

Situação: O preprint foi submetido para publicação em um periódico

Boletim COVID-PA: relatos sobre projeções baseadas em inteligência artificial no enfrentamento da pandemia de COVID-19 no estado do Pará

Gilberto Nerino de Souza Jr., Marcus de Barros Braga, Luana Lorena Silva Rodrigues, Rafael da Silva Fernandes, Rommel Thiago Jucá Ramos, Adriana Ribeiro Carneiro, Silvana Rossy de Brito, Cícero Jorge Fonseca Dolácio, Ivaldo da Silva Tavares Jr., Fernando Napoleão Noronha, Raphael Rodrigues Pinheiro, Hugo Alex Carneiro Diniz, Marcel do Nascimento Botelho, Antonio Carlos Rosário Vallinoto, Jonas Elias Castro da Rocha

<https://doi.org/10.1590/s1679-49742021000400012>

Submetido em: 2021-08-11

Postado em: 2021-08-11 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)



Como citar este artigo:

Souza Junior GN, Braga MB, Rodrigues LLS, Fernandes RS, Ramos RTJ, Carneiro, et al. Boletim COVID-PA: relatos sobre projeções baseadas em inteligência artificial no enfrentamento da pandemia de COVID-19 no estado do Pará. *Epidemiol Serv Saude* [preprint]. 2021 [citado 02 ago 2021];[21 p.]. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1679-49742021000400012>

Relato de Experiência

Boletim COVID-PA: relatos sobre projeções baseadas em inteligência artificial no enfrentamento da pandemia de COVID-19 no estado do Pará

Boletim COVID-PA: Reports on artificial intelligence-based forecasting to the facing of pandemic COVID-19 in the state of Pará, Brazil

Boletín COVID-PA: Informes de proyecciones basadas en inteligencia artificial para enfrentar la pandemia COVID-19 en el estado de Pará, Brasil

Gilberto Nerino de Souza Jr.¹ - orcid.org/0000-0002-8452-3938

Marcus de Barros Braga¹ - 0000-0003-1621-4460

Luana Lorena Silva Rodrigues² - 0000-0001-9480-7689

Rafael da Silva Fernandes³ - 0000-0002-3035-8025

Rommel Thiago Jucá Ramos⁴ - 0000-0002-8032-1474

Adriana Ribeiro Carneiro⁴ - orcid.org/0000-0003-1522-9871

Silvana Rossy de Brito⁵ - orcid.org/0000-0002-5095-9629

Cícero Jorge Fonseca Dolácio⁶ – orcid.org/0000-0002-3208-3854

Ivaldo da Silva Tavares Jr.⁷ - orcid.org/0000-0001-5226-0638

Fernando Napoleão Noronha³ - orcid.org/0000-0003-0114-8843

Raphael Rodrigues Pinheiro⁸ - orcid.org/0000-0002-2457-7571

Hugo Alex Carneiro Diniz⁹ - orcid.org/0000-0002-3259-2632

Marcel do Nascimento Botelho¹⁰ - orcid.org/0000-0001-8074-5755

Antonio Carlos Rosário Vallinoto⁴ - orcid.org/0000-0003-1135-6507

Jonas Elias Castro da Rocha¹ - orcid.org/0000-0002-0255-087X

¹Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Paragominas, Paragominas, Pará, Brasil

²Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Santarém, PA, Brasil

³Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas, Parauapebas, Pará, Brasil.

⁴Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Belém, PA, Brasil

⁵Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Ciberespacial, Belém, PA, Brasil

⁶Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba, PR, Brasil

⁷Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG, Brasil

⁸Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, Belém, PA, Brasil

⁹Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências da Educação, Santarém, PA, Brasil

¹⁰Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Belém, PA, Brasil

Endereço para correspondência:

Gilberto Nerino de Souza Jr. – PA-256, s/n, Bairro Nova Conquista, Paragominas, PA, Brasil. CEP: 68627-451

E-mail: gilbertojr@ufra.edu.br

Recebido em 26/02/2021

Aprovado em 02/07/2021

Editora associada: Thaynã Ramos Flores - orcid.org/0000-0003-0098-1681

Resumo

Objetivo: Relatar o produto de pesquisa e extensão universitária denominado Boletim COVID-PA, que apresentou projeções sobre o comportamento da pandemia no estado do Pará, Brasil. **Métodos:** Utilizou-se da técnica de inteligência artificial conhecida como ‘redes neurais artificiais’, para gerar 13 boletins com projeções de curto prazo baseadas nos dados históricos do sistema da Secretaria de Estado de Saúde Pública. **Resultados:** Após oito meses de projeções, a técnica gerou resultados confiáveis, com precisão média de 97% (147 dias observados) para casos confirmados, 96% (161 dias observados) para óbitos e 86% (72 dias observados) para ocupação de leitos de unidade de terapia intensiva. **Conclusão:** Esses boletins tornaram-se um instrumento útil para a tomada de decisão de gestores públicos, auxiliando na realocação de recursos hospitalares e otimização das estratégias de controle da COVID-19 nas diversas regiões do estado do Pará.

Palavras-chave: COVID-19; Inteligência Artificial; Projeção; Redes Neurais; Tomada de Decisões.

Abstract

Objective: Report the university research and extension product denominated ‘Boletim COVID-PA’ which presented projections about the pandemic in the State of Pará, Brazil, with practical, mathematically rigorous and computationally efficient approaches. **Methods:** The artificial intelligence technique known as Artificial Neural Networks was used to generate thirteen bulletins with short-term projections based on historical data from the State Department of Public Health system. **Results:** After eight months of projections, the technique generated reliable results with an average accuracy of 97% (147 days observed) for confirmed cases, 96% (161 observed days) for deaths and 86% (72 days observed) for occupancy of intensive care unit beds. **Conclusion:** These bulletins have become a useful tool for decision making by public managers,

assisting in reallocating hospital resources and optimizing COVID-19 control strategies for the various regions of the State of Pará.

