,8	11,8	6,3	1,8

Fonte: De Negri e Koeller (2020, p. 18)

De modo geral, os países têm colocado recursos significativos na pesquisa sobre a doença. No Reino Unido e no Canadá, esses recursos equivalem a mais de 10% de todo o investimento federal realizado em P&D no último ano disponível. Nos Estados Unidos, embora os investimentos representem pouco mais de 4% do vultoso orçamento federal em P&D, são significativos em termos absolutos e todo esse esforço está sendo feito em pesquisas relacionadas à doença. (DE NEGRI; KOELLER, 2020, p. 7)

A OMS e as organizações multilaterais de pesquisa passaram a encabeçar um movimento de coordenação internacional de pesquisas sobre a COVID-19. A União Europeia (UE) também traçou estratégias afirmando que pesquisas e ações seriam essenciais para que a UE pudesse dar uma resposta coordenada para a ameaça à saúde pública da COVID-19. A UE buscou investimentos públicos e privados para alinhar os fluxos de financiamento e investimento para mitigar essa situação pandêmica.

De acordo com Arjona e Samson (2020), a UE promoveu iniciativas em prol da recuperação europeia frente à pandemia. Algumas estão listadas a seguir:

- a) *Covid19 data platform*: para rápida coleta e compartilhamento de dados de pesquisa disponíveis. A plataforma faz parte da ação *ERAvsCorona Plan* e tornou-se um marco nos esforços da UE para apoiar pesquisadores na Europa e em todo o mundo na luta contra o surto da COVID-19.
- b) *Horizon 2020 Green Deal*: para promover uma sociedade justa e sustentável. Essa chamada apresentou um orçamento estimado em cerca de €1 bilhão para abordar as principais prioridades do Pacto Ecológico Europeu e estabelecer um caminho para iniciativas adicionais de pesquisa e inovação no contexto europeu.
- c) *Innovative Health Initiative*: para a integração de tecnologias intersetoriais, *know-how*, produtos, serviços e fluxos de trabalho para cuidados de saúde centrados nas pessoas.

Diante de tantas iniciativas envolvendo a comunidade científica, outra frente de pesquisa entrou em ação: a análise dos dados sobre a produção científica e tecnológica sobre COVID-19. O Quadro 1 mostra quais itens foram utilizados pelos autores nessa investigação.

**Quadro 1** – Análise dos dados sobre a produção científica e tecnológica sobre COVID-19

AUTOR(ES)	OBJETO DE ESTUDO DO ARTIGO	ITENS AVALIADOS
Fry <i>et al.</i> (2020)	Padrões de colaboração internacional no estágio inicial de pesquisas sobre COVID-19.	1) Padrões de publicação e números; 2) Padrões de financiamento público para comparar o período antes da COVID-19 e o período de crise da COVID-19; 3) A estrutura das equipes científicas; 4) Medidas de qualidade de publicações formais; 5) Padrões colaborativos em nível internacional; 6) Colaborações em rede em nível internacional.
Golinelli <i>et al.</i> (2020)	Descrição das soluções digitais que foram relatadas na literatura científica para mitigar o impacto da COVID-19, na fase inicial, em indivíduos e nos sistemas de saúde.	Classificação das tecnologias digitais e serviços de saúde (metas do sistema de saúde, grau de inovação e escalabilidade para outras áreas geográficas).
Abd-Alrazaq <i>et al.</i> (2021)	Visão geral das tecnologias, implementadas durante a primeira onda da pandemia da COVID-19.	1) Características dos estudos (mês, tipo e país de publicação); 2) Característica das tecnologias (tipo geral, finalidade, tipo de desenvolvimento, redes sociais e plataformas de videoconferência, público-alvo, condição de saúde, local de aplicação da tecnologia, conectividade da internet, modo).
Oliveira <i>et al.</i> (2021)	Base de dados de artigos indexados na Web of Science (WOS).	1) Ritmo da produção científica sobre COVID-19, 2) Países e institutos de pesquisa, 3) <i>Journals</i> e categorias, 4) Citações, 5) Termos mais frequentes, 6) Contribuição nacional.

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

Em relação à produção científica de forma geral como resposta à pandemia da COVID-19, destacam-se os autores Fry *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2021). Fry *et al.* (2020) avaliaram as tendências da colaboração internacional durante os primeiros meses da pandemia da COVID-19 a partir da comparação de medidas de colaboração em período anterior à COVID-19 e período de crise da pandemia. Essa avaliação utilizou um conjunto de dados completos de artigos científicos sobre pesquisas relacionadas ao coronavírus entre 1º de janeiro de 2018 e 23 de abril de 2020 extraídos do Clarivate Web of Science (WOS), Elsevier Scopus e materiais de origem PMC extraídos do COVID-19 (COVID-19 conjunto de dados de pesquisa aberta). A complementação dos dados de artigos publicados e analisados, entre 1º de janeiro e 23 de abril de 2020 do *bioRxiv.org*, *medRxiv.org* e *arXiv.org*, foi obtida do banco de dados *Dimensions*.

Fry *et al.* (2020) alegam que a China assumiu a liderança em publicações de pesquisa durante o período da COVID-19, com a porcentagem de artigos chineses crescendo para 39 de 22% antes do surto, enquanto a produção dos Estados Unidos caiu na produção total durante o período COVID-19. Identificou-se que, durante o período da COVID-19, as agências chinesas foram consideradas fonte de financiamento de trabalhos publicados durante a pandemia. Os financiadores que mais investiram foram a Fundação Nacional de Ciências Naturais da

China (NSFC), o Ministério da Ciência e Tecnologia da China (MOST), o Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento-Chave da China, Programa Nacional de Pesquisa Básica da China, Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Alta Tecnologia da China. Os Estados Unidos, por meio do Departamento de Saúde dos Estados, que inclui os Institutos Nacionais de Saúde e suas afiliadas agências de financiamento, tornou-se o terceiro financiador mais citado durante a COVID-19.

