

UMA REVISÃO DAS OPORTUNIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO EM *MACHINE LEARNING* DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19



¹ Docente do Centro Universitário Avantis – UNIAVAN. Mestre em informática em Saúde, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. E-mail: Leonardo.viana@uniavan.edu.br.

*Leonardo Silva Vianna*¹

RESUMO

A intensa produção científica no ano de 2020 procurou trazer um melhor entendimento e principalmente soluções para os problemas advindos do surto causado pelo vírus SARS-CoV-2, responsável pela infecção pandêmica vivenciada. Um dos assuntos frequentemente abordados na literatura científica relacionada ao COVID-19 é a Inteligência Artificial, como também os algoritmos de aprendizagem de máquina são as ferramentas usualmente citadas nos trabalhos que estão sendo desenvolvidos. O objetivo da presente pesquisa é identificar as oportunidades em *machine learning* desenvolvidas para controle do surto de COVID-19, que podem potencialmente gerar impactos futuros positivos na sociedade após o término da pandemia. Uma revisão da literatura científica possibilitou a identificação de diferentes oportunidades exploradas durante a pandemia de COVID-19.

Palavras-chave: Aprendizagem de Máquina. COVID-19. Inteligência Artificial. Pandemias. Tecnologia.



EDITORA
AVANTIS



A REVIEW OF OPPORTUNITIES FOR MACHINE LEARNING IMPROVEMENT DURING COVID-19 OUTBREAK

ABSTRACT

Intense scientific production in 2020 aimed to provide a better understanding and solutions to problems that originated from the SARS-CoV-2 infection outbreak, responsible for the experienced pandemic. One of the often subjects addressed in the scientific literature related to COVID-19 is Artificial Intelligence, and machine learning algorithms are tools frequently cited in the projects. The objective of this research is to identify opportunities in machine learning developed to control the COVID-19 outbreak, with a potential capacity of positive future impacts generated on society after the end of the pandemic. A review of the scientific literature identified different opportunities prospected during the COVID-19 outbreak.

Keywords: *Artificial Intelligence. COVID-19. Machine Learning. Pandemics. Technology.*

1 INTRODUÇÃO

O ano de 2020 está marcado por profundas mudanças por todo o planeta, trazidas pela pandemia de COVID-19. As mudanças em diferentes aspectos da sociedade produzem consequências normalmente consideradas negativas, mas que também podem resultar em situações proveitosas para a humanidade. Uma delas decorre da intensa produção científica que, através de diferentes abordagens, procurou trazer um melhor entendimento e, principalmente, soluções para os problemas advindos do surto causado pelo vírus SARS-CoV-2, responsável pela infecção pandêmica vivenciada.

A pandemia demanda um empenho coordenado de governos por todo o mundo. Esse esforço sem precedentes, de intensidade e alcance excepcionais, tem o propósito de controlar a propagação do surto de COVID-19, exigindo medidas drásticas que afetam pessoas por todo o globo (BRINATI et al., 2020). Um dos assuntos

frequentemente abordados na literatura científica relacionada ao COVID-19 é a utilização de Inteligência Artificial (IA) - uma área das Ciências da Computação - com objetivo de propiciar diferentes soluções para os problemas encontrados. As diferentes aplicações de IA na pandemia de COVID-19 podem ser empregadas para rastrear a propagação do vírus, identificar pacientes de alto risco e monitorar a infecção em tempo real (VAISHYA et al., 2020).

Dentro da IA, os algoritmos de aprendizagem de máquina - ou, como são mais conhecidos em inglês, *machine learning* (ML) - são as ferramentas usualmente citadas nas pesquisas desenvolvidas. Essa aplicação de IA permite a solução de problemas complexos, mostrando-se um promissor campo de estudo (RUSTAM et al., 2020), que possibilita a descoberta de padrões em grande volume de dados. *Deep learning* - um processo de modelagem aprimorado, utilizado em aplicações como detecção, diagnóstico, tratamento e cura de doenças - é caracterizado como um subdomínio de ML (SEDIK et al, 2020) e sua capacidade de gerar excelentes resultados advém do processamento de alto nível de atributos dos dados de entrada, empregando normalmente redes neurais artificiais para tanto (ELAVARASAN; PUGAZHENDHI, 2020).