Keywords: COVID-19; Artificial Intelligence; Forecasting; Neural Networks; Decision Making.

Introdução

O coronavírus 2019 (COVID-19) gerou a maior crise sanitária e humanitária do século XXI, impondo um desafio sem precedentes para a saúde pública e a economia mundial,¹ suscitando vigilância epidemiológica permanente.²⁻⁵ A região Norte do Brasil especialmente, em virtude da complexidade do contexto amazônico, referiu altas taxas de mortalidade por COVID-19.⁶ No estado do Pará, até o dia 21 de fevereiro de 2021, registrou-se 355.128 casos da doença e 8.278 óbitos.^{7,8} A conjuntura do Pará reúne diversas complexidades capazes de potencializar os impactos da COVID-19, como serviços de saúde deficitários e limitada capacidade de testagem, além da distância geográfica entre a capital e os municípios do interior.⁹

Para o monitoramento da COVID-19, pode-se utilizar técnicas de inteligência artificial e modelagem matemática, a exemplo das redes neurais artificiais (RNA), as quais apresentam como vantagem uma abordagem prática, matematicamente rigorosa, computacionalmente eficiente e capaz de assimilar as distorções e incertezas oriundas dos dados.¹⁰⁻¹³ A projeção da prevalência de doenças infecciosas por meio de RNA já é amplamente usada na investigação epidemiológica, tanto para avaliar picos epidêmicos como estimar o tamanho do risco e do alcance de doenças.¹⁴⁻¹⁶

O estudo teve como objetivo relatar o produto de pesquisa e extensão universitária denominado ‘Boletim COVID-PA’,¹⁷ que apresentou projeções sobre o comportamento da pandemia no estado do Pará.

Métodos

Contexto e coleta de dados

Trata-se de um relato de experiência com dados históricos relacionados à pandemia da COVID-19, coletados no sítio eletrônico da Secretaria de Estado de Saúde

Pública do Pará (SESPA) entre 18 de março de 2020 e 31 de agosto de 2020, período referente à primeira onda da pandemia no estado.⁷

O estado do Pará, localizado na região Norte do Brasil, ocupa cerca de 1.245.870 km² de extensão territorial e, com uma população estimada de 8.690.745 habitantes, apresenta uma densidade demográfica de 6,07 habitantes por km² e índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0,646.¹⁸ No Pará, o rendimento mensal domiciliar *per capita* era de R\$ 883,00 até 2010, quando 68,48% da população vivia em área urbana e 31,52% em área rural.¹⁹ A SESPA gere as ações de saúde atribuídas pelo Sistema Único de Saúde (SUS) em 13 Centros Regionais de Saúde, distribuídos por regiões de saúde em todo o território paraense, com o propósito de descentralizar e regionalizar o atendimento a seus usuários, contando com 2.057 estabelecimentos de saúde pública até 2010.^{7,18,19}

No presente estudo, a coleta dos dados foi realizada a cada semana. Os dados obtidos eram separados por registro diário, correspondente a cada dia da semana coletada. Para cada região de saúde, os dados coletados somam 147 dias observados para a variável ‘casos confirmados’, 161 dias observados para ‘óbitos’ e 72 dias observados para a variável ‘quantidade de leitos de unidades de terapia intensiva (UTI) ocupados’.

Os dados foram classificados em variáveis numéricas quantitativas e categóricas, conforme descrição a seguir: dia de ocorrência (data, variável categórica), casos acumulados (variável quantitativa), óbitos acumulados (quantitativa), casos diários (quantitativa), óbitos diários (quantitativa), nome das cidades (variável categórica), nome das microrregiões (categórica), regiões de saúde do estado (categórica), região de gestão de leitos de UTI (categórica), demográfica das cidades (variável quantitativa), leitos de UTI disponíveis (quantitativa), leitos de UTI ocupados (quantitativa), leitos clínicos disponíveis (quantitativa), leitos clínicos ocupados (quantitativa), médicos disponíveis (quantitativa), enfermeiros disponíveis (quantitativa), fisioterapeutas disponíveis (quantitativa) e técnicos de enfermagem disponíveis (quantitativa).

Nesse contexto, uma equipe de pesquisadores da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) iniciou uma série de pesquisas. *A posteriori*, a equipe contou com a colaboração de outros pesquisadores, vinculados à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Universidade Federal do Pará (UFPA) e Universidade do Estado do

Pará (UEPA), vindo a formar uma equipe multidisciplinar e interinstitucional. O escopo das pesquisas foi compreender a dinâmica de transmissão e gerar previsões capazes de identificar padrões nos dados observados. Alcançado esse propósito, seria possível fornecer informações confiáveis, que pudessem auxiliar as autoridades de saúde pública na toma de decisões importantes para mitigar o surto em um ambiente mutável, onde vários fatores impactam, positiva ou negativamente, a transmissão local e regional.

