

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Danilo Cirino Muniz do Nascimento

**ANÁLISE DA PANDEMIA DE COVID-19 EM MINAS GERAIS: uma perspectiva a
partir das variáveis de saúde**

Belo Horizonte

2025

Danilo Cirino Muniz do Nascimento

ANÁLISE DA PANDEMIA DE COVID-19 EM MINAS GERAIS: uma perspectiva a partir das variáveis de saúde

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Vagner Braga Nunes Coelho

Coorientadora: Prof^a Dr^a Úrsula Ruchkys de Azevedo

Belo Horizonte

2025

N244a
2025

Nascimento, Danilo Cirino Muniz do.

Análise da pandemia de COVID-19 em Minas Gerais [manuscrito] : uma perspectiva a partir das variáveis de saúde / Danilo Cirino Muniz do Nascimento. – 2025.

91 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Vagner Braga Nunes Coelho.

Co-orientadora: Úrsula Ruchkys de Azevedo.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Bibliografia: f. 83-91.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Acesso aos serviços de saúde – Minas Gerais – Teses. 3. COVID-19, Pandemia de, 2020-2023 – Indicadores – Teses. 4. Análise espacial (Estatística) – Teses. 5. Disparidades regionais – Minas Gerais – Teses. 6. Epidemiologia – Teses. I. Coelho, Vagner Braga Nunes. II. Ruchkys, Úrsula de Azevedo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA PANDEMIA DE COVID-19 EM MINAS GERAIS: UMA PERSPECTIVA A PARTIR DAS VARIÁVEIS DE SAÚDE

DANILO CIRINO MUNIZ DO NASCIMENTO

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia vinte e oito de abril de dois mil e vinte cinco, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Juliana Maria Trindade Bezerra

Universidade Estadual do Maranhão

Selma Costa de Sousa

Secretaria de Saúde da Prefeitura de Contagem

Marcos Antônio Timbó Elmiro

Universidade Federal de Minas Gerais

Úrsula Ruchkys de Azevedo

Universidade Federal de Minas Gerais

Vagner Braga Nunes Coelho - Orientador

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 29 de abril de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Vagner Braga Nunes Coelho, Chefe de departamento**, em 29/04/2025, às 12:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À minha esposa, Thalyta, que foi porto seguro durante esses anos de cansaço, luta e vitórias.

Ao prof. Vagner, cuja paciência e confiança estiveram sempre à disposição nesse longo caminho.

À profa. Úrsula, cujo carinho, atenção e cuidado são ímpares.

Às professoras Juliana Maria Trindade Bezerra e Selma Costa de Sousa e ao professor Marcos Antônio Timbó Elmiro, cujos apontamentos, sugestões e correções na qualificação ajudaram a moldar a pesquisa.

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado, possibilitando a realização desta pesquisa.

“Justificar tragédias como ‘vontade divina’ tira da gente a
responsabilidade por nossas escolhas.” (Umberto Eco)

RESUMO

A pandemia de COVID-19 evidenciou desigualdades estruturais e fragilidades dos sistemas de saúde, impactando de forma desigual a população. Em Minas Gerais, fatores como a distribuição da infraestrutura hospitalar, o acesso aos serviços de saúde e as condições socioeconômicas foram determinantes para os desfechos epidemiológicos da doença. No entanto, havia uma lacuna no entendimento sobre a relação entre infraestrutura de saúde e a propagação do vírus em nível regional. Este estudo teve como objetivo analisar a associação entre a infraestrutura de saúde e os indicadores da pandemia de COVID-19 em Minas Gerais. A pesquisa buscou compreender como a distribuição dos serviços de saúde e os fatores socioeconômicos influenciaram os números de casos, internações e óbitos, além de avaliar os impactos da vacinação. O estudo utilizou uma abordagem quantitativa e espacial, combinando dados epidemiológicos, socioeconômicos e de infraestrutura de saúde. Foram coletados dados da Secretaria Estadual de Saúde, IBGE e DATASUS, dentre outros. A análise envolveu estatística descritiva, regressões multivariadas e modelagem espacial, com o uso do Índice de Moran Global para avaliar a autocorrelação espacial das variáveis. Também foram construídos mapas temáticos para visualizar a distribuição geográfica dos impactos da pandemia no estado. Os resultados apontaram que a desigualdade na distribuição da infraestrutura hospitalar e na cobertura vacinal contribuiu para diferenças significativas nos indicadores epidemiológicos entre os municípios mineiros. Municípios com menor disponibilidade de leitos e profissionais de saúde apresentaram maiores taxas de óbitos e internações. Além disso, padrões espaciais foram identificados, evidenciando *clusters* de alta incidência em áreas de maior vulnerabilidade socioeconômica. A análise da vacinação demonstrou sua efetividade na redução da mortalidade, mas também expôs desafios logísticos na distribuição equitativa das doses. Os achados da pesquisa reforçaram a necessidade de políticas públicas voltadas para o fortalecimento da infraestrutura de saúde, especialmente em regiões mais vulneráveis. A ampliação da rede hospitalar, a redistribuição de profissionais de saúde e a melhoria na logística de vacinação foram medidas essenciais para mitigar impactos de futuras crises sanitárias. Além disso, a integração de metodologias de análise espacial pôde auxiliar gestores na formulação de estratégias de combate a pandemias.

Palavras-chave: infraestrutura de saúde; COVID-19; análise espacial; desigualdade regional; modelagem epidemiológica.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic highlighted structural inequalities and vulnerabilities within healthcare systems, disproportionately affecting different segments of the population. In the state of Minas Gerais, factors such as the distribution of hospital infrastructure, access to healthcare services, and socioeconomic conditions were decisive in shaping the epidemiological outcomes of the disease. However, there was a gap in the understanding of the relationship between healthcare infrastructure and the spread of the virus at the regional level. This study aimed to analyze the association between healthcare infrastructure and COVID-19 pandemic indicators in Minas Gerais. The research sought to understand how the distribution of health services and socioeconomic factors influenced the number of cases, hospitalizations, and deaths, as well as to assess the impacts of vaccination. The study employed a quantitative and spatial approach, integrating epidemiological, socioeconomic, and healthcare infrastructure data. Data were collected from the State Health Department, IBGE, DATASUS, among other sources. The analysis involved descriptive statistics, multivariate regressions, and spatial modeling, including the use of the Global Moran's I Index to assess the spatial autocorrelation of variables. Thematic maps were also constructed to visualize the geographic distribution of the pandemic's impacts across the state. The results indicated that inequality in the distribution of hospital infrastructure and vaccination coverage contributed to significant disparities in epidemiological indicators among municipalities in Minas Gerais. Municipalities with lower availability of hospital beds and healthcare professionals showed higher hospitalization and mortality rates. Moreover, spatial patterns were identified, revealing clusters of high incidence in areas of greater socioeconomic vulnerability. The analysis of vaccination demonstrated its effectiveness in reducing mortality, but also exposed logistical challenges in the equitable distribution of doses. The findings of the study underscore the need for public policies aimed at strengthening healthcare infrastructure, particularly in more vulnerable regions. Expanding hospital networks, redistributing healthcare professionals, and improving vaccination logistics were essential measures to mitigate the impacts of future health crises. Additionally, the integration of spatial analysis methodologies proved valuable for policymakers in formulating effective pandemic response strategies.

Keywords: healthcare infrastructure; COVID-19; spatial analysis; regional inequality; epidemiological modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tese

Figura 1 -	Localização do estado de Minas Gerais e regiões de saúde	27
Figura 2 -	a) Mapa de distribuição de unidades básicas de saúde (UBS) por município. b) Mapa de distribuição de hospitais gerais e especializados por município	29
Figura 3 -	Fluxograma de abstração de aplicações geográficas	31

Artigo 1

Figura 1 -	Diagrama de Classes, contendo as classes, atributos e chaves-primárias	37
------------	--	----

Artigo 2

Figura 1 -	Valores esperados para número de casos e óbitos por município	49
Figura 2 -	Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes	50
Figura 3 -	Resultado da álgebra de mapas	53

Artigo 3

Figura 1 -	Fluxograma metodológico	62
Figura 2 -	Comportamento explicado para casos e óbitos por COVID-19 a partir da Análise de Componentes Principais	65
Figura 3 -	Diagrama de Venn	71