Considerando todas as ferramentas de ML utilizadas e desenvolvidas durante a pandemia de COVID-19, como o conhecimento produzido durante o período pode ser empregado de maneira profícua em outras áreas? Infere-se que momentos de crise podem ser transformados em grandes incentivadores da inovação e o ambiente colaborativo constituído pela pandemia de COVID-19 reforça essa afirmação. A crise de saúde pública vivenciada pode ser o início de um período de transformação da IA, com um impacto marcante na área da Saúde (BACHTIGER; PETERS; WALSH, 2020). Os problemas que as sociedades enfrentaram ao longo da sua história sempre serviram como motrizes para a transformação e o desenvolvimento da humanidade.

Desta forma, o objetivo da presente pesquisa é identificar as oportunidades em *machine learning* desenvolvidas para controle do surto de COVID-19, que podem potencialmente gerar impactos futuros positivos na sociedade após o término da pandemia. Determinar quais iniciativas possuem capacidade de desenvolver aplicações profícuas permanentes podem conduzir a novas introspecções e, desta forma, direcionar a pesquisa científica para um melhor aproveitamento das lições aprendidas durante o período da pandemia de COVID-19.

2 MÉTODO

Uma revisão da literatura científica sobre a aplicações de ML desenvolvidas ou aplicadas na pandemia de COVID-19 foi realizada a partir da análise crítica das publicações selecionadas. Em 28/09/2020, uma busca nos bancos de dados Scopus e IEEE Xplore foi executada utilizando as palavras-chave: “covid” e “machine learning”, com o operador booleano “E” (“AND”), considerando qualquer período de publicação dos artigos científicos. Os descritores foram selecionados com objetivo de alcançar uma abordagem abrangente na pesquisa executada na publicação científica. Contudo, é importante destacar que a utilização da palavra-chave “covid”, por tratar-se de terminologia recentemente designada, restringe o alcance da busca para publicações a partir do início da incidência da doença.

A pesquisa bibliográfica executada resultou em 283 publicações científicas na plataforma Scopus e 50 publicações na IEEE Xplore. Como critério de inclusão, apenas publicações em escritas em língua inglesa foram consideradas para análise crítica do conteúdo. Em seguida, as publicações repetidas em ambos os bancos de dados foram identificadas e consolidadas, o que resultou na seleção final de 309 publicações para a etapa de análise crítica.

Finalmente, com o propósito de identificar as oportunidades em ML desenvolvidas durante a pandemia e que possuem capacidade de gerar impactos futuros positivos na sociedade, uma análise crítica do conteúdo da literatura selecionada foi realizada. Nessa etapa, não foram incluídas as publicações que, apesar de considerar os impactos causados pela pandemia de COVID-19 na sociedade, não tinham o propósito de analisar os aspectos específicos da doença.

3 MACHINE LEARNING

Nos métodos estatísticos tradicionais, os dados (por exemplo, idade, sexo, condições pré-existent) que podem afetar o resultado esperado (por exemplo, óbito do paciente) devem ser heurísticamente determinados pelo pesquisador. Utilizando ML, o próprio algoritmo identifica as tendências e padrões nos dados, estabelecendo, inclusive, o melhor modelo para prever os resultados esperados (BANSAL et al., 2020). Ao considerar a capacidade inerente de construir o melhor

modelo de dados - ou seja, aquele que é capaz de produzir previsões com o menor erro possível - estabelece-se uma das principais vantagens de ML sobre as estratégias tradicionais de análise e modelagem de dados.

Com a maior disponibilidade de grande volume de dados, as ferramentas de ML têm auxiliado no diagnóstico e tratamento clínico de doenças. As aplicações em saúde, que apoiam a atuação de profissionais de saúde, incluem a identificação e diagnóstico de doenças; descoberta e fabricação de medicamentos; análise de imagens médicas; gerenciamento de dados de pesquisas e testes clínicos; e no gerenciamento de prontuários eletrônicos de saúde (SWAPNAREKHA et al., 2020). Outro benefício produzido pela utilização de ML é a capacidade de processamento de grandes quantidades de dados médicos e biológicos produzidos diariamente, que não seria possível executar heurísticamente, em razão da escala e complexidade da tarefa (PARK et al., 2020). Ao aplicar estrategicamente essa tecnologia, a sociedade pode, por exemplo, se preparar e responder à ameaça de doenças emergentes.