Uso das RNAs para a geração do Boletim COVID-PA

No presente trabalho, utilizou-se as RNAs para projetar o número de óbitos e de casos confirmados, acumulados e diários, e a demanda de leitos de UTI nas diversas regiões de saúde do Pará, com os resultados sendo compilados semanalmente, em formato de boletim. O conjunto de boletins publicados teve início com um artigo científico que propôs o método de geração das primeiras projeções, de autoria de Castro et al.,²⁰ e posteriormente, por um artigo de Braga et al.,²¹ no sentido de aprimorar os métodos utilizados neste estudo. O fluxo de trabalho para a geração dos boletins publicados seguiu os seguintes passos:

- a) Coleta dos dados de casos confirmados, óbitos, recursos hospitalares, além de informações das cidades.
- b) Integração e pré-processamento dos dados, gerando a tabela de aprendizado, apta para a execução da técnica de aprendizado de máquina.
- c) Processamento/treinamento e seleção das melhores redes neurais.
- d) Geração das projeções de casos e óbitos, com margem de erro em torno de 10%.
- e) Análise de precisão, resíduos e erro das projeções de casos e óbitos.
- f) Armazenamento das projeções pós-processadas.
- g) Processamento e seleção da melhor rede neural treinada para a ocupação de leitos de UTI.
- h) Geração das projeções para a demanda da ocupação de leitos de UTI, com margem de erro em torno de 10%.
- i) Análise de precisão, resíduos e erro das projeções de ocupação de leitos de UTI.
- j) Armazenamento dos dados gerados.
- k) Compilação e disponibilização documental da próxima edição do Boletim COVID-PA no sítio eletrônico do projeto,¹⁷ e divulgação em mídias sociais.

Nas ciências exatas, o uso de RNAs é comum em fenômenos que necessitam de um processo de identificação de padrões. O ajuste dos diferentes parâmetros, a partir de dados previamente conhecidos, permite que o modelo identifique padrões do problema e expresse, com satisfatória precisão, os dados reais – observados posteriormente. Essa etapa é conhecida como o treinamento do sistema inteligente, que requer extenso poder computacional para o processamento de centenas de RNAs criadas dinamicamente.

As RNAs treinadas foram de tipo *multi layer perceptron* (MLP), com uma camada oculta.¹⁹ O método de Fletcher-Gloss foi utilizado para definir o intervalo de número de neurônios na camada oculta, por meio da seguinte equação,

$$2 \times \sqrt{n} + n_2 \leq n_1 \leq 2 \times n + 1$$

onde n é a quantidade de variáveis de entrada da rede neural, n_1 é a quantidade de neurônios na camada oculta e n_2 é a quantidade de neurônios na camada de saída.

As funções de ativação testadas foram a exponencial, identidade, logística e tangente hiperbólica. O algoritmo de treinamento utilizado foi o Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS).^{20,21} Os pesos iniciais das RNAs foram gerados aleatoriamente. A validação das RNAs foi realizada mediante o particionamento aleatório dos dados em dois conjuntos: conjunto de treinamento (80%) e conjunto de validação (20%).

Após a seleção da melhor RNA treinada, iniciou-se a etapa de geração e visualização das projeções e, em seguida, a análise de precisão e erro, para atestar a validade do modelo, utilizando-se a seguinte equação,

$$\text{Precisão} = 1 - \frac{\sum \frac{|R-P|}{R} \times 100}{N}$$

sendo R os valores reais observados, P os valores projetados e N o número de observações.

As projeções de recursos hospitalares também foram estimadas por este estudo. A data de ocorrência e os óbitos diários projetados pela melhor RNA foram utilizados como variáveis preditoras, para estimar a demanda por leitos de UTI. Com a informação do número de UTI, é possível aferir a quantidade de recursos hospitalares²² e profissionais de saúde. Assim, uma RNA exclusiva foi treinada para projetar o número de UTI necessárias para as diversas regiões do Pará, e seus resultados foram comparados com os dados reais de leitos de UTI ocupados. Por fim, essas informações

foram armazenadas e usadas para gerar os gráficos e tabelas necessários à compilação dos boletins COVID-PA.

Publicação dos boletins COVID-PA

Inicialmente, os boletins¹⁷ foram publicados a cada sete dias, referentes ao período de 18 de março de 2020, data do primeiro caso de COVID-19 confirmado no Pará, até 30 de julho de 2020. Subsequentemente, as publicações foram a cada 14 dias, referentes ao período de 31 de julho de 2020 a 31 de agosto de 2020, data quando foi publicado o último boletim.

É importante relatar que a partir do terceiro boletim (28/05/2020), a equipe multidisciplinar começou a apresentar as projeções específicas para cada uma das 13 regiões de saúde do Pará. No sexto boletim (19/06/2020), passou-se também a gerar projeções de ocupação de leitos de UTI, em virtude da necessidade de acompanhar essa variável que, no início da pandemia, ainda não era disponibilizada periodicamente. Por fim, no oitavo boletim (06/07/2020), passou-se a publicar as projeções para os 40 municípios mais populosos ou mais próximos das sedes de saúde do estado.

Consequentemente, após a publicação e encaminhamento dos boletins à SESPA, houve indução à resposta operacional de distribuição de recursos hospitalares e de informações para subsidiar medidas de restrição e flexibilização de fluxo da população. As constatações de que medidas foram tomadas após a publicação dos boletins referem-se aos anúncios de novos leitos em regiões com alta pressão hospitalar, diretamente apontados nas projeções deste estudo, e citações diretas do estudo pelas mídias de divulgação governamental (amostras de notícias do projeto: https://pastebin.com/embed_iframe/0mqMEQFY).