LISTA DE TABELAS

Artigo 2

Tabela 1 - Regressão Linear Multivariada	52
--	----

Artigo 3

Tabela 1 - Fatores Associados aos casos por COVID-19	66
--	----

Tabela 2 - Fatores Associados aos óbitos por COVID-19	69
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Atenção Básica
AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CCDC	Centro Chinês de Controle e Prevenção de Doenças
CGPNI	Coordenação Geral do Programa Nacional de Imunizações
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde
COE-nCoV	Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública
COVID-19	<i>Corona Vírus Disease - 2019</i>
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DEIDT	Departamento de Imunização e Doenças Transmissíveis
ESF	Estratégia Saúde da Família
EUA	Estados Unidos da América
FJP	Fundação João Pinheiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEE	Índice de Eficiência em Estrutura
IMG	Índice de Moran Global
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
Mers	<i>Middle East Respiratory Syndrome</i>
MS	Ministério da Saúde
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
OR	<i>Odds Ratio</i>
PNI	Programa Nacional de Imunizações
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SAGE	Grupo Consultivo Estratégico de Especialistas em Imunização
Sars	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome</i>
SARS-CoV-2	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>
SIPNI	Sistema de Informações do Programa Nacional de Imunizações
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UNFPA	Fundo das Nações Unidas para a População
VOC	<i>Variant of Concern</i> (Variante de Preocupação)
VOC-LUM	<i>Lineages Under Monitoring</i> (Linhagens VOC sob Monitoramento)
VOI	<i>Variant of Interest</i> (Variante de Interesse)
VUM	<i>Variant Under Monitoring</i> (Variante sob Monitoramento)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 JUSTIFICATIVA	14
3 OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo Geral	15
3.2 Objetivos Específicos	15
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4.1 COVID-19	16
4.2 Grupos de risco e comorbidades.....	19
4.3 Imunização e metas de vacinação.....	20
4.4 Infraestrutura de saúde.....	22
4.5 Vulnerabilização da saúde e do acesso à saúde	26
5 MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1 Área e População de Estudo	30
5.2 Métodos	32
5.3 Modelagem de Dados	33
5.3.1 Modelo de Dados OMT-G.....	34
5.4 Processamento dos Dados	34
5.4.1 Análise Espacial	35
5.5 Aspectos Éticos.....	36
6 Artigo 1 - Ontologia de Pesquisa sobre a COVID-19 e a Infraestrutura de Saúde: Uma construção em UML	37
7 Artigo 2 - A relação entre COVID-19 e Infraestrutura de Saúde no segundo estado mais populoso do Brasil	45
8 Artigo 3 - A Relevância dos Dados Secundários na Análise da Variabilidade de Casos e Óbitos por COVID-19: um estudo ecológico em Minas Gerais, Brasil	60
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
REFERÊNCIAS.....	83

1 INTRODUÇÃO

Os coronavírus foram descritos pela primeira vez em 1966 e devido sua morfologia, que consiste em uma concha central e projeções (espículas) na sua superfície que se assemelham a um sol, eles foram denominados coronavírus, tal como a coroa de Fraunhofer ou corona, que é o envoltório luminoso do Sol que pode ser observado durante os eclipses solares. Esses vírus possuem quatro subfamílias: alfa, beta, gama e delta, tendo sua origem nos mamíferos, e as duas últimas surgiram, especificamente, de porcos e pássaros (VELAVAN & MEYER, 2020).

Como características morfológicas, o SARS-CoV-2 é um vírus envelopado de RNA fita simples que apresenta um formato esférico, medindo entre 100 e 125 nm. Sua estrutura inclui proteínas estruturais como a proteína S (*spike*), que facilita a ligação ao receptor ACE2 nas células humanas, permitindo a entrada do vírus. Além disso, possui proteínas de envelope (E) e de membrana (M) que são essenciais para a sua integridade e infectividade (UZUNIAN, 2020; PEREIRA, CRUZ & LIMA, 2021).

A COVID-19 teve início na cidade de Wuhan, China, em dezembro de 2019, (LU *et al.*, 2020; SINGH & Yi, 2021) e ocorre da transmissão do vírus SARS-CoV-2. Quão rápida foi sua disseminação que após somente três meses de seu surgimento, foi declarada como pandemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 11 de março de 2020 (OMS, 2020).

No Brasil, o primeiro caso da doença foi registrado no dia 26 de fevereiro de 2020, em São Paulo, e o primeiro óbito, também no mesmo estado, foi registrado no dia 17 de março do mesmo ano (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Possivelmente o governo já especulava sobre a presença do vírus em território nacional, pois o estado de Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional e o estabelecimento do Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública (COE-nCoV) foram estabelecidos no dia 3 de fevereiro de 2020 como resposta nacional ao estado de emergência (BRASIL, 2020).

Esse vírus é altamente contagioso e se espalha principalmente por meio de gotículas respiratórias (GUO *et al.*, 2020) e com o contato em superfícies que tenham sido expostas ao vírus (ONG *et al.*, 2020), o que favorece o contágio quando existe o contato ou a aglomeração de um indivíduo infectado com outros indivíduos. Quando esse contato ocorre e há a infecção, o período de incubação médio é de cerca de cinco a seis dias, podendo variar de dois a 14 dias, e tem como sintomas mais comuns a febre, tosse seca, fadiga e falta de ar. É importante ressaltar, no entanto, que a infecção pode ser assintomática em alguns casos, o que dificulta o controle

da disseminação. Nesses casos, mesmo não sendo perceptível sintoma, o indivíduo ainda é capaz de transmitir a doença (ISER *et al.*, 2020).

Até junho de 2023, foram confirmados 270 milhões de casos e 5,3 milhões de óbitos em vários países (OMS, 2023). Os dados epidemiológicos indicam uma ampla variabilidade nas taxas de infecção e mortalidade entre países e dentro de diferentes grupos populacionais (CHINAZZI *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020; HALE *et al.*, 2022). Percebe-se que essas disparidades são influenciadas por fatores como densidade populacional, infraestrutura de saúde, medidas de controle implementadas e desigualdades sociais. Juntamente a todo esse processo, a qualidade e a acessibilidade à infraestrutura e aos serviços de saúde são de fundamental importância quando os métodos preventivos são ineficazes (BARBOSA *et al.*, 2022).

Para enfrentar essa realidade, as respostas à pandemia de COVID-19 variaram consideravelmente entre países e regiões (KIRBY, 2020; MACKEY *et al.*, 2021; CHÁVEZ-ALMAZÁN *et al.*, 2022). A implementação de políticas de saúde pública, como medidas de distanciamento social, uso de máscaras, testagem em massa e rastreamento de contatos, desempenhou um papel crucial na contenção da disseminação do vírus (TARTOF *et al.*, 2021). No entanto, a eficácia dessas medidas também depende de fatores sociais, como adesão da população, disponibilidade de recursos e infraestrutura de saúde.

Além disso, as respostas governamentais à pandemia têm sido influenciadas por fatores políticos, econômicos e sociais, como visto no território brasileiro (SOUSA *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2022). A coordenação entre os diferentes níveis de governo, a comunicação clara com a população, o acesso equitativo a serviços de saúde e a tomada de decisões baseadas em evidências científicas são elementos essenciais para uma resposta efetiva.

Como supracitado, a disseminação da COVID-19 tem sido desigual, afetando de forma desproporcional grupos socialmente marginalizados e vulneráveis. Populações de baixa renda, minorias étnicas, idosos e pessoas com condições de saúde pré-existentes são mais suscetíveis à infecção e têm maior probabilidade de desenvolver formas graves da doença. Por conta disso, é possível inferir que essas desigualdades estão intrinsecamente ligadas a determinantes sociais, como acesso limitado a serviços de saúde, moradias superlotadas e falta de acesso tanto à água potável quanto ao saneamento básico adequado (MARMOT *et al.*, 2020; MINAYO & FREIRE, 2020; VAHIDY *et al.*, 2020; YANCY, 2020; PAINTSIL, 2023).

Estas populações vulnerabilizadas, além do maior risco de infecção, enfrentam dificuldades adicionais no acesso a cuidados de saúde, enfrentam barreiras econômicas e têm maior probabilidade de sofrer com consequências socioeconômicas negativas, como perda de

emprego, falta de moradia adequada e insegurança alimentar. Esses efeitos ressaltam a necessidade de políticas públicas que abordem essas desigualdades e garantam a proteção dos grupos mais vulneráveis e excluídos da população.

Muito embora os fatores sociais e fisiológicos tenham recebido ampla atenção nos estudos de COVID-19, as pesquisas que versam sobre o impacto da infraestrutura de saúde sobre essa moléstia são incipientes, de modo a pouco explorar a complexidade da relação entre disponibilidade, acessibilidade e as demais variáveis de saúde que influenciaram a disseminação e o agravamento da doença.

2 JUSTIFICATIVA

Como pode ser visto, é crucial entender o grau de associação da infraestrutura e do sistema de saúde com a COVID-19 de modo a quantificar o impacto e a vulnerabilidade do Sistema Único de Saúde (SUS) para doenças dessa magnitude. Isso dito, a fim de facilitar aos tomadores de decisão a destinação de verbas para a melhoria desse sistema, existe a necessidade do desenvolvimento de estudos cujo intuito seja mitigar impactos de outras pandemias de caráter semelhante que ainda possam assolar o público brasileiro.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a associação entre a infraestrutura e as covariáveis de saúde em relação aos desfechos de número de casos, internações e óbitos por COVID-19 no estado de Minas Gerais.