Abordagens que empregam ML estão sendo desenvolvidas para auxiliar os procedimentos clínicos na atual pandemia (BANERJEE et al., 2020). Todavia, pouco conhecimento sobre o comportamento da doença - considerando ambos os aspectos clínicos quanto epidemiológicos - é conhecido pelos cientistas. Uma nova doença produz um ambiente de informações limitadas e grandes incertezas, porque poucos dados estão disponíveis no seu começo. Mesmo ao comparar o comportamento do COVID-19 com outras síndromes respiratórias agudas graves, ainda restam dúvidas se os vírus possuem características semelhantes (FONG et al., 2020). E nesse contexto de incertezas, obter informações que ajudam a tomada de decisão é objetivo importante para auxiliar os gestores a alcançar os melhores resultados esperados. A grande vantagem de ML é a capacidade de processar a enorme quantidade de dados médicos e biológicos produzidos diariamente. Uma tarefa que de outra forma não seria possível devido à sua escala e complexidade.

Arga (2020) apresentou suas perspectivas sobre a capacidade de resposta que as ferramentas que utilizam ML podem gerar na pandemia de COVID-19. Os modelos de prognósticos podem ser aplicados em diferentes localidades do mundo, possibilitando a predição dos desfechos clínicos da infecção. Outrossim, a utilização de ML tem a capacidade de conduzir pesquisadores no desenvolvimento de diferentes aplicações, que contribuem na redução de erros de diagnóstico e na utilização racional de exames. De acordo com o autor, a pandemia de COVID-19 proporciona uma

transformação digital permanente, que deve continuar nos próximos anos, resultando na construção de novas aplicações em saúde para as ferramentas de ML.

A aplicação de métodos de ML pode propiciar a disponibilização de informações úteis, com diferentes origens, que auxiliam instituições governamentais e sistemas de saúde no controle da pandemia de COVID-19. A análise de sentimentos de redes sociais permite que gestores utilizem esses dados em associação a outras estratégias, incluindo uma adequada comunicação social. As informações originadas das análises de sentimentos permitem identificar localidades geográficas que necessitem de intervenções, bem como avaliar a eficácia de sua execução (ANURATHA et al., 2020; HUNG et al., 2020; SAMUEL et al., 2020).

Na aplicação de ML em saúde, particularmente nas áreas clínicas, existe um importante aspecto relacionado à interpretabilidade da modelagem dos dados, que deve ser considerado no desenvolvimento das pesquisas. A interpretabilidade dos modelos habilita sua utilização como um suporte à tomada de decisão, incluindo o diagnóstico de casos suspeitos de COVID-19 (BRINATI et al., 2020). Recentemente, as pesquisas em IA direcionaram seus esforços no desenvolvimento de algoritmos que identificam os fatores determinantes nos processos de modelagem dos dados. Essa área de desenvolvimento e pesquisa tem sido nominada como *eXplainable Artificial Intelligence* (xAI) - em português, Inteligência Artificial explicável (ADADI; BERRADA, 2018; ZHANG; ZHU, 2018; MILLER, 2019).

Não obstante, para o desenvolvimento de aplicações úteis que utilizam ML é importante compreender as limitações da ferramenta e as particularidades da técnica. Os procedimentos executados precisam ser bem compreendidos para que não conduzam a sua inadequada interpretação. Consequentemente, os resultados obtidos precisam transparecer os reais benefícios da substituição das técnicas tradicionais de interpretação de dados, como as análises estatísticas e heurísticas. Trabalhos que atingem uma precisão perfeita com a aplicação de técnicas de ML - como o resultado de acurácia de 100%, apresentado na pesquisa desenvolvida por Tuncer, Dogan e Ozyurt (2020) - provocam questionamentos sobre a técnica de ML apresentada, a confiabilidade dos procedimentos executado, a replicabilidade desses mesmos resultados em situações do mundo real e a transparência das informações. Portanto, o suporte à tomada de decisão ou, até mesmo, a substituição do homem pela máquina requer um alto nível de confiabilidade e essas questões devem pautar as futuras discussões que tomaram lugar no cenário de destaque para a utilização da

tecnologia. Existe um amplo espectro de aplicações potenciais que podem ser utilizadas para solucionar os problemas sociais e de saúde causados pela pandemia de coronavírus, mas nem todos possuem suficiente capacidade operacional para serem aplicados (KUMAR; GUPTA; SRIVASTAVA, 2020).