Esta pesquisa envolve apenas dados de domínio público, não há identificação de identidade e tampouco envolvimento de seres humanos, pelo que não foi necessária a aprovação de um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

Resultados

Os números publicados do Boletim COVID-PA indicaram projeções com precisão média de 97% para casos confirmados e de 96% para óbitos, quando comparadas com os dados observados posteriormente (Tabela 1). A projeção da

demanda por leitos de UTI ficou próxima do número real de leitos de UTI ocupados, com precisão média igual a 86%. As projeções de mais de 20 dias, geradas no início da pandemia, foram divulgadas em formato de artigo científico²⁰ e apresentaram uma precisão média de 96% e 87% para casos confirmados acumulados e óbitos acumulados, respectivamente.

Pode-se observar que o comportamento das projeções seguiu o número de casos confirmados acumulados (Figura 1a). Uma ocorrência foi observada nas projeções de óbitos acumulados no segundo e no terceiro boletins (Figura 1b): entre os dias 19 e 30 de maio de 2020, o segundo boletim mostrou uma curva exponencial, e o terceiro um comportamento linear.

O gráfico comparativo das projeções de óbitos diários feitas pela RNA para o estado no Pará, publicado no último boletim, e sua respectiva ocorrência observada, indicam o período do pico do número de óbitos da primeira onda, que coincide, no mês de maio, com o período entre os dias 5 e 20 (Figura 2).

Na Figura 3, observa-se uma constante diminuição na ocupação de leitos (em números absolutos), a um decréscimo linear médio de aproximadamente 3,5 leitos por dia. Além do mais, as projeções das demandas de leitos de UTI, feitas pelas RNAs, acompanharam essa queda.

Discussão

Neste artigo, é relatada uma abordagem de inteligência artificial aplicada aos dados da pandemia da COVID-19 no estado do Pará, resultando em 13 boletins técnicos que apresentaram projeções confiáveis no curto prazo, com 97% de precisão de acerto para casos confirmados, 96% para óbitos e 86% para ocupação de leitos de UTI. Nos primeiros boletins, a equipe de trabalho focou em gerar projeções para o Pará. À medida que mais dados sobre o vírus foram disponibilizados, percebeu-se a necessidade de acompanhar cada região, pois ficou claro que ocorriam diferentes cenários epidemiológicos no estado paraense.

O terceiro e o quarto boletins, publicados no fim de maio e no início de junho, respectivamente, indicaram uma incipiente queda na curva de óbitos e casos diários. Vários fatores podem ter contribuído para esse fato, tais como as políticas

governamentais (por exemplo: implantação de clínicas itinerantes, com distribuição de máscaras e medicamentos complementares), medidas de higiene adotadas e suspensão de fluxo de pessoas.²³ O novo comportamento da população em relação à proteção contra o vírus e o conhecimento adquirido pelas equipes de saúde quanto ao manejo dos casos de COVID-19, observados no final do mês de abril e nos primeiros dias de maio, também poderiam explicar essa redução. Vale destacar que, enquanto algumas regiões do Pará já mostravam estabilização dos casos de COVID-19 (por exemplo, a região metropolitana de Belém), outras alcançavam seu pico epidêmico (Baixo Amazonas, Tapajós e Araguaia), indicando a necessidade de realocação de recursos hospitalares de uma região estável para outra com alta demanda por atendimento, ao longo do ano de 2020.

Observa-se que no penúltimo boletim, COVID-PA nº 12, houve uma queda percentual para 62% de precisão, sobre a projeção da demanda de leitos de UTI, provável resultado da mudança na metodologia de testagem para COVID-19 – de molecular para sorológica – no período de 31 de julho a 17 de agosto de 2020. Essa mudança pode ter influenciado na precisão do boletim de nº 12. Por conseguinte, a variável de entrada ‘casos confirmados’ foi retirada do modelo de RNA, fazendo com que a precisão da projeção aumentasse para 93% de acordo com o último boletim publicado, COVID-PA nº 13.

O número de leitos de UTI disponibilizados mantinha-se superior a sua ocupação de fato, e superior à projeção de demanda de leitos apontada pelos boletins. Paralelamente, a oferta de leitos de UTI começou a cair a partir do mês de agosto, provavelmente devido ao encerramento de atividades em hospitais de campanha para pacientes com COVID-19 na rede pública, acompanhando a queda no número de casos e de óbitos.

A técnica de redes neurais artificiais suporta um número elevado de dados, modelando as incertezas associadas às projeções. Diversos estudos aplicaram a mesma técnica durante a pandemia, com o objetivo de projetar a prevalência e identificar a sazonalidade da doença.²⁴⁻²⁶ Nesse caminho, considerando-se a transmissibilidade do SARS-CoV-2, torna-se necessária a observação periódica do aumento substancial da capacidade de leitos de UTI, para um rápido isolamento de doentes,²⁷ mediante iniciativas que já foram executadas e relatadas, com base em dados históricos.^{28,29} Essa

estrutura quantitativa, em escala espacial e temporal, fornece informações úteis para avaliar o impacto das intervenções de controle, e de como as mudanças de comportamento afetam a dinâmica da transmissão.^{13,30}

Os dados utilizados na fase de treinamento resultam em uma dependência do modelo aos dados coletados, dados estes provenientes de fontes secundárias, compostas por casos confirmados, óbitos e leitos de UTI. Tal condição implica ajuste periódico dos parâmetros do modelo. No entanto, as projeções realizadas ao longo do tempo, posteriormente avaliadas, demonstraram que essa limitação não alterou significativamente os resultados do presente estudo.