3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver a Ontologia de pesquisa em infraestrutura de saúde e COVID-19 para a realidade do estado de Minas Gerais;
- Estimar a magnitude do número de casos, internações e óbitos ao longo do território do estado e sua associação às demais variáveis de saúde de significância na literatura internacional;
- Descrever o perfil de saúde dos acometidos por COVID-19 no estado durante a primeira, segunda e terceira ondas;
- Verificar a associação entre a disposição da infraestrutura de saúde e a distribuição de casos, internações e óbitos nos municípios do estado;

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 COVID-19

Em dezembro de 2019, inúmeras unidades de saúde no território chinês relataram grande quantidade de pacientes acometidos por uma pneumonia de causa desconhecida. O que parecia ser um surto, aparentava ter associação à exposição ao agente etiológico da referida enfermidade, na cidade de Wuhan, que pertence à província de Hubei (ZHU *et al.*, 2020; LU *et al.*, 2020; OMS, 2020; SINGH & Yi, 2021).

Ainda em dezembro do mesmo ano, o Centro Chinês de Controle e Prevenção de Doenças (CCDC) começou a investigar a origem epidemiológica da pneumonia. A partir disso, foi descoberta a existência de um novo vírus da família corona, cujos principais sintomas relacionados à infecção por ele provocada eram febre e tosse (ZHU *et al.*, 2020; LU *et al.*, 2020; OMS, 2020).

A partir dessa descoberta e do crescente número de casos na região, no dia 20 de janeiro de 2020, a OMS decretou o estado de Emergência na Saúde Pública de Interesse Internacional. A organização recomendou um nome provisório de “doença respiratória aguda de 2019-nCoV”, onde 'n' se refere a novo e 'CoV' a coronavírus. O agente passou a ser chamado então de novo coronavírus de 2019 (BRASIL, 2020). No mês seguinte, a OMS recomendou a publicação de boletins de atualização epidemiológica, visando melhor acompanhamento do número de infectados (OMS, 2020).

A partir desse ponto, várias medidas de segurança sanitária foram, à priori, sugeridas pela OMS para as regiões afetadas e circunvizinhas, como uso de câmeras de vigilância para mapear o caminho dos infectados, controle de temperatura em linhas de metrô, organizações públicas e aeroportos, evitar o contato desprotegido com animais de fazenda ou selvagens, a prática de manter distância de outras pessoas, higienizar as mãos, e, para as pessoas com sintomas de infecção respiratória aguda, uso de lenços ou roupas descartáveis. As instalações de saúde, foram orientadas a melhorar as práticas padrão de prevenção e controle de infecções em hospitais, especialmente em departamentos de emergência. Todavia, mesmo com essas medidas, o número de casos, e agora de óbitos, continuou a crescer, o que resultou no decreto, no dia 11 de março de 2020, da situação de pandemia (OMS, 2020).

Estudos iniciais apontaram que a transmissão da doença era similar a transmissão do Mers e do Sars, que significava ser de pessoa para pessoa por meio de gotículas ou contato (LI

et al., 2020; OMS, 2020). O período em que a doença poderia ser transmitida variava entre dois e 14 dias (MARTINS *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2020), inclusive por pacientes assintomáticos.

A partir desse ponto, começaram a surgir mais estudos investigando os sintomas da doença. As pesquisas de Chen *et al.* (2020), Guan *et al.* (2020), Yang *et al.* (2020), Young *et al.* (2020), Zhou *et al.* (2020) e Jie *et al.* (2021) apontaram que os sintomas mais comuns da COVID-19 eram a febre, seguido por tosse e mal-estar. Além desses, eram encontrados pacientes com dor abdominal e vômitos (JIE *et al.*, 2021), fadiga (ZHOU *et al.*, 2020), falta de ar (CHEN *et al.*, 2020), dor de garganta (YOUNG *et al.*, 2020) e dispneia (YANG *et al.*, 2020).

Corroborando com esses estudos, uma análise com 40.000 pacientes de COVID-19 em vários países relatou que falta de ar, febre, tosse e fadiga eram os sintomas mais comuns (REYES *et al.*, 2022). Nos Estados Unidos da América (EUA), os estudos descreveram sintomas semelhantes (ARENTZ *et al.*, 2020; RICHARDSON *et al.*, 2020)

Segundo a OMS (2021), cerca de 80% das pessoas com COVID-19 se recuperam da doença sem precisar de tratamento hospitalar. Todavia, 16,6% dos infectados pelo SARS-CoV-2 desenvolvem formas graves da doença. Pessoas idosas e/ou com morbidades, a exemplo de pessoas com problemas cardíacos e pulmonares, diabetes ou câncer, dentre outros, apresentavam maior risco de evoluírem para formas graves da doença (ARENTZ *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020). Além disso, com o crescente número de infectados, houve diversas modificações nos vírus, o que ocasionou o surgimento das variantes.

2.2 Variantes

A OMS classifica as variantes do SARS-CoV-2 como variantes de preocupação (VOC – do inglês *variant of concern*), linhagens VOC sob monitoramento (VOC-LUM – do inglês *lineages under monitoring*), variantes de interesse (VOI – do inglês *variant of interest*) ou variantes sob monitoramento (VUM – do inglês *variant under monitoring*). (BEDOYA-SOMMERKAMP *et al.*, 2021; ELLIOT *et al.*, 2021; GILES *et al.*, 2021; BRASIL, 2022). Embora haja consenso na definição das VOI e das VOC, cada instituição de saúde tem soberania em atribuir qual classificação mais lhe convém à linhagem em questão.

Para a COVID-19 houve, inicialmente, quatro variantes de significativa relevância: a Alfa, que surgiu no Reino Unido (VASIREDDY *et al.*, 2021); a Beta surgiu na África do Sul (VASIREDDY *et al.*, 2021); a Gama surgiu no Brasil (PLANAS *et al.*, 2021); e a Delta, que

teve sua origem no território da Índia (MLCOCHOVA *et al.*, 2021). Segundo Bedoya-Sommerkamp *et al.* (2021) e Giles *et al.* (2021), as variantes Alfa e Delta foram associadas ao maior coeficiente de mortalidade.

No Brasil, a variante Alfa (linhagem B.1.1.7) foi identificada em dezembro de 2020 (BRASIL, 2021b). Por ter sido a variante encontrada na maioria dos casos investigados, especula-se que a primeira onda foi causada por esta variante. Segundo Elliot *et al.* (2021), cujo estudo transversal utilizou mais de um milhão de observações, os pacientes reportaram mais tosse e menos ageusia (perda do paladar) e anosmia (perda do olfato). Os estudos de Snell *et al.* (2021) indicaram que os acometidos por essa variante apresentavam mais casos com hipóxia. É possível perceber também que os infectados por essa cepa apresentavam maior carga viral (VILLOUTREIX *et al.*, 2021). Segundo Jabłońska *et al.* (2021), que estudaram a associação entre mortalidade e as variantes na segunda onda de COVID-19 em 38 países da Europa, essa variante impactou na mortalidade por COVID-19 (OR=1,41, $p<0,001$).

No início de 2021, as autoridades japonesas notificaram o Brasil de uma nova variante em circulação, que foi captada em viajantes brasileiros que deram entrada nos hospitais japoneses com febre alta (FUJINO *et al.*, 2021; HIROTSU & OMATA, 2021). Foi então que a variante B.1.1.28.1, que foi denominada Gama pela OMS, foi identificada (BRASIL, 2021b).

Naquele momento, foi identificado um aumento nos coeficientes de letalidade em diferentes idades e sexos (FREITAS *et al.*, 2021). Ao mesmo tempo, em um estudo realizado em 4.000 pacientes em um hospital de Salvador, estado da Bahia, Nordeste do país, os autores descreveram alteração na mediana de idade dos doentes, bem como a maior gravidade dos internados adultos jovens sem comorbidades, o que diferia do que era encontrado em pacientes infectados pelas variantes anteriores (NONAKA *et al.*, 2021). Da mesma forma, no Sudeste do Brasil, Oliveira *et al.* (2021) encontraram aumento da mortalidade em adultos após a identificação local da variante Gama.

Durante o ano de 2021, a variante Alfa foi suplantada pela variante Delta, que demonstrou ser mais transmissível e apresentar maior probabilidade de hospitalização (BEDOYA-SOMMERKAMP *et al.*, 2021; TWOHIG *et al.*, 2021).

Essa linhagem foi identificada, pela primeira vez, em dezembro de 2020, na Índia, sendo identificada no Brasil em outubro de 2021 (BRASIL, 2021b). A presença dessa linhagem, que já havia se mostrado muito mais transmissível e grave nos EUA (DYER, 2021; EARNEST *et al.*, 2021), só foi diminuir em meados de dezembro de 2021, quando foi suplantada pela variante Ômicron.

A variante Ômicron foi isolada na África do Sul (MEO *et al.*, 2021) e foi responsável pela terceira onda de COVID-19 no Brasil. Essa variante, denominada B.1.1.529, ficou conhecida pela grande capacidade de infecção, porém, com baixa gravidade (BRASIL, 2022).

Os primeiros casos da Ômicron no Brasil foram confirmados no dia 1 de dezembro de 2021 e, refletindo o cenário global, a variante apresentou rápida disseminação. Em janeiro de 2022, a Ômicron já correspondia a 97,8% dos genomas sequenciados no país e depositados no Gisaïd (plataforma de iniciativa científica e global, que fornece dados genômicos do vírus SARSCoV-2), chegando a 100% em abril de 2022 (BRASIL, 2022).