Já Oliveira *et al.* (2021) desenvolveram uma base de dados de artigos indexados na WOS de 24 de janeiro até 13 de dezembro de 2020 com o objetivo de compreender o impacto científico da resposta à pandemia. Em relação aos países, 12 responderam por cerca de 95% da produção científica mundial sobre COVID-19 (Estados Unidos, China, Itália, Inglaterra, Índia, Canadá, Alemanha, Espanha, Austrália, Brasil, Irã e Turquia). Em relação aos institutos de pesquisa, os mais produtivos foram a Universidade de Harvard, a Universidade de Londres, o Sistema da Universidade da Califórnia, a Universidade Huazhong de Ciência e Tecnologia e Harvard Faculdade de Medicina. Das 25 organizações mais produtivas nos primeiros seis meses, a maioria era dos EUA (13) e da Inglaterra (4).

Em relação às categorias, foram destacadas: medicina (geral e interna), saúde ocupacional ambiental pública, doenças infecciosas, cardiologia e cirurgia, entre outros. Em relação ao conteúdo do título, os termos mais frequentes incluíram: impacto, clínico, caso, resposta, risco, gestão, tratamento, testes, imunidade/imunologia, câncer e saúde mental.

Em relação à produção científica advinda da implementação de soluções digitais e uso de tecnologias na pandemia da COVID-19, destacam-se os autores Golinelli *et al.* (2020) e Abd-Alrazaq *et al.* (2021). Golinelli *et al.* (2020), que conduziram uma revisão sistemática de literatura relacionada à fase inicial da COVID-19 (de 1º de janeiro a 30 de abril de 2020) buscando no sistema MEDLINE e no MEDRXIV trabalhos que apresentavam tecnologias digitais em resposta à pandemia. Foram identificados 269 trabalhos. A maioria dos artigos selecionados abordou o uso de tecnologias digitais para diagnóstico, vigilância e prevenção. Essas soluções digitais e tecnologias inovadoras foram propostas para o diagnóstico da COVID-19. Em particular, nos artigos revisados, sugestões foram elencadas sobre o uso de ferramentas baseadas em IA para o diagnóstico e triagem da COVID-19. Entre essas soluções, foram relatadas ferramentas de IA para diagnóstico, análise de *big data* e rastreamento móvel para vigilância e prevenção, e telemedicina e telessaúde, que se mostraram ferramentas transversais para diagnóstico, prevenção e tratamento.

Abd-Alrazaq *et al.* (2021) realizaram uma revisão de estudos, no dia 14 de agosto de 2020, com foco em tecnologias ou ferramentas digitais implementadas durante a COVID-19 para fornecer serviços relacionados à saúde (por exemplo, consultas, diagnóstico e acompanhamento), independentemente da condição de saúde, de usuário ou do ambiente-alvo. As bases utilizadas foram: Medline (via Ovid), Embase (via Ovid), PsycInfo (via Ovid), Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ACM Library, e Google Scholar.

Dos 7.374 trabalhos recuperados, 126 foram considerados elegíveis. A telemedicina foi a tecnologia mais comum implementada na primeira onda da pandemia da COVID-19, e o modo mais comum de telemedicina foi a síncrona. A finalidade mais comum das tecnologias foi a consulta, seguida pelo acompanhamento dos pacientes e o monitoramento do estado de saúde. Zoom e WhatsApp foram as plataformas de videoconferência e mídia social mais usadas, respectivamente. Tanto os profissionais de saúde quanto os consumidores de saúde foram o público-alvo mais comum. A condição de saúde mais frequentemente visada foi COVID-19, seguida por quaisquer

condições de saúde física e condições de saúde mental. As tecnologias eram baseadas na *Web* em 84,1% dos estudos. As tecnologias eram utilizadas por meio de 11 modos, sendo os mais comuns aplicativos móveis, aplicativos de *desktop*, chamadas telefônicas e *Websites*.

Roberts *et al.* (2021) revisaram 62 estudos sobre aplicações de IA (*Machine Learning (ML)* ou Aprendizagem de Máquina especificamente) por meio de revisão sistemática. Os autores concluíram que, apesar dos enormes esforços dos pesquisadores para desenvolver modelos de ML para diagnóstico e prognóstico da COVID-19, foram encontradas diversas falhas metodológicas e muitos vieses em toda a literatura, levando-os a considerar os desempenhos relatados nos estudos como altamente otimistas. Entre as falhas relatadas pelos autores, é possível citar: (1) manuscritos insuficientemente documentados descrevendo um método reproduzível; (2) nenhum método que segue as melhores práticas para desenvolver um modelo de ML; e (3) validação externa insuficiente para justificar a aplicabilidade mais ampla do método. Como ficou demonstrado, diversos estudos focaram em soluções para a COVID-19 publicadas em periódicos científicos. Todavia, Bullock *et al.* (2020) e Lalmuanawma, Hussain e Chhakchuak (2020) apontaram que poucas soluções encontradas por meio de revisão de literatura apresentaram maturidade operacional. Por isso, é importante definir um roteiro alternativo de pesquisa sobre as implementações de IA e suas aplicações em tecnologias ou ferramentas digitais de modo a entender como essa tecnologia pode contribuir tanto no curto prazo quanto ajudar a combater futuras pandemias.