As projeções de curto prazo, com suporte das RNAs, cumpriram a função de antever o comportamento de surtos epidemiológicos, auxiliando na prevenção de colapsos no sistema de saúde do estado do Pará, no ano de 2020, especialmente na realocação de leitos hospitalares, cuja eficiência ajudou na tomada de decisão dos gestores públicos, além de informar a sociedade sobre o comportamento epidemiológico da doença. Finalmente, os boletins COVID-PA, produzidos pela presente pesquisa de extensão universitária, indicam que parcerias entre as universidades, a vigilância de saúde e a gestão estadual são fundamentais para a produção de informações relevantes, em um período crítico de pandemia, contribuindo para a preservação das vidas na capital e no interior do Pará.

Agradecimentos

A todos os profissionais de saúde que contribuíram com informações sobre os atendimentos na linha da frente da pandemia, especialmente Andrea A. F. de Souza, Cristina Shizuka K. Castro e Helloyza H. F. A. Pompeu. Aos profissionais Ben R. S. Pereira e Jean Patrick C. Souza, pelo apoio técnico-administrativo da Universidade Federal Rural da Amazônia à publicação dos boletins COVID-PA.

Contribuição dos autores

Souza Jr. GN, Braga MB, Rodrigues LLS, Fernandes RS e da Rocha JEC contribuíram igualmente, na concepção e delineamento do artigo, análise e interpretação

de dados, redação do conteúdo e da primeira versão do manuscrito. Dolácio CJF, Tavares Jr. IS, Noronha FN e Pinheiro RR contribuíram no delineamento do artigo, interpretação dos dados e redação do conteúdo. Ramos RTJ, Carneiro AR e Brito SR contribuíram na análise, redação do conteúdo e revisão crítica do manuscrito. Botelho MN, Diniz HAC e Vallinoto ACR contribuíram na análise, revisão crítica e orientação das etapas do estudo. Todos os autores aprovaram a versão final e são responsáveis por todos os aspectos do trabalho, incluindo a garantia de sua precisão e integridade.

Declaração de conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesses com o presente artigo.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores concordam que caso o manuscrito venha a ser aceito e postado no servidor SciELO Preprints, a retirada do mesmo se dará mediante retratação.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de

conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.

- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELOPreprints.

Referências

1. Li L-Q, Huang T, Wang Y-Q, Wang Z-P, Liang Y, Huang T-B, et al. Covid-19 patients' clinical characteristics, discharge rate, and fatality rate of meta-analysis. *J Med Virol*. 2020;92(6):577-83. doi: <https://doi.org/10.1002/jmv.25757>.
2. Croda J, Oliveira WK, Frutuoso RL, Mandetta LH, Baia-da-Silva DC, Brito-Souza JD, et al. Covid-19 in Brazil: advantages of a socialized unified health system and preparation to contain cases. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2020 Apr 17;53:e20200167. doi: <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0167-2020>.
3. Takemoto MLS, Menezes MO, Andreucci CB, Nakamura-Pereira M, Amorim MMR, Katz L, et al. The tragedy of covid-19 in Brazil: 124 maternal deaths and counting. *Int J Gynecol Obstet*. 2020;151(1):154-6. doi: <https://doi.org/10.1002/ijgo.13300>. Epub 2020 Jul 29.
4. Islam N, Shabnam S, Erzurumluoglu AM. Temperature, humidity, and wind speed are associated with lower Covid-19 incidence. *medRxiv* 2020.03.27.20045658 [Preprint]. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.27.20045658>.
5. Lima NT, Buss PM, Paes-Sousa R. A pandemia de covid-19: uma crise sanitária e humanitária. *Cad Saude Publica*. 2020;36(7):e00177020. doi: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00177020>.
6. Cavalcante JR, Cardoso-dos-Santos AC, Bremm JM, Lobo AP, Macário EM, Oliveira WK, et al. Covid-19 no Brasil: evolução da epidemia até a semana

- epidemiológica 20 de 2020. *Epidemiol Serv Saude*. 2020;29(4):e2020376. doi: <https://doi.org/10.5123/s1679-49742020000400010>.
7. Secretaria da Saúde Pública (PA). Coronavírus no Pará. [Belém]: Governo do Pará; [c2020; acesso 5 ago. 2020]. Disponível em: <https://www.covid-19.pa.gov.br/>
 8. Governo do Estado do Pará. Decreto Estadual n. 609, de 16 de abril de 2020. Dispõe sobre as medidas de enfrentamento, no âmbito do Estado do Pará, à pandemia do corona vírus Covid-19. *Diário Oficial*. 13 maio 2020 [acesso 5 ago. 2020]. Disponível em: <https://www.sistemas.pa.gov.br/sisleis/legislacao/5444>
 9. Universidade Federal de Pelotas. Covid-19 no Brasil: várias epidemias num só país: primeira fase do Epicovid19 reforça preocupação com a região Norte. Pelotas (RS): UFPel; 2020 [acesso 22 jul. 2020][. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/covid19/files/2020/05/EPICOVID19BR-release-fase-1-Portugues.pdf>
 10. Luengo-Oroz M, Pham KH, Bullock J, Kirkpatrick R, Luccioni A, Rubel S, et al. Artificial intelligence cooperation to support the global response to covid-19. *Nat Mach Intell*. 2020;2(6):295-7. doi: <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0184-3>.
 11. Massad E, Burattini MN, Lopez LF, Coutinho FAB. Forecasting versus projection models in epidemiology: the case of the SARS epidemics. *Med Hypotheses*. 2005;65(1):17-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2004.09.029>.
 12. Al-Qaness MAA, Ewees AA, Fan H, El Aziz MA. Optimization method for forecasting confirmed cases of Covid-19 in China. *J Clin Med*. 2020 Mar 2;9(3):674. doi: <https://doi.org/10.3390/jcm9030674>.
 13. Mohamadou Y, Halidou A, Kapen PT. A review of mathematical modeling, artificial intelligence and datasets used in the study, prediction and management of covid-19. *Appl Intell*. 2020;50(11):3913-3925. doi: <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01770-9>.
 14. Datilo PM, Ismail Z, Dare J. A review of epidemic forecasting using artificial neural networks. *Int J Epidemiol Res*. 6(3):132-43. doi: <https://doi.org/10.15171/ijer.2019.24>.
 15. Wahyunggoro O, Permanasari AE, Chamsudin A. Utilization of neural network for disease forecasting. 59th ISI World Statistics Congress. 2013 [acesso 12 jul. 2020]:549. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Utilization-of->