4.2 Grupos de risco e comorbidades

De acordo com o Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a COVID-19, foram definidos grupos alvo da campanha de vacinação, a saber: pessoas com 60 anos ou mais institucionalizadas; pessoas com deficiência institucionalizadas; população indígena que vive em terras indígenas homologadas e não homologadas; trabalhadores da saúde; pessoas de 75 anos ou mais; povos e comunidades tradicionais ribeirinhas e quilombolas; pessoas de 60 a 74 anos; pessoas com comorbidades; pessoas com deficiência permanente grave; pessoas em situação de rua; população privada de liberdade; funcionários do sistema de privação de liberdade; trabalhadores da educação do ensino básico (creche, pré-escolas, ensino fundamental, ensino médio, profissionalizantes e do Ensino de Jovens e Adultos); trabalhadores da educação do ensino superior; forças de segurança, salvamento e forças armadas; trabalhadores de transporte coletivo rodoviário de passageiros; trabalhadores de transporte metroviário e ferroviário; trabalhadores de transporte aéreo; trabalhadores transporte aquaviário; caminhoneiros; trabalhadores portuários; e trabalhadores industriais (BRASIL, 2022).

As comorbidades pré-estabelecidas incluídas pelo Ministério da Saúde como prioritárias para a vacinação contra a COVID-19 foram escolhidas a partir de revisões de literatura (BRASIL, 2022). Portanto, os que foram prioritariamente vacinados foram aqueles que portavam Diabetes *mellitus*; Pneumopatias crônicas graves; Hipertensão Arterial Resistente (HAR); Hipertensão arterial estágio 3; Hipertensão arterial estágios 1 e 2 com lesão em órgão-alvo; Insuficiência cardíaca (IC); Cor-pulmonal e Hipertensão pulmonar; Cardiopatia hipertensiva; Síndromes coronarianas; Valvopatias; Miocardiopatias e Pericardiopatias; Doenças da Aorta, dos Grandes Vasos e Fístulas arteriovenosas; Arritmias cardíacas; Cardiopatias congênitas no adulto; Próteses valvares e dispositivos cardíacos implantados;

Doenças neurológicas crônicas; Doença renal crônica; Imunocomprometidos; Hemoglobinopatias graves; Obesidade mórbida; Síndrome de Down; e Cirrose hepática.

No começo da pandemia, a mediana dos pacientes com comorbidade era de cerca de 56 anos (ZHOU *et al.*, 2020), sendo a maioria dos pacientes do sexo masculino. Entre os pacientes chineses, quase metade dos pacientes apresentavam comorbidades (GUAN *et al.*, 2020). Um perfil similar foi encontrado nos EUA (ARENTZ *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2020). Dentre as enfermidades que mais se associaram ao agravamento da doença ou ao óbito, verificou-se a obesidade (FÖLDI *et al.*, 2020; SALVY *et al.*, 2022), o diabetes (SALVY *et al.*, 2022) e a hipertensão arterial (RICHARDSON *et al.*, 2020). Já o estudo de Reyes *et al.* (2021), com 40.000 pacientes com COVID-19 grave, 63% apresentavam pelo menos uma comorbidade.

Em um estudo de coorte realizado com 2.000 pacientes que buscaram atendimento de saúde em Fortaleza, no estado do Ceará no Nordeste do Brasil, foi encontrado que a maior presença de doenças cardiovasculares, neurológicas ou pneumopatias representou maior risco de óbito em idosos [OR 3,6; Intervalo de Confiança 2,3–5,8; $p < 0,001$] (SOUSA *et al.*, 2020). Esse estudo vai ao encontro do estudo de Rodrigues *et al.* (2022), que, ao analisar casos no Brasil, encontraram maior risco de óbito entre pacientes com comorbidades. Indo na mesma direção, em um estudo com dados do estado do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil, foi observada maior mortalidade em idosos, com comorbidades e usuários de hospitais públicos (MACIEL *et al.*, 2020).

4.3 Imunização e metas de vacinação

O objetivo da imunização contra a COVID-19 no Brasil foi a redução da morbimortalidade causada pelo novo coronavírus, bem como a manutenção do funcionamento da força de trabalho dos serviços de saúde e a manutenção do funcionamento dos serviços essenciais (BRASIL, 2021).

Para isso, foi desenvolvido um plano de vacinação para direcionar a forma como as vacinas seriam aplicadas em todo o território nacional, bem como os grupos prioritários, os grupos a serem imunizados, as contraindicações à vacinação, os métodos de farmacovigilância utilizados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), dentre outras informações.

O “Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a COVID-19” foi desenvolvido inicialmente pelo Ministério da Saúde (MS), por meio da Coordenação Geral do Programa Nacional de Imunizações (CGPNI) e do Departamento de Imunização e Doenças

Transmissíveis (DEIDT) da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) e com apoio técnico-científico de especialistas na Câmara Técnica Assessora em Imunização e Doenças Transmissíveis (Portaria GAB/SVS nº 28 de 03 de setembro de 2020), pautado também nas recomendações do Grupo Consultivo Estratégico de Especialistas em Imunização (*Strategic Advisor Group of Experts on Immunization - SAGE*) da OMS. Considerando o exposto na análise dos grupos de risco e tendo em vista o objetivo principal da vacinação contra a COVID-19, foram definidas como prioridade a preservação do funcionamento dos serviços de saúde; a proteção dos indivíduos com maior risco de desenvolver formas graves da doença; a proteção dos demais indivíduos vulneráveis aos maiores impactos da pandemia; seguido da preservação do funcionamento dos serviços essenciais (BRASIL, 2021a; 2021b).

O principal insumo desse plano era a disponibilização das vacinas aprovadas pela ANVISA com equidade, segurança e efetividade. Por isso, no Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a COVID-19, em 2020, estimava-se que os grupos de maior risco para agravamento e de maior exposição ao vírus estariam vacinados ainda no primeiro semestre de 2021 (BRASIL, 2021a).

Para iniciar a vacinação, foram aprovadas as vacinas AstraZeneca/Fiocruz, Pfizer e Coronavac/Instituto Butantan, para que, em janeiro de 2021, se desse início à vacinação nacional. Em abril daquele ano, a vacina da Janssen foi também aprovada.

É importante ressaltar a diminuição da eficácia geral do esquema vacinal completa contra qualquer linhagem da COVID-19. Massimo *et al.* (2022), encontraram que, para a variante Alfa com relação a Delta, houve diminuição de eficácia de 79% para 69%.

Com a conclusão da primeira dose aos grupos prioritários, em 30 de julho de 2021, deu-se início à distribuição de vacinas para ampliação da vacinação da população geral (18 a 59 anos), de forma escalonada e por faixas etárias decrescentes, até o atendimento total da população brasileira com 18 anos ou mais, com previsão, à época, para o dia 15 de setembro de 2021. (BRASIL, 2021a)

Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), a imunização é uma das intervenções de saúde mais custo efetivas implementadas no curso da história (OPAS, 2017). A vacinação é responsável pelo controle e erradicação de diversas doenças, colaborando para a redução da morbimortalidade principalmente entre as crianças (BRASIL, 2003). Adicionando a esses dados, Rovida *et al.* (2021), em seu estudo com profissionais de saúde de uma instituição italiana infectados pela variante Alfa, verificaram a menor infecção e gravidade da doença entre os vacinados.

A partir de 23 de novembro de 2019, seguindo as determinações da Portaria Ministerial nº 2.499, de 23 de setembro de 2019, as salas de vacina da Atenção Primária à Saúde (APS) passaram a utilizar exclusivamente o sistema e-SUS AB para os registros individualizados de vacinação (BRASIL, 2019). O prazo para as informações estarem disponíveis por completo no Sistema de Informações do Programa Nacional de Imunizações (SIPNI) é incerto (podendo passar dos 90 dias) e, até então, não havia ferramenta disponível para que o município e o estado realizassem a conferência a fim de garantir a compatibilização das informações entre os sistemas.

As salas de vacina da rede privada também deveriam realizar o registro das doses em sistema oficial conforme recomendação da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 197, de 26 de dezembro de 2017, da ANVISA. Utilizaram, para isso, o SIPNI na versão Web e seus dados foram computados para o cálculo das coberturas vacinais.

A estratégia delineada pela OMS indicou as ações que precisariam ser tomadas pela comunidade global para vacinar 70% da população mundial contra a COVID-19 até 30 de junho de 2022. As metas provisórias eram 10% de cobertura total da população em todos os países até 30 de setembro de 2021 e 40% em todos os países até 31 de dezembro de 2021 (OMS, 2021). Segundo a OMS, a vacinação de 70% da população possibilita a imunidade da população adulta e adolescente para reduzir o número de doentes graves e a mortalidade, não apenas naqueles com maior risco, mas também protegendo mais amplamente aqueles com menor risco de doença grave (OMS, 2021).

Estabelecendo uma meta mais ambiciosa, o Ministério da Saúde estabeleceu como meta, vacinar ao menos 90% da população alvo. (BRASIL, 2021).