As soluções propostas se encontram, em sua maioria, em níveis baixos de Technology Readiness Level (TRL), devido ao fato de elas terem sido propostas há um período curto de tempo. A evolução dos projetos para atingir o mercado requer evolução em sua maturidade e precisa seguir critérios confiáveis, responsáveis, robustos, éticos e específicos para aplicações de IA antes de serem disponibilizados para a ampla utilização. Os critérios utilizados para esse tipo de solução precisam considerar os riscos envolvidos na dinâmica de aprendizado da solução e o desafio de evitar comportamentos não confiáveis decorrentes das soluções propostas (LAVIN *et al.*, 2022).

Nesse sentido, diferentemente das abordagens das pesquisas citadas anteriormente, focadas principalmente na revisão de trabalhos publicados em periódicos, este artigo tem por objetivo avaliar os projetos de pesquisa e inovação tecnológica extraídos da plataforma Orbit Insight por meio dos itens: i) investimentos; ii) financiadores; iii) países; iv) organizações; v) categorias; e vi) repositórios, para estabelecer uma visão geral desses projetos que foram financiados para implementar métodos, modelos e produtos tecnológicos (baseados em IA e suas aplicações) como solução para combater a COVID-19.

## 2 Metodologia

Foi definida uma *string* de busca para composição dos projetos analisados, conforme mostra o Quadro 2. A extração ocorreu no dia 24 de março de 2022 na base da plataforma de inteligência e inovação Orbit Insight que recentemente passou a se chamar Innosabi Insight. Os projetos com foco nos Estados Unidos e na Europa que retornaram da busca foram financiados para execução entre os anos de 2020 e 2022. Em relação à plataforma, o processo de inserção de dados é feito de forma automática, a partir de fontes de informações selecionadas por uma equipe de curadoria da Questel. Em alguns casos, pode haver acordos com organiza-

ções terceiras que organizem bases de dados. Em outros, a recuperação ocorre diretamente do conteúdo publicado (exemplo: páginas de empresas). Tendo em vista a multiplicidade de fontes de informações, o grau de cobertura pode variar. O banco de dados do Orbit Insight inclui: banco de dados de patentes, publicações científicas, perfis de organizações que são referências e informações comerciais. Algumas dessas fontes são atualizadas diariamente (exemplo informações de negócios), enquanto outras podem ter atualização semanal (exemplo patentes) ou a cada dois meses (exemplo: artigos científicos e outras fontes de dados).

#### Quadro 2 – String de busca

*Insights on 2019 Novel Coronavirus Pneumonia (or 2019 Novel Coronavirus Disease, 2019 Novel Coronavirus Epidemic, 2019 Novel Coronavirus Outbreak, 2019 Novel Coronavirus Pandemic, 2019 Novel Coronavirus Infection, 2019 nCoV Disease, 2019 nCoV Infection, 2019 nCoV Acute Respiratory Disease, COVID 19, Coronavirus Disease 2019, SARS-CoV-2 Infection, SARS Coronavirus 2 Infection).*

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

Na primeira etapa, denominada primeiro filtro, foram avaliados apenas o título e o resumo de 543 projetos, de acordo com critérios de inclusão e de exclusão de trabalhos que estariam dentro do escopo da análise. Na segunda etapa (ou segundo filtro), foi conduzida uma leitura completa dos 70 projetos selecionados a partir do primeiro filtro. Os projetos foram incluídos/excluídos de acordo com os critérios de inclusão e de exclusão, conforme apresentados nos Quadros 3 e 4, resultando em 67 projetos. Nessa seleção, foram considerados somente trabalhos baseados em IA e suas subcategorias.

#### Quadro 3 – Critério de inclusão

#	CRITÉRIO DE INCLUSÃO
CI1	Trabalhos com métodos, modelos e produtos tecnológicos (principalmente baseados em IA, Aprendizagem de Máquina ou <i>Machine Learning</i> (ML) e Aprendizado Profundo ou <i>Deep Learning</i> (DL) e tecnologias digitais como <i>IoT</i> ) focados em otimizar processos e procedimentos utilizados no combate à pandemia da COVID-19 (prevenção, diagnóstico, cuidado e acompanhamento).

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

#### Quadro 4 – Critérios de exclusão

#	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO
CE1	Trabalhos que apresentem métodos, modelos e produtos tecnológicos que não atendam as ações diretas de combate (prevenção, diagnóstico, cuidado e acompanhamento) à pandemia da COVID-19.
CE2	Trabalhos que não apresentem métodos, modelos e produtos tecnológicos de combate (prevenção, diagnóstico, cuidado e acompanhamento) à pandemia da COVID-19.
CE3	Trabalhos sem descrição ou que não apresenta detalhamento.

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

A partir dos critérios de inclusão e de exclusão, foi considerado que o conceito de IA abriga ML que, por sua vez, tem como capacidade mais específica o DL, e as redes neurais artificiais (*Artificial Neural Networks*) constituem a espinha dorsal dos seus algoritmos. Todavia, para fins de coleta e análise de dados, foi utilizado um conceito mais abrangente que inclui métodos, mo-

delos e produtos tecnológicos (principalmente baseados em IA, ML e DL e também tecnologias digitais como *IoT*, dispositivos robóticos, etc. focados no combate à pandemia da COVID-19.

### 3 Resultados e Discussão

Sabe-se que a produção científica é fundamental para melhor entender a COVID-19 e seus efeitos e, principalmente, para desenvolver tecnologias que apresentem soluções parciais ou totais para o problema. A OMS coordenou e mapeou os esforços de pesquisa em âmbito mundial, agregou cientistas de diversas localidades com pesquisas sobre o tema e traçou as prioridades de pesquisa. No mundo todo, pesquisadores e cientistas, em muitos casos a partir de uma boa coordenação governamental, se debruçaram em pesquisas relacionadas tanto aos efeitos da doença sobre a saúde da população quanto aos impactos econômicos e sociais dessa pandemia (DE NEGRI *et al.*, 2020).