Neural-Network-for-Disease-Wahyunggoro-

Permanasari/88b515658b38e404dffe8fdc55da519076c848d

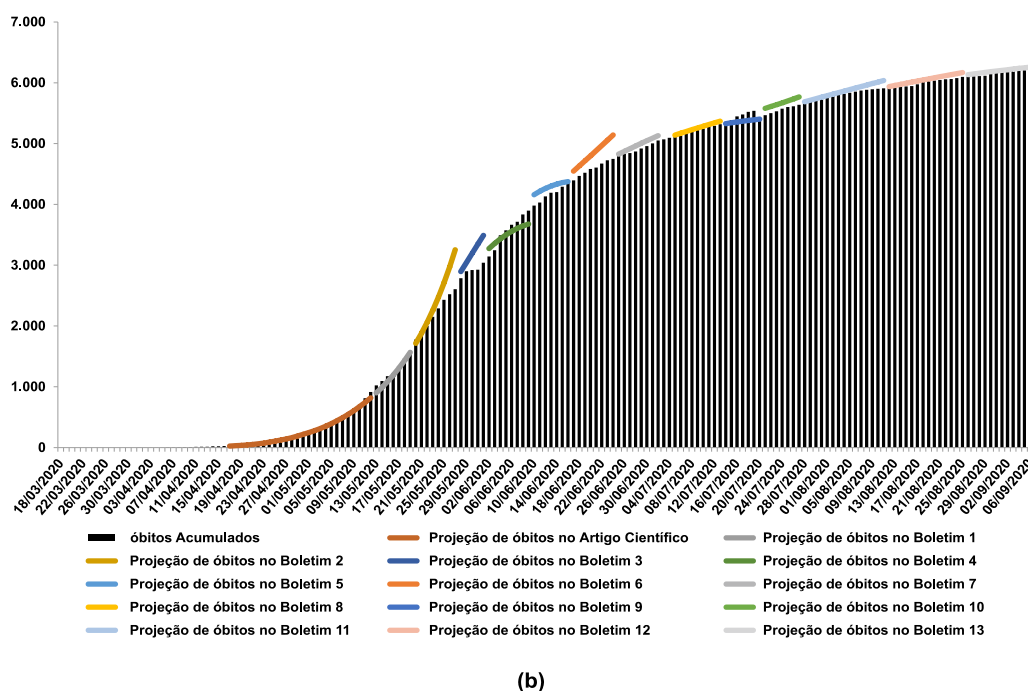
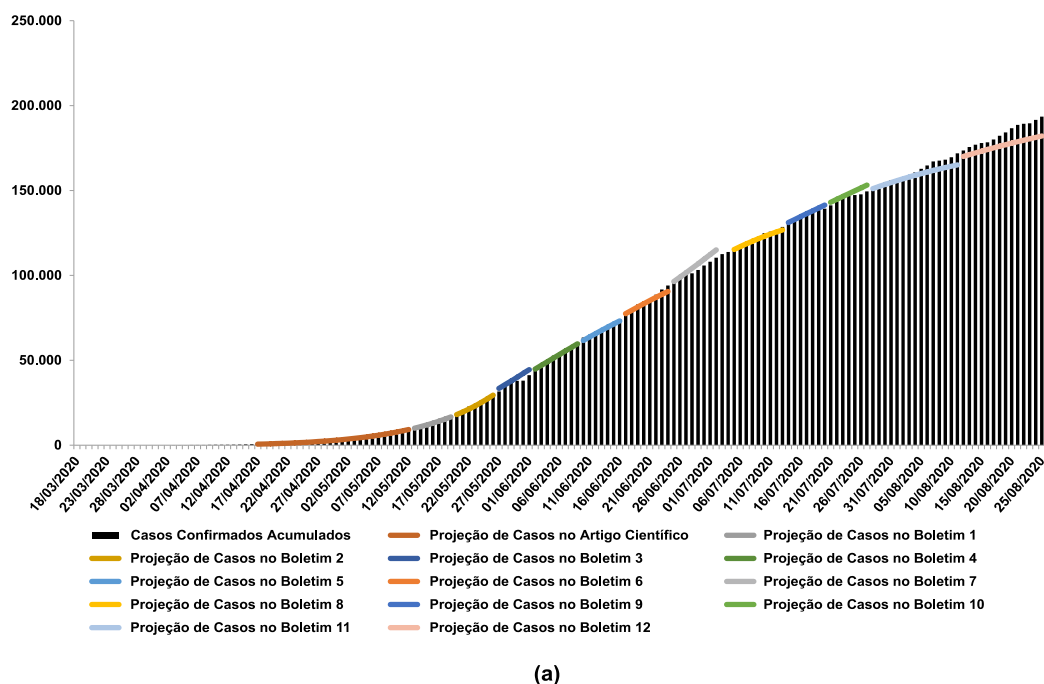
16. Fernandes RS. Compartmental epidemiological models for Covid-19: sources of uncertainty, goodness-of-fit and goodness-of-projections *IEEE Lat Am Trans.* 2021 [acesso 5 out. 2020];19(6):1024-32. Disponível em: <https://latamt.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/4399>
17. Universidade Federal Rural da Amazônia. Boletim COVID-19 PARÁ. PROEX - Pro-reitoria de Extensão. Published 2020. Accessed October 20, 2020. https://proex.ufra.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=265:boletim-covid-ufra&catid=2&Itemid=375
18. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Pará: panorama. [Brasília, DF]: IBGE; 2020 [acesso 3 jun. 2021]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/panorama>
19. Governo do Estado do Pará. Plano estadual de saúde: 2016-2019. Belém (PA): Governo do Estado do Pará; 2016 [acesso 3 jun. 2021]. Disponível em: https://www.conass.org.br/pdf/planos-estaduais-de-saude/PA_Plano-estadual-saude-2016-2019.pdf
20. Rocha JEC, Souza Júnior GN, Brito SR, Folador ARC, Ramos RTJ, Braga MB, et al. Redes neurais artificiais na previsão de contágio e óbitos por covid-19: um estudo no estado do Pará, Brasil. *Int J Dev Res.* 2020;10(4):35416-21 [acesso 20 out. 2020]. Disponível em: <https://www.journalijdr.com/redes-neurais-artificiais-na-previsão-de-contágio-e-óbitos-por-covid-19-um-estudo-noestado-do-pará>
21. Braga MB, Fernandes RS, Souza Júnior GN, Rocha JEC, Dolácio CJF, Tavares Júnior IS, et al. Artificial neural networks for short-term forecasting of cases, deaths, and hospital beds occupancy in the covid-19 pandemic at the Brazilian Amazon. *PLoS One.* 2021 Mar 11;16(3):e0248161. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248161>.
22. Moghadas SM, Shoukat A, Fitzpatrick MC, Well CR, Sah P, Pandey A, et al. Projecting hospital utilization during the covid-19 outbreaks in the United States. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2020 Apr 21;117(16):9122-6. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.2004064117>.