O estado de Minas Gerais atingiu a meta estabelecida pela OMS no dia 16 de dezembro de 2021, quando a população atingiu 70% de vacinação com a 2ª dose. Todavia, até dezembro de 2024, quatro anos após o início da pandemia e três anos após o início da vacinação, somente 83% da população foi vacinada, não atingindo a meta estabelecida pelo Ministério da Saúde.

4.4 Infraestrutura de saúde

Em resumo, o sistema brasileiro de saúde é um sistema misto, em que se complementam um sistema público e um privado. O Sistema Único de Saúde (SUS) foi definido pela Constituição de 1988 e instituído pela Lei 8.080 de 19 de setembro de 1990, com a função de promover a saúde pública no país baseado em três princípios: universalidade, integralidade e

descentralização. O SUS, entretanto, se caracteriza por possuir uma oferta insuficiente de bens e serviços de saúde para a população, com indicadores inferiores aos recomendados pela Organização Mundial da Saúde na maior parte das regiões do país (FARIAS & MELAMED, 2003).

A instauração do Sistema Único de Saúde (SUS) na década de 1990 conferiu à atenção básica (AB) um papel de relevância no panorama do sistema de saúde universal brasileiro. Apesar dos avanços ocorridos na área da saúde nos últimos anos, a operacionalização desses serviços permanece insatisfatória devido a disparidades regionais, uso ineficaz de recursos na prestação de serviços, subaproveitamento de leitos hospitalares e alocação pouco eficiente de fundos públicos (GUERRA, 2013; MICLOS *et al.*, 2017). Nesse contexto, a administração local da saúde assume uma função central e estratégica na antecipação da resolução de desafios, uma vez que a saúde também impulsiona o desenvolvimento nacional e é um direito fundamental financiado predominantemente por recursos públicos. Logo, ao considerar a alocação de recursos, é crucial assegurar a eficiência, eficácia e efetividade, visto que essa prestação de serviços representa a porta de entrada para o SUS, destacando a oferta por meio de um modelo orientado pela demanda como uma via para redução de custos e para a abrangência das ações de saúde (CORDEIRO, 2001; MICLOS *et al.*, 2017).

No âmbito do SUS, a atenção básica assume uma posição prioritária, dado que as Unidades Básicas de Saúde (UBS) desempenham um papel central nas comunidades locais, resolvendo até 85% dos problemas de saúde da população (BRASIL, 2008; MICLOS *et al.*, 2017; FACCHINI *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018).

Nesse contexto, é imperativo avaliar se os recursos descentralizados espelham a infraestrutura disponibilizada aos usuários. Ainda que a correlação entre maiores níveis de gastos e investimentos em infraestrutura pareça evidente, essa relação não é sempre clara em nações em desenvolvimento. Enquanto a expansão dos gastos com a atenção básica demonstra uma correlação substancial com o aprimoramento do acesso à saúde (FACCHINI *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018), países que ainda não atingiram plena maturidade em termos de governança dos recursos públicos podem não apresentar uma correlação robusta nesse contexto, dada a influência de outros fatores na administração do sistema de saúde.

Adicionado à infraestrutura física e disposição de recursos, também é de demasiada importância avaliar a existência de profissionais de saúde com habilidades relevantes, em quantidade adequada, alocados de maneira estratégica, motivados, engajados e apoiados, porquanto é pilar essencial para a gestão e oferta de serviços de saúde de qualidade em todos

os níveis de atenção. Esse desempenho, por sua vez, é delineado pelas políticas e práticas que determinam a quantidade a ser alocada, suas qualificações e condições de trabalho. No entanto, o desequilíbrio na força de trabalho, manifestado na distribuição geográfica desigual e especialmente na escassez de Recursos Humanos em Saúde (RHS) qualificados em áreas rurais ou menos favorecidas, é um desafio social e político que afeta quase todos os países (CORDEIRO, 2001). Associado às disparidades socioeconômicas, esse desequilíbrio compromete o acesso da população aos serviços de saúde.

Sobre o acesso da população a esses serviços, durante a pandemia de COVID-19, o papel das Unidades Básicas de Saúde (UBS) e da Atenção Primária à Saúde (APS) foi de minimizar a sobrecarga das unidades de cuidado emergencial, atuando como porta de entrada do serviço de saúde (LIMA *et al.*, 2018).

A quantidade, a distribuição e a qualidade dos profissionais de saúde acessíveis a populações são condicionantes fundamentais para os ganhos em saúde (SOUSA *et al.*, 2013; MARTINS, 2019). Apesar do aumento da evidência de que a força de trabalho em saúde é fundamental para melhorar os níveis de cobertura dos serviços de saúde da população, vários países ainda enfrentam graves problemas de escassez e desigualdades na distribuição desses profissionais (CARRAPATO *et al.*, 2018; MARTINS, 2019). Todos esses fatores devem ser levados em consideração durante a análise de infraestrutura do país para mitigar os impactos de uma pandemia.

Para enfrentar a COVID-19, de acordo com dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), o Brasil possuía 6.237 hospitais, dos quais 5.298 são de atendimento geral e 939 especializados. Com relação aos leitos hospitalares, o Brasil possui 446.503, dos quais 314.725 são leitos do Sistema Único de Saúde (SUS) (70,49%), enquanto 131.778, (29,51%) do sistema privado. Com relação ao número de leitos, a partir dos dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (OCDE, 2022), o Brasil amarga a 37ª posição em número de leitos por 1.000 habitantes, com um total de 2,7 leitos por 1.000 habitantes. A OMS estima que o mínimo é de cinco leitos por mil habitantes. Para comparação, o topo da lista é ocupado pela Coreia do Sul, com 12,8 leitos por 1.000 habitantes (OCDE, 2022).

Muito embora o estado de Minas Gerais se posicione como o segundo melhor do país no Índice de Infraestrutura de Saúde (IIS) proposto por Bezerra (2020), no estado existem apenas 16 municípios que ofertem mais do que 5 leitos por 1.000 habitantes. Assim, apesar das medidas terapêuticas, há de se considerar que a COVID-19 possui ainda relação com questões

econômicas, políticas e sociais, em que o contexto socioeconômico é um fator determinante quanto ao número de casos e óbitos pela doença, especialmente em populações de maior vulnerabilidade (CESTARI *et al.*, 2021).

Focando na análise da infraestrutura de saúde nos municípios do estado do Rio de Janeiro, Silva *et al.* (2020) realizaram uma comparação entre o Índice de Eficiência em Estrutura (IEE) antes e após o surgimento da pandemia da COVID-19 e ressaltaram a importância de manter a política de expansão ou retomada de leitos e aquisição de equipamentos pelo governo estadual para mitigar os impactos da pandemia. De acordo com dados do CNES (2024), ao se examinar a distribuição física da infraestrutura de saúde, pode-se verificar que menos de 10% dos municípios possuíam leitos de UTI em 2020, demonstrando desigualdades regionais nos investimentos em saúde no Brasil. Analisando a infraestrutura do SUS na conjuntura da COVID-19, Rache *et al.* (2020) constataram uma notável disparidade regional e carência de recursos em grande parte das regiões do país. Segundo esses autores, em 72% das regiões, o número de leitos de UTI disponíveis pelo SUS era inferior ao considerado adequado em um ano comum, isto é, sem o impacto do COVID-19 (RACHE *et al.*, 2020).

Um padrão semelhante também se verificou em relação a ventiladores e respiradores. Noronha *et al.* (2020), por sua vez, destacaram a desigualdade e insuficiência na oferta de serviços de saúde, considerando tanto a demanda gerada pela COVID-19 quanto às necessidades de atendimentos regulares. Eles enfatizaram que o fortalecimento da infraestrutura deveria ser um esforço conjunto, combinando a desaceleração da propagação do vírus com a expansão da capacidade de atendimento. Isso envolveria a cooperação entre a APS e os hospitais de níveis mais elevados, com atribuições que abrangem desde identificação e prevenção até tratamento de casos mais graves, que demandam maior atenção por parte dos profissionais de saúde (NORONHA *et al.*, 2020).

Ainda com relação à infraestrutura física, é importante ressaltar que, conforme dados do DATASUS (BRASIL, 2019b), em 2019, aproximadamente 66% dos leitos gerais estavam destinados ao SUS no Brasil. Os hospitais de pequeno porte representavam cerca de 66% do total, dos quais 70% possuíam até 29 leitos. A taxa de ocupação dos leitos em hospitais de baixa capacidade no SUS era de 24% (até 29 leitos) e 32% (entre 30 e 50 leitos), enquanto nos hospitais de grande porte essa taxa atingia 75% (BRASIL, 2019b).