Outra situação que deve ser considerada - tão importante quanto as questões já apresentadas - é a disponibilidade de dados para a modelagem. A quantidade ainda restrita de dados sobre a COVID-19 afeta o desempenho dos diferentes algoritmos utilizados em ML. Por conseguinte, o desenvolvimento de pesquisas para analisar o comportamento dos algoritmos nesse ambiente de pouca disponibilidade de dados é um importante objetivo a ser considerado. Pesquisadores relatam diferentes limitações impostas pela restrita quantidade de dados nos estudos que foram desenvolvidos (ANASTASOPOULOS et al., 2020; BRINATI et al., 2020; FONG et al., 2020; KING et al., 2020).

Em ML, tanto a aprendizagem supervisionada quanto a aprendizagem não supervisionada podem ser aplicadas nos processos de modelagem dos dados. Na aprendizagem supervisionada os algoritmos são treinados primeiro com dados de amostra e depois aplicados para predição, enquanto na aprendizagem não supervisionada os dados não são rotulados e o aprendizado ocorre apenas com a entrada de valores (ELAVARASAN; PUGAZHENDHI, 2020). A maior parte da literatura analisada na presente pesquisa aplicou a aprendizagem supervisionada em ML. Contudo, apesar de pouco explorado, o aprendizado não supervisionado agrega diversos benefícios, como a desnecessidade da existência desses dados rotulados para o treinamento do algoritmo. Tal característica permite que uma quantidade maior de dados seja explorada durante a execução de processos de ML, pois, em alguns casos, aqueles rotulados são escassos (KING et al., 2020). Essa limitação também pode ser solucionada com a utilização da aprendizagem semi-supervisionada, possibilitando que o algoritmo utilize uma pequena quantidade de dados rotulados existentes, em associação com aqueles não rotulados - normalmente mais profusos -, potencializando a capacidade de aprendizagem e obtendo melhor desempenho (FAN et al., 2020).

4 OPORTUNIDADES EXPLORADAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19

Abdulaal et al. (2020) identificaram conjuntos de dados maiores e mais re-

representativos durante o surto de COVID-19 que tornaram os modelos obtidos com ML mais precisos, auxiliando na orientação dos médicos no gerenciamento mais apropriado dos tratamentos de saúde de forma geral. Anastasopoulos et al. (2020) pesquisaram a quantificação totalmente automatizada do envolvimento pulmonar pelo COVID-19, inclusive demonstrando o potencial do algoritmo no auxílio de processos clínicos que podem ser desenvolvidos além da pandemia atual. Banerjee et al. (2020) produziram previsões para permitir que profissionais de saúde realizassem exames diagnósticos rápidos e baratos para triagem de pacientes e a intervenção precoce no tratamento. A boa capacidade de identificação de COVID-19 alcançada pelo modelo desenvolvido por Pereira et al. (2020), pode ser útil para auxiliar no rastreamento de pacientes em serviços de suporte médico de emergência, apontando um caminho promissor para investigação. Yang et al. (2020) obtiveram um modelo eficaz na previsão dos picos e tamanhos epidêmicos de COVID-19, que se treinado em conjuntos de dados das síndromes respiratórias agudas graves anteriores, também permite a previsão futura de epidemias.

Os resultados obtidos por Chimmula e Zhang (2020) podem ajudar o governo canadense a monitorar a situação atual e usar previsões para evitar futuras pandemias. Debnath e Bardhan (2020) desenvolveram ferramentas que permitem a identificação da reatividade das políticas públicas no surto de coronavírus, tornando-se uma ferramenta adequada para estudar a reatividade de outras políticas públicas que geram respostas comportamentais.

Fong et al. (2020) desenvolveram um método que permite estabelecer as melhores abordagens algorítmicas possíveis quando uma nova epidemia emergir, no momento apresenta informações limitadas. O método atua em um cenário típico de tomada de decisão, para analisar uma nova doença desde os primeiros dias de surto. Da mesma forma, Peng e Nagata (2020) publicaram um artigo sobre modelos de previsão do COVID-19 e a reação da sociedade aos impactos das pandemias, sendo também aplicável naquelas futuras. De acordo com os autores, a análise de dados e a construção do modelo de ML podem fazer uma diferença significativa na tomada de decisões. O método desenvolvido por Liu et al. (2020) foi capaz de produzir previsões de curto prazo significativas e confiáveis da atividade do COVID-19, combinando informações de relatórios, tendências de pesquisa na Internet, tendências em artigos de notícias e informações de modelos estatísticos. A abordagem também é capaz de prover soluções para surtos emergentes causados por novos patógenos.