23. Mecenas P, Bastos RTRM, Vallinoto ACR, Normando D. Effects of temperature and humidity on the spread of Covid-19: a systematic review. *PLoS One*. 2020 Sep 18;15(9): e0238339. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238339>.
24. Yang Z, Zeng Z, Wang K, Wong S-S, Liang W, Zanin M, et al. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of covid-19 in China under public health interventions. *J Thorac Dis*. 2020;12(3):165-74. doi: <https://doi.org/10.21037/jtd.2020.02.64>.
25. Saba AI, Elsheikh AH. Forecasting the prevalence of covid-19 outbreak in Egypt using nonlinear autoregressive artificial neural networks. *Process Saf Environ Prot*. 2020;141:1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.029>.
26. Tamang SK, Singh PD, Datta B. Forecasting of covid-19 cases based on prediction using artificial neural network curve fitting technique. *Glob J Environ Sci Manag*. 2020;6(SD):53-64. doi: <https://doi.org/10.22034/GJESM.2019.06.SI.06>.
27. Grasselli G, Pesenti A, Cecconi M. Critical care utilization for the covid-19 outbreak in Lombardy, Italy: early experience and forecast during an emergency response. *JAMA*. 2020 Apr 28;323(16):1545-6. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4031>.
28. Li R, Rivers C, Tan Q, Murray MB, Toner E, Lipsitch M. The demand for inpatient and ICU beds for COVID-19 in the US: lessons from Chinese cities. *medRxiv*. 2020 Mar 16; 2020:2020.03.09.20033241. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.09.20033241>. Preprint.
29. Jiang X, Coffee M, Bari A, Wang J, Jiang X, Huang J, et al. Towards an artificial intelligence framework for data-driven prediction of coronavirus clinical severity. *Comput Mater Contin*. 2020;63(1):537-551. doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.010691>.
30. Chowell G, Sattenspiel L, Bansal S, Viboud C. Mathematical models to characterize early epidemic growth: a review. *Phys Life Rev*. 2016;18:66-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2016.07.005>.

Tabela 1 – Precisoões obtidas no artigo científico e nos boletins COVID-PA ao se utilizar redes neurais artificiais para projetar os casos confirmados, óbitos e ocupação dos leitos de UTI,^a Pará, 30 de abril-29 de agosto de 2020

Trabalho técnico-científico	Data da publicação	Casos	Óbitos	Ocupação de leitos de UTI ^a
		confirmados		
		(%)	(%)	
Artigo científico²⁰	30/04/2020	96	87	–
Boletim 1^b	13/05/2020	96	94	–
Boletim 2^b	20/05/2020	96	93	–
Boletim 3^b	28/05/2020	94	88	–
Boletim 4^b	05/06/2020	98	96	–
Boletim 5^b	10/06/2020	98	97	–
Boletim 6^b	18/06/2020	98	94	–
Boletim 7	26/06/2020	97	98	87
Boletim 8	06/07/2020	99	99	85
Boletim 9	14/07/2020	99	98	91
Boletim 10	21/07/2020	98	98	93
Boletim 11^c	31/07/2020	98	99	90
Boletim 12^c	14/08/2020	96	99	62
Boletim 13^{c,d}	29/08/2020	–	99	93
Média geral	–	97%	96%	86%

a) UTI: unidade de terapia intensiva; b) As projeções da ocupação de leitos de UTI não foram apresentadas porque inicialmente, esta variável não estava no escopo da pesquisa; c) As projeções foram realizadas para 14 dias, em vez de 7 dias; d) A projeção de casos confirmados não foi gerada, em função da troca da metodologia de testagem de casos confirmados pelo estado do Pará.