No que diz respeito à força de trabalho, de acordo com Scheffer *et al.* (2020), nas 48 cidades brasileiras com mais de 500.000 habitantes se concentravam 62,4% de todos os médicos do país. Em contrapartida, os 1.253 municípios com até 5.000 habitantes dispunham de 0,37

médico por 1.000 habitantes, e a faixa populacional entre 10.000 e 20.000 habitantes, que englobava 1.345 municípios, contava com 0,47 médico por 1.000 habitantes. No tocante à equipe de enfermagem, composta por enfermeiros, técnicos e auxiliares, representava aproximadamente 70% dos profissionais de saúde (17% enfermeiros, 53% técnicos e auxiliares de enfermagem), com uma densidade de 101,4 profissionais por 10.000 habitantes em 2018. Uma análise da densidade de enfermeiros revela discrepâncias entre os estados, visto que, enquanto a média nacional era de 24,54 enfermeiros por 10.000 habitantes, no Pará, na região Norte do país, essa densidade chegava a 14,13, enquanto no Distrito Federal, na região Centro-Oeste, alcançava 43,39 (SCHEFFER *et al.*, 2020).

A infraestrutura relacionada à COVID-19 engloba os leitos específicos para o tratamento da pandemia e os equipamentos necessários para a manutenção das funções vitais (respiradores, ventiladores, desfibriladores, monitores de ECG, reanimadores pulmonares, oxímetros e monitores de pressão). Os investimentos visando a ampliação do atendimento a pacientes com complicações da COVID-19 foram motivados pela necessidade de aumentar a capacidade de oferta, uma vez que a capacidade hospitalar se encontrava comprometida. Estudos apontam para a importância de expandir o sistema de saúde, prevenindo colapsos antes mesmo que a pandemia atingisse seu ápice (OMS, 2020; ZHANG *et al.*, 2020; SARKAR *et al.*, 2020; WALDMAN *et al.*, 2020).

Portanto, é possível perceber a fragilidade da infraestrutura de saúde brasileira, principalmente nos municípios menores, longe dos centros regionais. Essa configuração explicita a fragilização da saúde dos moradores de menor poder aquisitivo, com menos anos de estudo, que são vulneráveis social e ambientalmente.

4.5 Vulnerabilização da saúde e do acesso à saúde

A situação socioeconômica pode impactar as condições de vida em diversos aspectos, incluindo residência em áreas menos favorecidas e moradias em condições precárias ou superlotadas. Indivíduos de baixa renda enfrentam desafios significativos, como a dificuldade de aderir a medidas de isolamento devido a preocupações com emprego, renda e acesso limitado a serviços de saúde e saneamento básico (RODRIGUES *et al.*, 2022). Além disso, a educação de baixo nível está indiretamente ligada a fatores que aumentam o risco de desenvolver formas graves da doença (KHALATBARI-SOLTANI *et al.*, 2020).

No Reino Unido, foi constatado que as minorias étnicas têm maior probabilidade de residir em áreas gravemente afetadas pela infecção por COVID-19. Embora esses grupos sejam, em média, mais jovens que a população branca, a taxa de mortalidade é maior entre as minorias étnicas. A taxa de mortalidade entre indivíduos de ascendência negra africana foi 3,5 vezes maior do que entre indivíduos brancos britânicos, enquanto para aqueles de ascendência negra caribenha e paquistanesa, as taxas de mortalidade foram 1,7 e 2,7 vezes maiores, respectivamente (KIRBY, 2020).

Uma análise sistemática revelou que as populações afro-americanas/negras nos EUA possuem um risco de infecção por COVID-19 1,5 a 3,5 vezes maior em comparação à população branca e uma probabilidade 1,5 a 3 vezes maior de hospitalização (MACKEY *et al.*, 2021). Fatores socioeconômicos desempenham um papel crucial nas taxas de infecção e mortalidade. Em condados de Nova York, como Bronx, Brooklyn e Queens, que tiveram as maiores taxas de mortalidade, observou-se uma alta concentração de população de baixa renda (SRAVANI *et al.*, 2020). Uma análise abrangente dos dados de contagem dos Centros de Controle e Prevenção de Doenças dos EUA, abrangendo 3.135 condados, indicou que um aumento de 5% na proporção de lares com más condições de moradia estava associado a um aumento de 50% no risco de incidência de COVID-19 e um aumento de 42% no risco de mortalidade pela doença (AHMAD *et al.*, 2020).

Em países com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), os recursos são escassos, limitando a capacidade de realizar testes em larga escala, campanhas de vacinação e dificultando o enfrentamento da pandemia de COVID-19 (CARD *et al.*, 2021). No México, um estudo demonstrou que a morbidade e a mortalidade estavam positivamente relacionadas ao IDH dos municípios e estados. Além disso, os municípios com menor desenvolvimento humano apresentaram coeficientes de letalidade mais elevados, indicando que a doença afeta de maneira mais severa os estratos mais vulneráveis da população (CHÁVEZ-ALMAZÁN *et al.*, 2022).

A disseminação da pandemia de COVID-19 afetou a população de forma desigual, especialmente no Brasil, onde prevalece uma notável disparidade socioeconômica (GUIMARÃES *et al.*, 2020). O Brasil permanece no grupo dos dez países mais desiguais do mundo, e, embora haja avanços na área de saúde, o progresso entre os estratos socioeconomicamente menos favorecidos é o menor (DEMENECH *et al.*, 2020).

Durante a pandemia, a conexão entre os indicadores socioeconômicos e a disseminação da COVID-19 tornou-se aparente, uma vez que os indivíduos mais impactados eram aqueles com menor nível de escolaridade, limitado acesso a serviços de saúde e menor renda

(MASCARELLO *et al.*, 2021). À medida que a pandemia evoluiu no Brasil, constatou-se que a propagação da COVID-19 variou entre os estados, iniciando-se em São Paulo, um estado caracterizado por melhores condições socioeconômicas, e subsequentemente atingindo áreas mais vulneráveis. Notavelmente, os estados com maiores discrepâncias na distribuição de renda exibiram maiores taxas de transmissão do SARS-CoV-2 (FIGUEIREDO, *et al.*, 2020).

Na região Nordeste do Brasil, especificamente em Fortaleza, a cidade mais populosa do estado do Ceará e a quinta do país, observou-se que o aumento da incidência da doença estava diretamente relacionado ao aumento do percentual de indivíduos ocupados com idade igual ou superior a 18 anos. Esse cenário pode ser explicado pelo perfil desses indivíduos, ativos e frequentemente dependentes de transporte público, além de enfrentarem dificuldades para manter o distanciamento devido às limitações de renda e emprego. Além disso, os indicadores de vulnerabilidade também influenciaram a incidência da COVID-19, mostrando que níveis mais elevados de escolaridade estavam associados a um menor risco de adoecimento pela doença (CESTARI *et al.*, 2021).

Em Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, os padrões de mortalidade durante a pandemia de COVID-19 variaram conforme a vulnerabilidade social nas diferentes regiões do município. Verificou-se um aumento nas mortes por causas naturais e por COVID-19, especialmente entre a população idosa (PASSOS *et al.*, 2021). Na região Norte, onde os estados apresentam indicadores de pobreza acima da média nacional e a segunda menor renda mensal *per capita*, destacou-se Manaus, que ocupou a quinta posição entre as capitais com os maiores coeficientes de incidência de COVID-19 por 1.000.000 de habitantes. Isso foi seguido por Fortaleza, São Luís e Recife, na região Nordeste, e São Paulo, na região Sudeste (MENDONÇA *et al.*, 2020).

Nesse contexto, torna-se crucial considerar os indicadores socioeconômicos, e não apenas os mecanismos fisiopatológicos, na análise da disseminação e distribuição da COVID-19. Essa abordagem é essencial para desenvolver e implementar estratégias de controle eficazes, permitindo que as políticas de saúde guiem os serviços a serem ofertados com princípios de universalidade, equidade e abrangência.

A avaliação do surto de COVID-19 à luz da epidemiologia social de Breilh (BREILH, J., 1991; 2013) e Cecília Minayo (MINAYO *et al.*, 2003; MINAYO & FREIRE, 2020) nos permite compreender importantes lições. Primeiramente, a compreensão dos determinantes sociais da saúde e sua relação com a disseminação de doenças é fundamental para o desenvolvimento de políticas efetivas de saúde pública. Para isso, uma abordagem integrada

que considera fatores biológicos, sociais e políticos é necessária para enfrentar desafios de saúde complexos.

A epidemiologia crítica, proposta por Jaime Breilh, enfatiza a análise social da saúde como um aspecto essencial no estudo de doenças. Essa perspectiva vai além dos fatores biológicos e considera os determinantes sociais, políticos e econômicos que influenciam a ocorrência e disseminação das doenças, propondo um modelo avaliativo oposto ao das abordagens tradicionais (BREILH, 2013), que tendem a negligenciar as desigualdades e contextos sociais mais amplos nos quais as doenças se manifestam. Nesse sentido, a epidemiologia crítica busca uma compreensão holística dos surtos, abordando questões estruturais e políticas relacionadas à saúde e à doença.

Já a abordagem social em saúde, proposta por Minayo (MINAYO et al., 2003; MINAYO & FREIRE, 2020), destaca a importância de compreender as dimensões sociais e culturais dos surtos de doenças. Essa perspectiva reconhece que a saúde é influenciada por fatores sociais, econômicos e culturais, e que o contexto social desempenha um papel fundamental na disseminação e no impacto das doenças. Essa abordagem enfatiza a necessidade de incorporar métodos de pesquisa qualitativa e quantitativa para compreender as experiências, percepções e comportamentos das comunidades afetadas pelos mais diversos surtos.