A pesquisa realizada por Samuel et al. (2020) tinha a capacidade de contribuir para o planejamento estratégico através da análise de mídias sociais, notícias e plataformas de comunicação públicas e pessoais. Contudo, conforme relatado pelos autores, corporações e pequenas empresas também podem se beneficiar com essas mesmas análises e modelos de ML, propositando um melhor entendimento do sentimento e das expectativas dos consumidores. Novos dados aplicados nos modelos podem apoiar o processo de recuperação socioeconômica no futuro.

Um sistema para análise de imagens de tomografia computadorizada foi proposto por Ardakani et al. (2020), com objetivo de melhorar o desempenho do diagnóstico da doença, possibilitando a implantação em qualquer departamento de radiologia para análise de exame de imagens remotamente, reduzindo a carga de trabalho dos radiologistas. Elaziz et al. (2020) propuseram um método para o diagnóstico de casos de COVID-19 analisando radiografias do tórax, com um alto desempenho e baixo consumo de recursos, que tem a possibilidade de incluir outras aplicações da área médica e outras áreas relevantes. Um modelo desenvolvido por Fan et al. (2020) proporcionou a adequada segmentação de infecção pulmonar e quantificação de regiões de infecção, tendo a capacidade de ser usado na orientação da classificação de diferentes tipos de infecções pulmonares, através de uma aprendizagem semi-supervisionada, solucionando a escassez de dados rotulados de alta qualidade. O método proposto por Kang et al. (2020) pode melhorar o diagnóstico em imagens de tomografia computadorizada, aprimorando a precisão, sensibilidade e especificidade, incluindo o diagnóstico de outros tipos de doença ao incorporar as características clínicas dos pacientes para a melhora do desempenho do algoritmo.

Gatti et al. (2020) desenvolveram um modelo que permitiu determinar que a qualidade do ar desempenha o papel mais relevante na pandemia, possibilitando inferir que uma piora na sua qualidade poder levar a consequências ainda mais dramáticas em futuras pandemias.

A utilização de tecnologia móvel e ubíqua na detecção de sintomas em tempo real permitiu a triagem adequada de pacientes, caracterizando-se como uma solução imediata para a crise atual, mas que também tem a capacidade de se tornar uma solução futura de acordo com Dhanapal et al. (2020). A abordagem desenvolvida pelos autores consistiu em aplicar uma câmera para analisar a temperatura corporal e as variações das ondas respiratórias em um único dispositivo portátil.

A análise executada por Gussow et al. (2020) identificou características ge-

nômicas cruciais exclusivas do SARS-CoV-2 e de dois outros coronavírus mortais: SARS-CoV e MERS-CoV. As características identificadas permitem a detecção de coronavírus em animais, que guardam capacidade potencial de atingir os humanos no futuro, possibilitando uma melhor compreensão da patogenicidade viral e da transmissão zoonótica na previsão e prevenção de surtos vindouros. King et al. (2020) desenvolveram um algoritmo que notificava especialistas sobre infecções que um paciente pudesse apresentar ou estivesse se espalhando, incluindo novas mutações de vírus. O modelo seria capaz de rastrear diversas doenças, realizar sua classificação e identificar anomalias presentes. Igualmente, Randhawa et al. (2020) demonstraram como ML, utilizando assinaturas genômicas intrínsecas, pode fornecer uma classificação taxonômica de novos patógenos. Conforme os autores, através de um processamento simultâneo realizado no espaço geométrico de todos os genomas virais relevantes, a abordagem pode ser utilizada para classificação taxonômica em períodos críticos durante novos surtos virais.

Os robôs desenvolvidos na pesquisa de Hu et al. (2020) apresentaram-se como uma solução promissora e segura para reduzir a transmissão e disseminação de patógenos microbianos, como o vírus da gripe e o coronavírus. Os robôs possibilitam a redução do risco de infecção de trabalhadores de limpeza, mantendo-os longe de áreas contaminadas, como também a desinfecção de áreas potencialmente contaminadas, utilizando recursos que identificam determinados pontos do ambiente. Os métodos desenvolvidos podem colaborar na redução de epidemias sazonais, bem como futuras pandemias causadas por novos patógenos.

Os resultados obtidos por Hung et al. (2020) demonstraram a introspecção que o monitoramento de *tweets* fornecesse em relação a um evento de saúde, processando uma grande quantidade de dados muito mais rápido do que os métodos heurísticos. A análise de *tweets* tem a capacidade de fornecer uma visão sobre como a sociedade compreende a informação que é compartilhada nas mídias sociais.