Conforme discutido na introdução, a presente pesquisa focou na análise dos projetos de PD&I extraídos da plataforma Orbit Insight. Para análise desses projetos, os seguintes itens foram elencados: i) investimentos: mostrando qual é a média de investimentos que os projetos receberão; ii) financiadores: detectando quais foram os maiores financiadores; iii) países: apontando os que mais financiaram; iv) organizações: indicando quais entidades estão coordenando os projetos; v) categorias: evidenciando a classificação dos projetos em *hardware*, *software*, fármaco e processo e/ou procedimentos clínicos; e vi) repositórios: expondo em quais bases de dados estão armazenados os projetos.

Em relação aos investimentos nos projetos, a Tabela 2 apresenta os itens: órgãos financiadores, percentual de financiamento, média de valor financiado e país-sede do órgão. Cerca de 4,8% dos projetos que receberam investimentos não tiveram o nome do financiador revelado.

**Tabela 2** – Tabulação de dados sobre valores financiados

ÓRGÃOS FINANCIADORES	PERCENTUAL	VALOR FINANCIADO (MÉDIA)	PAÍS-SEDE
Department of Health & Human Services	21%	US\$ 828.691,07 (820.486,20€)	Estados Unidos
Industrial Leadership – Innovation in SMEs (Horizon 2020)	7,4%	US\$ 3.314.890,30 (3.282.069,60 €)	Comissão Europeia
Societal Challenges - Health, demographic change and well-being (Horizon 2020)	7,4%	US\$ 2.610.609,22 (2.584.761,60 €)	Comissão Europeia
National Science Foundation	28%	US\$ 294.832,82 (291.913,68 €)	Estados Unidos
Department of Defense	9%	US\$ 1.032.869,17 (1.022.642,72 €)	Estados Unidos
Excellent Science – Future and Emerging Technologies (FET) (Horizon 2020)	3%	US\$ 5.534.128,35 (5.479.335,00 €)	Comissão Europeia
H2020-EU	19,4%	US\$ 2.312.891,45 (2.289.991,54 €)	Comissão Europeia

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Em estudo da mesma natureza, De Negri *et al.* (2020) realizaram um levantamento na Alemanha, França, Estados Unidos, Canadá e Reino Unido e apontaram que a maior parte dos esforços de PD&I estavam alinhados com as prioridades da OMS. Como exemplo do volume de recursos alocados para a PD&I, destacaram-se o Reino Unido, com 30 milhões de libras esterlinas, e o Canadá, com 52 milhões de dólares canadenses. Conforme discutido anteriormente, esse volume de investimentos indica que o Canadá investiu 11,8% de seu orçamento federal em PD&I, o Reino Unido destinou cerca de 10,8% do seu orçamento e 6,3% do orçamento total da Alemanha. Os resultados apresentados por Negri *et al.* (2020) possuem um recorte de países diferente do foco deste trabalho e foram citados para trazer uma visão geral dos investimentos em pesquisas focadas no combate à pandemia.

Em relação aos financiadores, identificou-se que a National Science Foundation dos Estados Unidos, agência governamental independente dos Estados Unidos, é responsável pela maior parte dos projetos financiados, seguida do U.S. Department of Health & Human Services e da União Europeia por meio dos editais do programa Horizonte 2020 (H2020-EU) destinados exclusivamente às pesquisas da COVID-19. Em relação aos países que mais investiram, 57,14% são financiados pela Comissão Europeia e 42,86% são financiados pelos Estados Unidos.

Em comparação ao contexto brasileiro, de acordo com De Negri *et al.* (2020), ainda no primeiro trimestre de 2020, foi instituído o Comitê de Especialistas Rede Vírus do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações com a missão de integrar os esforços de pesquisa científica e desenvolvimento; definir as prioridades de pesquisa; articular e integrar as iniciativas de PD&I e promover o desenvolvimento de tecnologias sobre viroses emergentes. Comparando-se aos Estados Unidos e Europa, identifica-se que a tratativa foi conduzida pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações, um órgão potencialmente com menor importância e orçamento que nos casos citados. Além disso, não foram identificados recursos específicos para esse comitê, o que dificultou sua atuação.

Em relação às organizações executoras dos projetos, verificou-se que metade era empresas privadas. No entanto, responderam por 22% do total de projetos financiados, enquanto 32% projetos foram conduzidos por apenas sete institutos de pesquisa (públicos ou privados). Cerca de 30% dos projetos não informaram se há alguma organização coordenando. Com base nos percentuais apresentados no item entidades, identificou-se que 50% das organizações coordenadoras do projeto eram empresas, 23% eram institutos, 20% eram universidades e 7% eram forças armadas do governo dos Estados Unidos, totalizando 100% das organizações de uma totalidade de 70%, conforme ilustrado na Figura 1 e tabulado no Quadro 5.