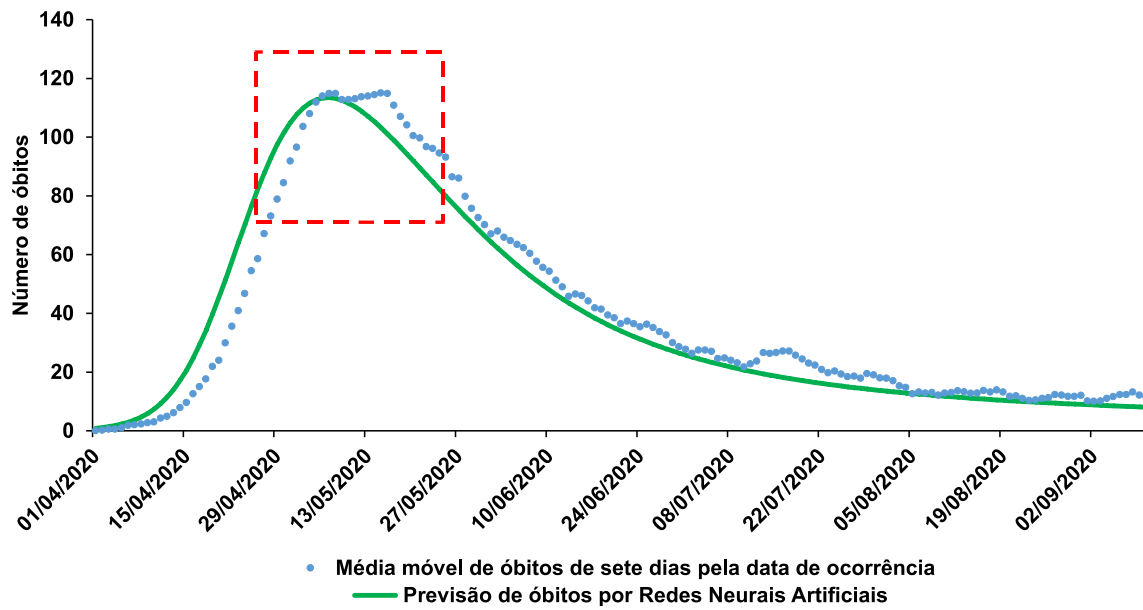


Legenda:

(a) Casos confirmados acumulados

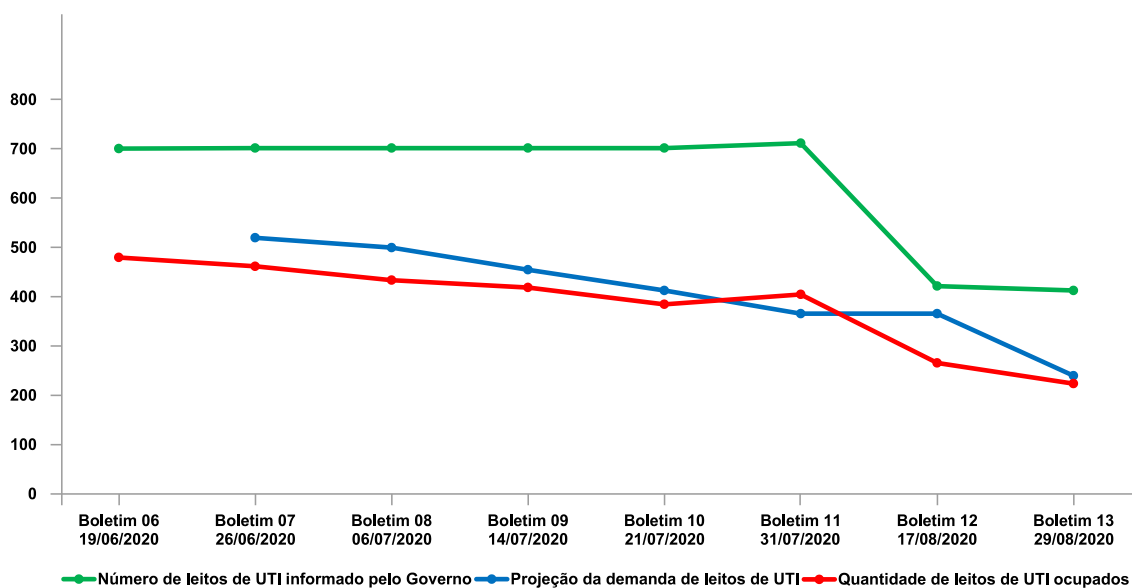
(b) Óbitos acumulados

Figura 1 – Projeções geradas pelas redes neurais artificiais a cada Boletim COVID-PA publicado, Pará, 18 de março-6 de setembro de 2020



* O quadro tracejado em destaque indica o pico de óbitos do estado do Pará em 2020.

Figura 2 – Média móvel de óbitos diários e projeção de óbitos por redes neurais artificiais, sobre dados dos boletins COVID-PA, Pará, 1º de abril-2 de setembro de 2020



a) UTI: unidade de terapia intensiva

Figura 3 – Ocupação de leitos de UTI^a e projeções da demanda por esse serviço, sobre dados dos boletins COVID-PA, Pará, 19 de junho-29 de agosto de 2020

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores concordam que caso o manuscrito venha a ser aceito e postado no servidor SciELO Preprints, a retirada do mesmo se dará mediante retratação.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.