Embora a motivação de Kowalewski e Ray (2020) tenha sido a evolução da pandemia de COVID-19 e os sítios de ligação da membrana do vírus SARS-CoV-2, os resultados da pesquisa desenvolvida também podem ser relevantemente replicados em uma série de outras doenças e condições. Os autores desenvolveram previsões baseadas em IA que possibilitaram a aceleração na descoberta de medicamentos em geral e podem facilitar a pesquisa futura de compostos para uma gama de outras doenças.

A análise de eventos críticos devem ser uma parte fundamental dos futuros sistemas de saúde automatizado, nos quais os dados devem ser continuamente transmitidos da cabeceira do leito, analisados na nuvem e devolvidos aos médicos no ponto de atendimento, através de diagnósticos acionáveis e alertas preditivos. De acordo com Rehm et al. (2020), no futuro, projetos podem utilizar sensores com tecnologia baseada em *Internet of Things* (IoT) - em português, Internet das Coisas -, computação em nuvem e integração com prontuários eletrônicos, fundamentados em dispositivos móveis para a aplicação de algoritmos de ML, que têm a capacidade de produzir melhorias relevantes na prestação de cuidados de saúde e no tratamento de pacientes.

Com o objetivo de gerenciar a crise do COVID-19, aplicações úteis de sistemas tecnológicos em cidades inteligentes, sensores que utilizam o conceito de IoT e ferramentas de ML foram desenvolvidas rapidamente para propiciar suporte adequado à tomada de decisões em tempo real (JAMES et al., 2020). Entre essas aplicações, a utilização de sensores integrados através das tecnologias em IoT, em um ambiente de aprimoramento sustentando por ML, possibilita um processamento de dados com maior eficiência, mostrando-se um inovador instrumento para que desenvolvedores em IA remotamente contribuam na análise de dados de pacientes com COVID-19 (ALBAHRI; HAMID, 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para transformar os desafios da pandemia em oportunidades globais, as lições aprendidas precisam ser incorporadas, transformando os problemas em uma oportunidade de crescimento para toda a comunidade internacional. Diferentes tecnologias emergiram como recursos eficazes no combate à pandemia: robótica, Inteligência Artificial, *Big Data Analytics*, aplicativos móveis e telemedicina. Em Saúde, a aplicação de uma abordagem estratégica tem o objetivo de transformar os custos despendidos durante esse período em investimentos, causando uma repercussão positiva ao longo do tempo quando sistematicamente gerenciados (MAZZOLENI; TURCHETTI; AMBROSINO, 2020).

Modelos preditivos são ferramentas úteis para o planejamento adequado de políticas públicas. Porém, incertezas sobre o comportamento da pandemia de CO-

VID-19 conduzem a interpretações inadequadas da capacidade preditiva dos modelos, em razão da inerente probabilidade de erro existente nas projeções da doença. Holmdahl e Buckee (2020) delinearão alguns questionamentos que auxiliam na adequada compreensão da aplicabilidade de modelos preditivos: qual o objetivo e horizonte de tempo para o modelo?; quais são as principais premissas dos dados analisados?; os intervalos de confiança do modelo são calculados e demonstrados?; os modelos obtidos estão sobre-ajustados (*overfitting*), sem a capacidade de generalização dos dados?; os modelos são utilizados no contexto adequado? Essas perguntas ajudam a determinar se a utilização de ML tem capacidade de contribuir na explicação do problema que se espera solucionar, o qual, no contexto atual, está relacionado à pandemia de COVID-19.

A revisão da publicação científica proporcionou a identificação de diferentes oportunidades exploradas durante a pandemia de COVID-19, que possuem capacidade de gerar impactos futuros positivos na sociedade. A pandemia de COVID-19 marcou profundamente a sociedade e moldará seu comportamento nos próximos anos. Particularmente para aqueles que, em luto, choram as muitas vidas perdidas. Contudo, as marcas deixadas também serão percebidas na evolução empreendida por profissionais e pesquisadores, mesmo que forçosamente, mas que sempre conduziram a própria história da humanidade.