**Quadro 5** – Tabulação de dados das organizações coordenadoras

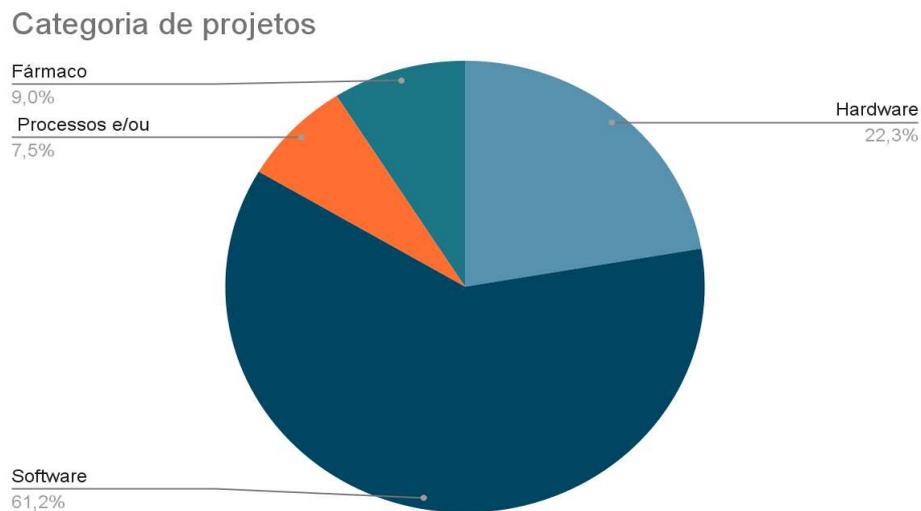
ORGANIZAÇÕES COORDENADORAS (QUANTIDADE DE PROJETOS)	CATEGORIA	TOTALIDADE DE % DAS ORGANIZAÇÕES	% ORGANIZAÇÕES	TOTALIDADE DE % DOS PROJETOS	% PROJETOS
Université de Bordeaux (1), Aix-Marseille Université – Université de lille (1), Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (1), Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt (1), Bilkent University (1), University Medical Center Utrecht – Medtronic Iberica (1)	Universidade	70%	20%	100%	9%
Advitos GMBH (1), GeneFirst (1), EPICConcept (1), NanoScent LTDA (1), AW Technologies IVS (1), Remedy Biologics Limited (1), Covid-19 Telemedicine APS (1), Sanolla, Virogates AS (1), GNA Biosolutions (1), Icometrix (1), Contextflow (1), Aidence Holding BV (1), Archeon (1), Strem AI GMBH (1).	Empresa		50%		22%
U.S Navy (1), United States Air Force (5)	Governo (forças armadas)		7%		9%
Luxembourg Institute of Health (1), BCAM – Basque Center for Applied Mathematics, (1), Prins Leopold Instituut Voor Tropische Geneeskunde (1), Institute of Photonic Sciences (1,5%), Sciensano (1), National Institutes of Health (15) Idryma Technologias Kai Erevnas (1)	Instituto		23%		32%
Sem informação sobre entidade coordenadora		30%			28%

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

De Negri *et al.* (2020) destacaram que a maioria dos países atua por meio de um órgão que concentra as demandas por pesquisas na área de saúde e que disponibiliza as informações relativas às pesquisas em desenvolvimento e sobre os editais disponíveis. Por outro lado, os mesmos autores destacam que, pela análise dos editais lançados no mesmo período no Brasil e das informações disponíveis nos *sites* das organizações de pesquisa brasileiras, não havia menção às prioridades estabelecidas pela OMS ou às iniciativas internacionais.

Em relação à categoria de projetos: 22,3% eram projetos de *hardware*, 61,2% eram projetos de *software*, 7,5% eram projetos sobre processos e/ou procedimentos clínicos e 9% eram projetos de fármacos, conforme Figura 1. Em relação aos repositórios em que os projetos foram depositados, 41,8% fazem parte do Community Research and Development Information Service (CORDIS), o principal repositório público e portal da Comissão Europeia para divulgar informações sobre todos os projetos de pesquisa financiados pela União Europeia e seus resultados no sentido mais amplo, e 58,2% fazem parte da Small Business Administration (SBA), agência governamental dos Estados Unidos que fornece suporte a empreendedores e pequenas empresas.

**Figura 1** – Gráfico da distribuição percentual das categorias dos projetos



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

As análises consideram não somente o período após a decretação da pandemia, mas também o período inicial, prévio à decretação. Com base no mapeamento, foram identificadas sete fontes de financiamento com média de investimento médio em US\$2.275.558,91 para 95,2% dos projetos. Em relação ao financiador, a National Science Foundation dos Estados Unidos financiou o maior percentual de projetos da base analisada. Diferente da análise de Fry *et al.* (2020) que identificaram as agências chinesas como fonte de financiamento de trabalhos publicados durante a pandemia, e os Estados Unidos como o terceiro financiador mais citado durante a COVID-19. É importante salientar que a base de projetos da plataforma Orbit Insight analisada por este artigo está em fase anterior de publicação.

Entre os financiadores, identificou-se também a presença do U.S. Department of Health & Human Services. Tal comprovação é embasada por Fry *et al.* (2020) que destacaram que o financiamento de projetos oriundo dos Estados Unidos ocorreu por meio do Departamento de Saúde dos Estados, incluindo os Institutos Nacionais de Saúde e suas afiliadas agências de financiamento.

Em relação aos países que mais financiaram, o maior percentual foi da Comissão Europeia que é formada por 27 países. Os Estados Unidos aparecem em segundo lugar e se destacaram em investimentos frente às 27 nações europeias. O país foi um dos mais afetados pela pandemia do coronavírus até março de 2022 (MATHIEU *et al.*, 2023). Este estudo identificou que o

movimento, tanto de financiamento de projetos de pesquisa e inovação tecnológica quanto de publicações de pesquisas científicas no combate à pandemia do coronavírus, segue entre os mesmos países. Oliveira *et al.* (2021) apontaram que 12 países fazem parte de 95% da produção científica mundial sobre COVID-19. Entre esses 12, estão presentes: Estados Unidos, China e países da UE (Itália, Alemanha e Espanha).