Essas duas abordagens conversam entre si, e se complementam para mostrar que o processo saúde-doença vai muito além da “simples” (BACHELARD, 1986) alteração biológica do corpo humano, passando pelo comportamento da comunidade na qual aquele indivíduo está inserido, e chegando nos aspectos macroestruturais que caracterizam as sociedades que compõem aquele território. Essas visões se costuram, também, à perspectiva de Almeida Filho (1997), quando sugere que a abordagem epidemiológica deve levar em consideração a “transdisciplinariedade, a complexidade, a pluralidade e a práxis”.

Vale lembrar que o SUS é a maior política social criada no país, devido a sua relevância quanto a atendimentos públicos, especialmente junto a populações menos favorecidas (FAUSTO *et al.*, 2018). Políticas de atenção básica vinculadas ao SUS podem ser destacadas como fundamentais para atenuar diferenças estruturais na saúde, como a Estratégia de Saúde da Família (ESF) e das Unidades Básicas de Saúde (UBS) com as devidas orientações em saúde na Atenção Básica (SILVA *et al.*, 2020).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área e População de Estudo

O estado de Minas Gerais, situado na região Sudeste do Brasil, possuía uma população de 20.539.989 habitantes em 2022 (IBGE, 2022), sendo o segundo estado brasileiro mais populoso. A título de comparação, essa população é maior que a população do Chile (19,7 milhões de habitantes), e corresponde ao dobro da população de Portugal (10,4 milhões) (ONU, 2024). Esse estado está dividido em 853 municípios e apresenta área territorial de 687,90 km² (IBGE, 2022) (Figura 1).

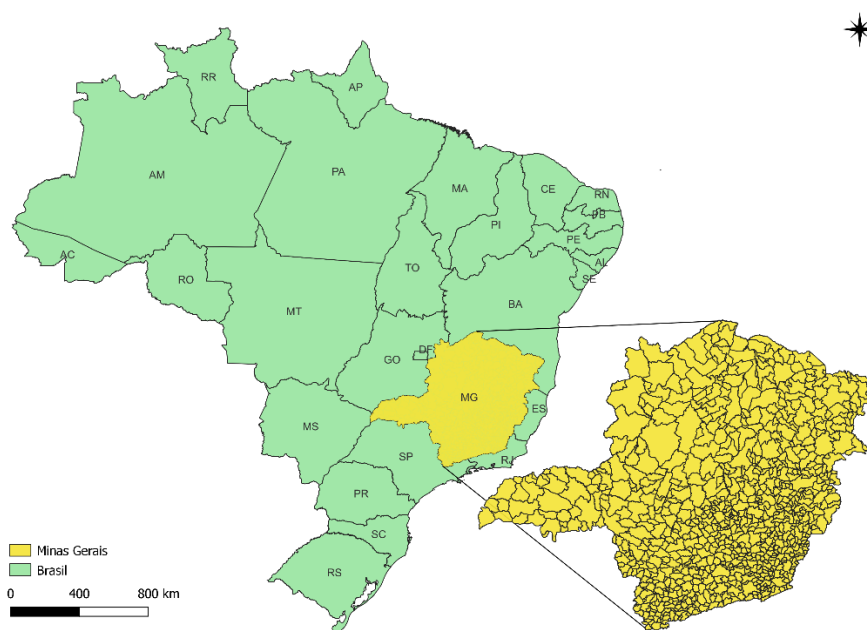
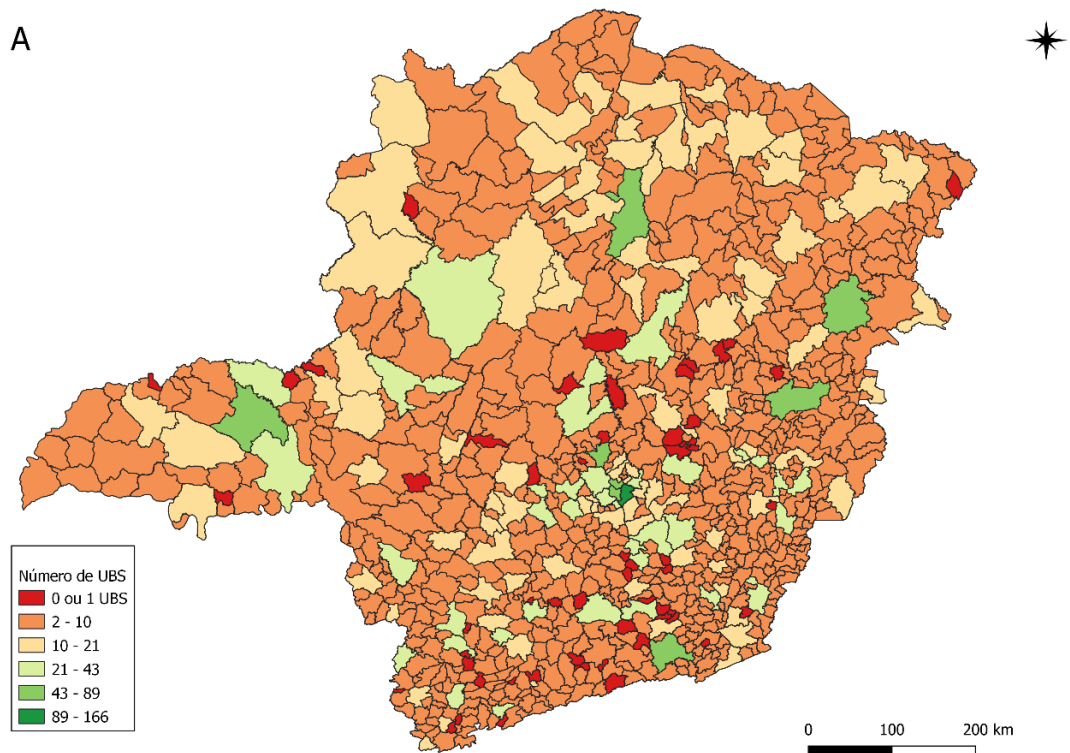


Figura 1 – Localização do estado de Minas Gerais e regiões de saúde

Para fins de melhor gerenciamento dos equipamentos de saúde, esses municípios estão divididos em Superintendências Regionais de Saúde (SRS) e Gerências Regionais de Saúde (GRS). O objetivo dessas é de garantir a gestão do Sistema Estadual de Saúde nas regiões do Estado, assegurando a qualidade de vida da população (MINAS GERAIS, 2020).

Segundos os dados do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), para o ano de 2024, quanto à infraestrutura de saúde do estado, é notório ressaltar que é o segundo maior estado brasileiro em quantidade de leitos, perdendo apenas para São Paulo. Quando se unem dados do SUS e não-SUS (saúde complementar ou saúde privada), à disposição da população, encontram-se 6.015 unidades básicas de saúde, 7.838 clínicas com ambulatório

especializados, 631 hospitais gerais, 168 pronto-socorro / pronto-atendimentos, 21 unidades de saúde indígena e 34 unidades mistas, totalizando 14.707 unidades de saúde, das mais variadas complexidades. Nessas unidades, estão presentes 13.736 leitos não-SUS, divididos entre 688 ambulatoriais, 25 de pronto-socorro / pronto atendimento e 13.023 leitos hospitalares. Somados aos leitos privados, encontram-se 28.224 leitos SUS, divididos em 41 ambulatoriais, 155 de pronto-socorro / pronto atendimento e 28.028 leitos hospitalares (Figura 2). Portanto, à disposição da população, existem 41.960 leitos de atendimento. (DATASUS, 2023)



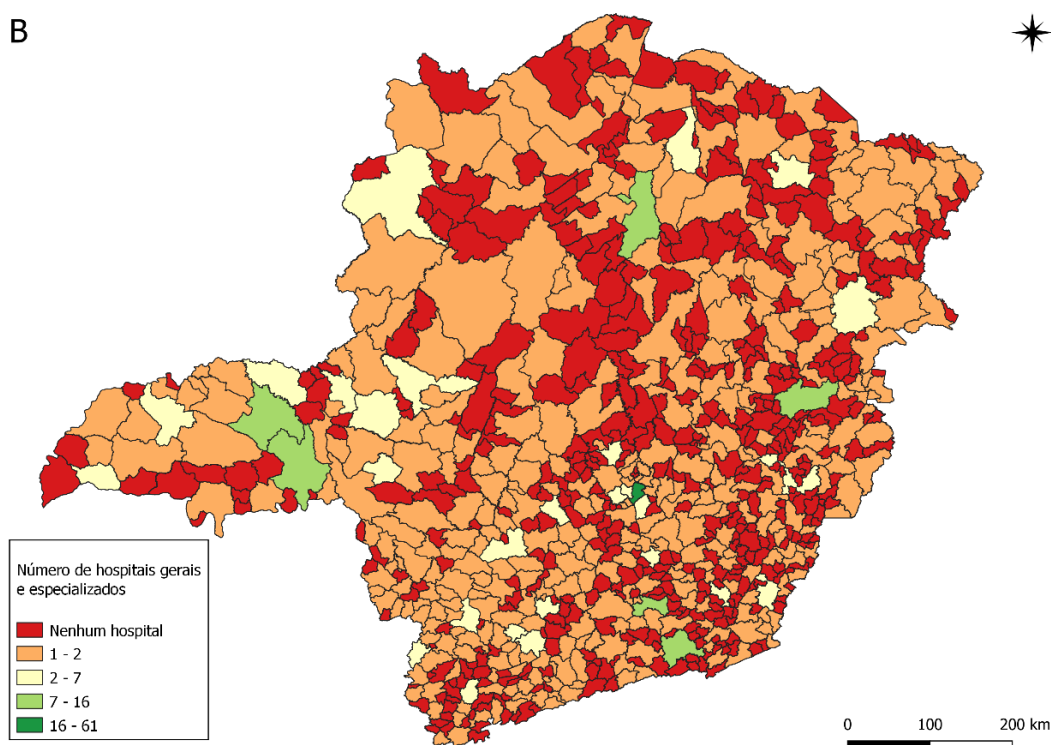


Figura 2 – a) Mapa de distribuição de unidades básicas de saúde (UBS) por município. **b)** Mapa de distribuição de Hospitais gerais e especializados por município. Fonte: CNES (2024).