Portanto, considerando as diversas iniciativas promissoras encontradas na literatura, assim como a própria perspectiva apresentada pelos autores em relação à capacidade de emprego das ferramentas em outros contextos, infere-se que a sociedade pode se beneficiar com as diversas aplicações desenvolvidas durante o período da pandemia. Igualmente, conclui-se que o intenso desenvolvimento científico experimentado durante a pandemia de COVID-19 resultou no desenvolvimento de aplicações que podem ser empregadas em diferentes contextos, impactando de maneira positiva e permanente diferentes campos de atuação. Igualmente, as lições aprendidas através das ações desenvolvidas para superação do surto da doença possibilitam que pesquisadores, profissionais de saúde, administradores e gestores institucionais estejam melhor preparados para uma possível ocorrência de outras epidemias e pandemias no futuro.

REFERÊNCIAS

- ABDULAAL, A. et al. *Prognostic modeling of COVID-19 using artificial intelligence in the United Kingdom: Model development and validation. Journal of Medical Internet Research*, v. 22, n. 8, 2020.
- ADADI, A.; BERRADA, M. *Peeking inside the black-box: A survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). IEEE Access*, v. 6, p. 52138-52160, 2018.
- ALBAHRI, A. S.; HAMID, R. A. *Role of biological Data Mining and Machine Learning Techniques in Detecting and Diagnosing the Novel Coronavirus (COVID-19): A Systematic Review. Journal of Medical Systems*, v. 44, n. 7, 2020.
- ANASTASOPOULOS, C. et al. *Development and clinical implementation of tailored image analysis tools for COVID-19 in the midst of the pandemic: The synergetic effect of an open, clinically embedded software development platform and machine learning. European Journal of Radiology*, v. 131, 2020.
- ANURATHA, K. et al. *Public sentiment insights analysis using word sense disambiguation application on twitter data during a pandemic – COVID'19. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, v. 9, n. 4, p. 4729-4732, 2020.
- ARDAKANI, A. A. et al. *Application of deep learning technique to manage COVID-19 in routine clinical practice using CT images: Results of 10 convolutional neural networks. Computers in Biology and Medicine*, v. 121, 2020.
- ARGA, K. Y. *COVID-19 and the futures of machine learning. OMICS*, v. 24, n. 9, p. 512-514, 2020.
- BACHTIGER, P.; PETERS, N. S.; WALSH, S. L. *Machine learning for COVID-19—asking the right questions. The Lancet Digital Health*, v. 2, n. 8, p. e391-e392, 2020.
- BANERJEE, A. et al. *Use of machine learning and artificial intelligence to predict SARS-CoV-2 infection from full blood counts in a population. International Immunopharmacology*, v. 86, 2020.
- BANSAL, A. et al. *Utility of Artificial Intelligence Amidst the COVID 19 Pandemic: A Review. Journal of Medical Systems*, v. 44, n. 9, p. 156, 2020.
- BRINATI, D. et al. *Detection of COVID-19 infection from routine blood exams with machine learning: A feasibility study. Journal of Medical Systems*, v. 44, n. 8, 2020.
- CHIMMULA, V. K. R.; ZHANG, L. *Time series forecasting of COVID-19 transmission in Canada using LSTM networks. Chaos, Solitons and Fractals*, v. 135, 2020.

- DEBNATH, R.; BARDHAN, R. *India nudges to contain COVID-19 pandemic: A re-active public policy analysis using machine-learning based topic modelling. PLoS ONE*, v. 15, n. 9, 2020.
- DHANAPAL, J. et al. *Pervasive computational model and wearable devices for prediction of respiratory symptoms in progression of COVID-19. International Journal of Pervasive Computing and Communications*, v. 16, n. 4, p. 371-381, 2020.
- ELAVARASAN, R. M.; PUGAZHENDHI, R. *Restructured society and environment: A review on potential technological strategies to control the COVID-19 pandemic. Science of the Total Environment*, v. 725, 2020.
- ELAZIZ, M. A. et al. *New machine learning method for image based diagnosis of COVID-19. PLoS ONE*, v. 15, n. 6, 2020.
- FAN, D. et al. *Inf-net: Automatic COVID-19 lung infection segmentation from CT images. IEEE Transactions on Medical Imaging*, v. 39, n. 8, p. 2626-2637, 2020.
- FONG, S. J. et al. *Composite monte carlo decision making under high uncertainty of novel coronavirus epidemic using hybridized deep learning and fuzzy rule induction. Applied Soft Computing Journal*, v. 93, 2020.
- GATTI, R. C. et al. *Machine learning reveals that prolonged exposure to air pollution is associated with SARS-CoV-2 mortality and infectivity in Italy. Environmental Pollution*, v. 267, 2020.
- GUSSOW, A. B. et al. *Genomic determinants of pathogenicity in SARS-CoV-2 and other human coronaviruses. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 117, n. 26, 2020.
- HOLMDAHL, I. S. M.; BUCKEE, C. *Wrong but useful - what covid-19 epidemiologic models can and cannot tell us. New England Journal of Medicine*, v. 383, n. 4, p. 303-305, 2020.
- HU, D. et al. *Segmenting areas of potential contamination for adaptive robotic disinfection in built environments. Building and Environment*, v. 184, 2020.
- HUNG, M. et al. *Social network analysis of COVID-19 sentiments: Application of artificial intelligence. Journal of Medical Internet Research*, v. 22, n. 8, 2020.
- JAMES, P. et al. *Smart cities and a data-driven response to COVID-19. Dialogues in Human Geography*, v. 10, n. 2, p. 255-259, 2020.
- KANG, H. et al. *Diagnosis of coronavirus disease 2019 (COVID-19) with structured latent multi-view representation learning. IEEE Transactions on Medical Imaging*, v. 39, n. 8, 2020.