De modo comparativo, pela leitura dos editais brasileiros, verifica-se que os objetivos, via de regra, estão desalinhados das prioridades de pesquisa da OMS, ou seja, em geral, as pesquisas foram desenvolvidas isoladamente, com a ausência de coordenação governamental (DE NEGRI *et al.*, 2020).

O mapeamento também identificou que as empresas apresentaram um maior percentual de coordenação dos projetos (50%). Tal comprovação é corroborada pelo fato de se tratar de projetos de PD&I que receberam investimentos para implementação frente à pandemia. Em segundo e terceiro lugar, ficaram, respectivamente, institutos e universidades. O destaque foi para o National Institutes of Health dos Estados Unidos.

Sobre as categorias de projetos, mais da metade dos projetos foram focados em *Software*. As principais abordagens foram em ML, aplicativos de celular e IA. Esta também identificada por Golinelli *et al.* (2020) quando pontuaram que a maioria dos artigos selecionados abordou o uso de tecnologias digitais para diagnóstico, vigilância e prevenção da COVID-19 e que foram relatadas ferramentas de IA para isso. Abd-Alrazaq *et al.* (2021) citaram que aplicativos móveis, aplicativos de *desktop*, chamadas telefônicas e *websites* são os modos mais utilizados quando tecnologias ou ferramentas digitais foram implementadas durante a COVID-19 para fornecer serviços relacionados à saúde.

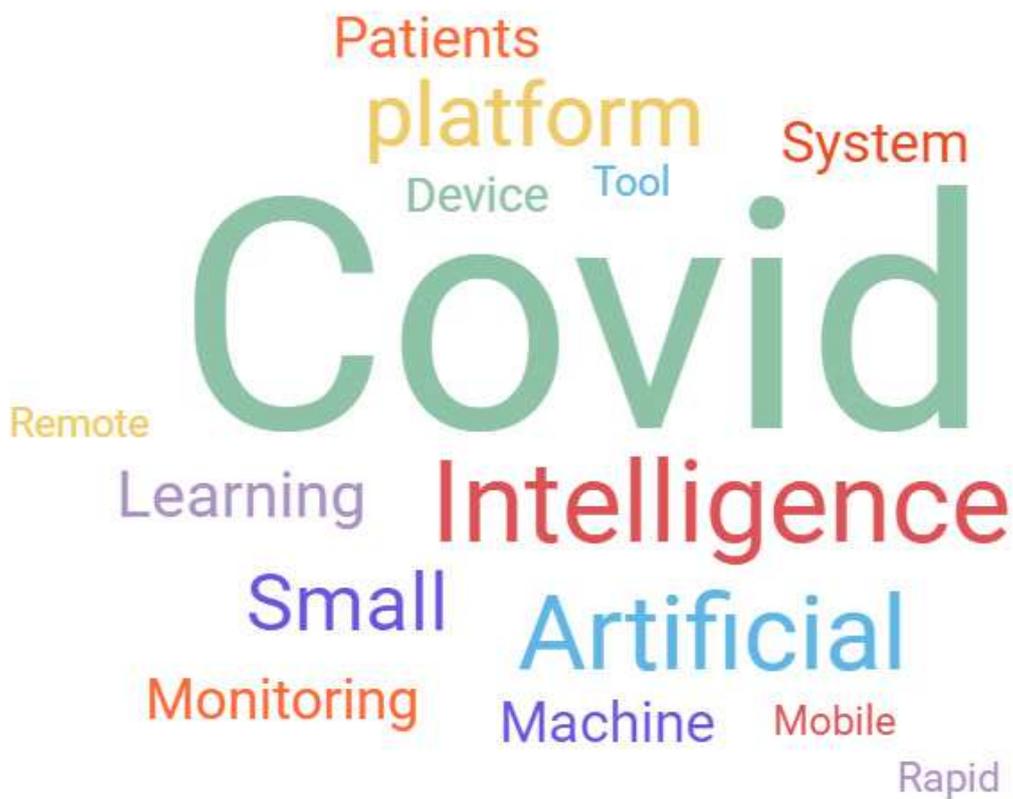
Sobre os repositórios, identificou-se que a SBA apresentou o maior percentual de projetos armazenados. Tal constatação é corroborada pelo fato de 50% dos projetos serem coordenados por empresas, uma vez que a SBA apoia empreendedores e pequenas empresas.

Em comparação, De Negri *et al.* (2020), ao analisarem o contexto brasileiro nos primeiros meses da pandemia, apontaram que foram lançados três editais de PD&I sobre o tema da COVID-19 que totalizam R\$40 milhões, sendo dois deles voltados para empresas e pequenas empresas do Estado de São Paulo, respectivamente, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) em articulação com a Financiadora de Inovação e Pesquisa (FINEP), e o outro voltado para organizações científicas e tecnológicas, da FAPESP. Segundo aqueles autores, o edital do Senai era abrangente de modo a abarcar vários tipos de projetos, desde consultoria, metrologia, ensaios e análises e/ou PD&I – com expectativas de resultado no curto prazo, enquanto os demais editais traziam objetivos mais específicos quanto ao desenvolvimento de *kits* de diagnóstico e respiradores mecânicos.

Percebe-se que a partir da constatação de que o sistema de saúde mundial precisava de novos sistemas de suporte de tecnologia, como IA, *IoT*, dispositivos de aprendizado de máquina para ajudar a diagnosticar, analisar, assistir e prevenir novas doenças, empresas de todos os portes buscaram desenvolver tecnologias que pudessem ser introduzidas para ajudar no gerenciamento de pacientes, monitoramento em tempo real dos surtos e ajudando a atualizar os dados dos pacientes, melhorar o resultado do tratamento priorizando pacientes, diagnóstico auxiliando médicos e fornecendo soluções produtivas.

Por fim, foram elencadas as 15 palavras mais citadas entre as palavras-chave dos projetos, conforme mostra a Figura 2. A nuvem de palavras permite extrair informações já identificadas na análise dos projetos de pesquisa e inovação tecnológica da ferramenta Orbit Insight. A IA como tecnologia mais utilizada, seguida da ML. O predomínio absoluto da categoria *software* foi representado pelas palavras sistema (*system*) e plataforma (*platform*), seguido da categoria *hardware* representada pela palavra dispositivo (*device*). Além de mencionar o modo digital mais utilizado nas soluções digitais por meio dos aplicativos de celular representados pela palavra *mobile*. De forma geral, os projetos foram financiados para implementação rápida de métodos, modelos e/ou produtos tecnológicos que pudessem mitigar por meio de *software*, *hardware*, fármacos ou processos/procedimentos clínicos a vida do paciente frente à pandemia do coronavírus.

**Figura 2** – Nuvem de palavras mais citadas nos projetos



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Esse resultado corrobora com as pesquisas de Adadi, Lahmer e Nasiri (2021) que verificaram que os métodos de DL e ML estão dominando o cenário de IA dedicado a combater o coronavírus. Adicionalmente, Abd-Alrazaq *et al.* (2020) verificaram que as técnicas de IA usadas contra a COVID-19 se utilizam frequentemente dos modelos e dos algoritmos de aprendizagem profunda relacionados às redes neurais artificiais.

## 4 Considerações Finais

IA é uma tecnologia promissora e amplamente utilizada em diversos setores, inclusive no setor de saúde. Enquanto a maioria dos trabalhos se concentra na análise dos resultados das pesquisas científicas por meio das publicações e de patentes, neste trabalho, objetivou-se analisar os projetos de Pesquisa e Inovação Tecnológica referentes às soluções de combate à COVID-19 que receberam financiamento no período de 2020 a 2022 de modo a apreciar a etapa de pesquisas mesmo antes da divulgação de resultados propriamente ditos, ou seja, enquanto projetos em andamento ou concluídos.

Para a dimensão investimento, foi possível perceber a urgência e a intensidade da resposta que os países mais desenvolvidos deram à pandemia da COVID-19, notadamente do ponto de vista dos esforços de pesquisa científica e tecnológica. Cerca de US\$15.928.912,38 e €13.928.071,42 foram aplicados apenas nos 53 projetos analisados.

Quanto aos financiadores da amostra, ficou evidente o papel dos recursos públicos para financiamento de pesquisas, em particular da National Science Foundation dos Estados Unidos, e do U.S. Department of Health & Human Services. Em um cenário de emergência de saúde pública internacional, as ações dos governos para acelerar pesquisas que oferecessem respostas à crise de saúde mundial foram de fundamental importância.

Nessa perspectiva, verificou-se a predominância de países financiadores representados pela Comissão Europeia com quase 60% dos recursos empregados nos projetos da amostra.

Por sua vez, as empresas foram as principais organizações responsáveis por acessar os recursos e coordenar os projetos de pesquisa, representando pelo menos metade da amostra.

Em relação à categoria de projetos, como era de se esperar pelos critérios de seleção de projetos da amostra, mais de 80% se concentraram em *hardware* (22,3%) e *software* (61,2%) que são as formas mais comuns de implementação de soluções de IA e outras tecnologias digitais.

Em relação aos repositórios em que os projetos foram depositados, 41,8% fazem parte do CORDIS e 58,2% fazem parte da SBA.

É importante destacar que os projetos executados no Brasil não são o foco deste trabalho. Dessa forma, as informações sobre pesquisas brasileiras foram passadas apenas para dar contexto e perspectiva.

Por fim, foi possível concluir que a coordenação governamental se mostra fundamental para ampliar pesquisas na área e, portanto, para melhor responder às crises como a da COVID-19. Diversos países mobilizaram seus cientistas e pesquisadores e disponibilizaram linhas de financiamento para novas pesquisas necessárias para fazer frente à pandemia.

## 5 Perspectivas Futuras

Tedros Adhanom Ghebreyesus, diretor-geral da OMS, alertou durante a sessão de abertura da assembleia anual da agência da entidade, em maio de 2022, que a pandemia da COVID-19 “certamente não acabou”. Todavia, pode-se afirmar que a comunidade científica antecipou um legado para um mundo pós-pandemia.

Nesse sentido, sugere-se como oportunidades futuras de pesquisa o cruzamento dos dados dos projetos com os resultados obtidos efetivamente em termos de publicações acadêmicas, propriedade intelectual e produtos colocados à disposição da sociedade, inclusive sobre pesquisas no Brasil.

Sugere-se ainda pesquisas semelhantes com tecnologias que devem se somar à IA na era pós-Covid a exemplo de Blockchain, Edge Computing, realidade virtual e/ou aumentada, computação quântica, 5G e segurança cibernética.

Como sugestão final fica a organização de categorias primárias em *hardware* e/ou *software* e uma segunda categorização em relação à área tecnológica na qual a IA foi empregada.

## Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do Governo do Estado do Amazonas por meio Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), por isso, nossos agradecimentos.

## Referências

ABD-ALRAZAQ, A. *et al.* Overview of technologies implemented during the first wave of the covid-19 pandemic: scoping review. **Journal of Medical Internet Research**, Pittsburgh, v. 23, n. 9, p. 1-18, set. 2021. Disponível em: <https://www.jmir.org/2021/9/e29136>. Acesso em: 19 jun. 2022.