KING, B. et al. *Unsupervised clustering of COVID-19 chest X-ray images with a self-organizing feature map*. In: 2020 IEEE 63rd International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS). IEEE, 2020. p. 395-398.

KOWALEWSKI, J.; RAY, A. *Predicting novel drugs for SARS-CoV-2 using machine learning from a >10 million chemical space*. *Heliyon*, v. 6, n. 8, 2020.

KUMAR, A.; GUPTA, P. K.; SRIVASTAVA, A. *A review of modern technologies for tackling COVID-19 pandemic*. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, v. 14, n. 4, p. 569-573, 2020

LIU, D. et al. *Real-time forecasting of the COVID-19 outbreak in chinese provinces: Machine learning approach using novel digital data and estimates from mechanistic models*. *Journal of Medical Internet Research*, v. 22, n. 8, 2020.

MAZZOLENI, S.; TURCHETTI, G.; AMBROSINO, N. *The COVID-19 outbreak: From "black swan" to global challenges and opportunities*. *Pulmonology*, v. 26, n. 3, p. 117-118, 2020.

MILLER, T. *Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences*. *Artificial Intelligence*, v. 267, p. 1-38, 2019.

PARK, Y. et al. *Emergence of new disease: How can artificial intelligence help?* *Trends in Molecular Medicine*, v. 26, n. 7, p. 627-629, 2020.

PENG, Y.; NAGATA, M. H. *An empirical overview of nonlinearity and overfitting in machine learning using COVID-19 data*. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 139, 2020.

PEREIRA, R. M. et al. *COVID-19 identification in chest X-ray images on flat and hierarchical classification scenarios*. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 194, 2020.

RANDHAWA, G. S. et al. *Machine learning using intrinsic genomic signatures for rapid classification of novel pathogens: COVID-19 case study*. *PLoS ONE*, v. 15, n. 4, 2020.

REHM, G. B. et al. *Leveraging IoTs and machine learning for patient diagnosis and ventilation management in the intensive care unit*. *IEEE Pervasive Computing*, v. 19, n. 3, 2020.

RUSTAM, F. et al. *COVID-19 future forecasting using supervised machine learning models*. *IEEE Access*, v. 8, p. 101489-101499, 2020.

SAMUEL, J. et al. *COVID-19 public sentiment insights and machine learning for tweets classification*. *Information*, v. 11, n. 6, 2020.

SEDIK, A. et al. *Deploying machine and deep learning models for efficient data-*

-augmented detection of COVID-19 infections. *Viruses*, v. 12, n. 7, 2020.

SWAPNAREKHA, H. et al. Role of intelligent computing in COVID-19 prognosis: A state-of-the-art review. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 138, 2020.

TUNCER, T.; DOGAN, S.; OZYURT, F. An automated residual exemplar local binary pattern and iterative ReliefF based corona detection method using lung X-ray image. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 203, 2020.

VAISHYA, R. et al. Artificial intelligence (AI) applications for COVID-19 pandemic. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, v. 14, n. 4, p. 337-339, 2020.

YANG, Z. et al. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions. *Journal of Thoracic Disease*, v. 12, n. 3, 2020.

ZHANG, Q.-S.; ZHU, S.-C. Visual interpretability for deep learning: a survey. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, v. 19, n. 1, p. 27-39, 2018.