ADADI, A.; LAHMER, M.; NASIRI, S. Artificial intelligence and covid-19: A systematic umbrella review and roads ahead. **Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences**, [s.l.], Elsevier BV, p. 1-23, jul. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157821001774?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2022.

AMORIM, J. Q.; SALES, G. A. W.; GRECCO, M. C. P. Covid-19 e os impactos nas políticas de financiamento e investimento. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 1-27, fev. 2022. Disponível em: [http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-69712022000200401&lng=en&nrm=iso](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-69712022000200401&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 19 jun. 2022.

ARJONA, R.; SAMSON, R. The role of research and innovation in support of europe's recovery from the covid-19 crisis. **R&I Paper Series Policy Brief**, Luxembourg, p. 1-9, maio 2020. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research\\_and\\_innovation/strategy\\_o](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/strategy_o). Acesso em: 21 jun. 2022.

BULLOCK, J. *et al.* Mapping the landscape of artificial intelligence applications against COVID-19. **Journal of Artificial Intelligence Research**, El Segundo, v. 69, p. 807-845, maio, 2020. Disponível em: <https://www.jair.org/index.php/jair/article/view/12162>. Acesso em: 21 jun. 2022.

CHANG, Z. *et al.* Application of artificial intelligence in covid-19 medical area: a systematic review. **Journal of Thoracic Disease**, [s.l.], v. 13, n. 12, p. 7.034-7.053, 2021. Disponível em: <https://jtd.amegroups.com/article/view/56141/html>. Acesso em: 21 jun. 2022.

DE NEGRI, F.; KOELLER, P. **Políticas públicas para pesquisa e inovação em face da crise da covid-19**. 2020. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/nota\\_tecnica/200520\\_nota\\_tecnica\\_diset\\_n\\_64.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/nota_tecnica/200520_nota_tecnica_diset_n_64.pdf). Acesso em: 20 jun. 2022.

DE NEGRI, F. *et al.* **Ciência e tecnologia frente à pandemia**: como a pesquisa científica e a inovação estão ajudando a combater o novo coronavírus no Brasil e no mundo. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-15-de-conteudo/artigos/artigos/182-corona>. Acesso em: 5 ago. 2022.

FRY, C. *et al.* Consolidation in a crisis: Patterns of international collaboration in early Covid-19 research. **Plos One**, Estados Unidos, v. 15, n. 7, p. 1-15, jul. 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0236307>. Acesso em: 20 jun. 2022.

GOLINELLI, D. *et al.* Adoption of digital technologies in health care during the covid-19 pandemic: systematic review of early scientific literature. **Journal of Medical Internet Research**, [s.l.], v. 22, n. 11, p. 1-23, set. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33079693/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Países investem em pesquisa e inovação para superar a pandemia de covid-19**. 2020. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=35588](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=35588). Acesso em: 20 jun. 2022.

LALMUANAWMA, S.; HUSSAIN, J.; CHHAKCHHUAK, L. Applications of machine learning and artificial intelligence for Covid-19 (SARS-CoV-2) pandemic: A review. **Chaos, Solitons & Fractals**, [s.l.], v. 139, p. 1-6, jun. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077920304562?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2022.

LAVIN, A. *et al.* Technology readiness levels for machine learning systems. **Nature Communications**, London, n. 13, v. 6.039, p. 1-19, set. 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-33128-9>. Acesso em: 20 jun. 2022.

MATHIEU, E. *et al.* **Coronavirus Pandemic (COVID-19)**. 2023. Disponível em: <https://ourworldindata.org/coronavirus>. Acesso em: 25 jan. 2023.

OLIVEIRA, E. A. *et al.* Covid-19 pandemic and the answer of science: a year in review. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 93, n. 4, 2021. Disponível em: [http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-37652021000700702&lng=en&nrm=iso](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652021000700702&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 30 jun. 2022.

ROBERTS, M. *et al.* Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans. **Nature Machine Intelligence**, Londres, v. 3, p. 199-217, mar. 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s42256-021-00307-0>. Acesso em: 28 jan. 2023.

## Sobre os Autores

### **Karla Susiane dos Santos Pereira**

*E-mail:* karla.pereira@icomp.ufam.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5868-3391>

Mestra em Informática pela Universidade Federal do Amazonas em 2017; bolsista pela FAPEAM.

Endereço profissional: Av. Gen. Rodrigo Octávio, n. 6.200, Coroado I, Estudo de Computação, Setor Norte, Campus Universitário, Manaus, AM. CEP: 69080-900.

### **Daniel Reis Armond de Melo**

*E-mail:* armond@ufam.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3235-5765>

Doutor em Administração pela Universidade Federal da Bahia, em 2012; bolsista pela FAPEAM.

Endereço profissional: Av. Gen. Rodrigo Octávio, n. 6.200, Coroado I, Estudo de Computação, Setor Norte, Campus Universitário, Manaus, AM. CEP: 69080-900.

### **Dalton Chaves Vilela Junior**

*E-mail:* daltonvilela@ufam.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1934-7886>

Doutor em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 2010.

Endereço profissional: Av. Gen. Rodrigo Octávio, n. 6.200, Coroado I, Estudo de Computação, Setor Norte, Campus Universitário, Manaus, AM. CEP: 69080-900.

### **Lana Gonçalves Rodrigues**

*E-mail:* lanagoncalvesrodrigues@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6090-6451>

Graduada em Administração pela Universidade Federal do Amazonas em 2019; bolsista pela FAPEAM.

Endereço profissional: Av. Gen. Rodrigo Octávio, n. 6.200, Coroado I, Estudo de Computação, Setor Norte, Campus Universitário, Manaus, AM. CEP: 69080-900.