Com referência às características demográficas da população, de acordo com o Ministério da Saúde (2019), o número de idosos aumentou progressivamente e, concomitantemente com este crescimento, verificou-se uma expansão quantitativa dos internamentos hospitalares, passando de 2.782.111 em 2015 para 3.022.772 em 2019. As hospitalizações ocorreram majoritariamente com o caráter de cuidados urgentes - mais de 11 milhões de internamentos (77,64%) -, seguidos de 3,1 milhões de internamentos eletivos (21,73%) e de cuidados representando menos de 1% das hospitalizações (MS, 2019).

5.2 Métodos

O delineamento da presente pesquisa foi dividido em quatro momentos. O primeiro correspondeu ao levantamento dos dados a serem utilizados: os dados de natureza epidemiológica, bem como de casos, óbitos, internamentos foram obtidos da Secretaria Estadual de Saúde, no sítio *Painel COVID* (<https://www.coronavirus.saude.mg.gov.br/dadosabertos>), da data de 4 de março de 2020 até 30 de março de 2023, data de última atualização dos dados.

Os dados de natureza socioeconômica e demográfica foram obtidos das seguintes fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fundação João Pinheiro (FJP) e Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Os dados de infraestrutura de saúde foram obtidos do CNES, por meio do sítio DATASUS; os dados acerca do repasse de recursos para a saúde nos municípios foram adquiridos do Portal da Transparência de Minas Gerais.

O segundo momento foi, à luz da epidemiologia, um estudo ecológico analítico. Os estudos ecológicos utilizam como unidade de análise o coletivo ao individual, preferencialmente definidos por uma região demográfica, possibilitando uma melhor compreensão dos dados secundários, uma vez que permite refletir sobre os processos em nível coletivo (MAGALHÃES, 2012). Nessa etapa, foram avaliados os municípios, para entender a distribuição e a correlação espacial das variáveis dependentes e explicativas.

No terceiro momento foram avaliadas as características inerentes aos pacientes, como faixa etária, presença de comorbidade, evolução do caso, tempo de internamento e sua relação com a imunização – que começou durante a segunda onda da doença.

O quarto momento consistiu em uma modelagem teórica da COVID-19 no estado, levando em consideração - a nível municipal - os dados de infraestrutura de saúde, demográficos e socioeconômicos; e, a nível individual, dados dos pacientes para entender a associação das variáveis de saúde com os desfechos de casos, internações e óbitos por COVID-19. Essa construção de uma ontologia foi necessária para entender a que nível se relacionam as variáveis que compõem o sistema que representou pandemia de COVID-19 no estado de Minas Gerais.

5.3 Modelagem de Dados

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados (ELMASRI & NAVATHE, 2004). O modelo busca sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado (CASANOVA *et al.*, 2005). Para isso, todavia, é necessária a simplificação das entidades, que, por serem complexas demais no mundo real, impossibilitariam seu desenho em um banco de dados por infinidade de associações.

A abstração funciona como uma ferramenta que nos ajuda a compreender o sistema ao dividi-lo em componentes separados (CASANOVA *et al.*, 2005). A minúcia de detalhamento

utilizada depende dos objetivos do estudo, tanto quanto a escala utilizada e a representação do sistema.

Esta pesquisa avançou até o estabelecimento do nível de representação conceitual, visto que níveis de apresentação e implementação do banco de dados espacial não eram os objetivos do projeto (Figura 3). O nível conceitual modela conceitos formais a partir da percepção do pesquisador, instituindo classes que serão criadas no banco de dados. Essas, por sua vez, associar-se-ão às representações espaciais.



Figura 3 – Fluxograma de abstração de aplicações geográficas.

5.3.1 Modelo de Dados OMT-G

Para diminuir a diferença semântica entre o observado e a representação no banco de dados, foi utilizado o modelo OMT-G, que se utiliza das definições para o diagrama de classes da *Unified Modeling Language* (UML) (DAVIS JUNIOR & LAENDER, 2000). Esse modelo tem como pontos mais fortes a expressividade gráfica, uma vez que suas notas são substituídas pelo desenho de relacionamentos, demonstrando a dinâmica da interação entre os objetos espaciais e não espaciais (CASANOVA *et al.*, 2005).

A linguagem UML utilizada se baseia em dois conceitos primordiais - classes e relacionamentos -, pois definem os blocos para a construção dos desenhos. A partir disso, é possível criar o diagrama de classes, para descrever a estrutura e o conteúdo de um banco de dados geográfico. O diagrama de classes contém somente as regras e as descrições que definem conceitualmente como os dados serão estruturados, incluindo a informação do tipo de representação que será adotada para cada classe (CASANOVA *et al.*, 2005).

5.4 Processamento dos Dados

Os dados coletados foram consolidados e, posteriormente, exportados para os respectivos *softwares*. Análises descritivas das variáveis independentes, assim como o número de casos, interações e óbitos (variáveis dependentes), foram conduzidas, tanto por meio de

tabelas, quanto por representação cartográfica, utilizando intervalos por quebra natural (Jenks) em três classes, a saber: baixo, médio e alto.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitiram o mapeamento das doenças e contribuíram na estruturação e análise de riscos socioambientais. Como forma de compreender e explicar melhor esses acontecimentos, buscou-se suporte na estatística, que, associada a estudos para a saúde, foi usada para modelar essa realidade. Esses modelos simplificam o evento para entender um sistema, seu funcionamento, buscar causas de fenômenos, avaliar intervenções e prever desfechos (ANDRADE, 2007). As regressões e as análises estatísticas que porventura necessitarem ser rodadas, de tipologia a depender da variável dependente, serão executadas no *software* SPSS, acrônimo de *Statistical Package for the Social Sciences*, versão 25.

Para avaliar as autocorrelações espaciais das variáveis de interesse foi calculado o Índice de Moran Global (IMG) que, variando entre -1 e +1, indica a presença de aleatoriedade ou aglomerações espaciais (ANSELIN *et al.*, 2006). Para todas as análises, foi adotado um nível de significância de 5%.

Com isso, a presença de aglomerados espaciais (*clusters*) será avaliada, com base nos indicadores de associação espacial, por meio da construção dos mapas de autocorrelação espacial local (*Local Spatial Autocorrelation - LISA maps*) relativos à análise das variáveis dependentes e a cada uma das variáveis independentes. O *software* GeoDa foi utilizado para os cálculos dos índices (ANSELIN *et al.*, 2006) e o *software* QGIS, na versão 3.22.2, para a elaboração dos mapas.

5.4.1 Análise Espacial

A análise espacial é o estudo quantitativo de fenômenos possíveis de serem localizados no espaço, ou seja, o fenômeno estudado tem uma referência espacial ou geográfica (SANTOS *et al.*, 2006).

A análise espacial tem se mostrado uma alternativa promissora na identificação de áreas prioritárias para as intervenções em saúde (RODRIGUES *et al.*, 2014). O mapeamento de doenças corresponde a um dos ramos da epidemiologia espacial, assim como a análise ecológica, estudo de origens e *cluster* de doenças. A análise de fenômenos de saúde no espaço serve, antes de tudo, para fazer ou apresentar uma síntese de indicadores epidemiológicos, ambientais e sociais. Fundamentado nisso, será possível indicar as prováveis áreas com concentração da

ocorrência ou predomínio desse evento, demonstrando a necessidade de intervenção ou de investigação mais aprofundada das causas desse fato (SANTOS *et al.*, 2005).

A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) foi usada para descrever distribuições espaciais, identificando padrões de associações espaciais (*clusters* espaciais), regimes espaciais e observações atípicas (*outliers*). Essa técnica se destaca por tratar os efeitos espaciais de dependência e heterogeneidade espaciais (ANSELIN, 1988; LE GALLO & ERTUR, 2003).

Primeiramente, a fim de identificar a aglomeração espacial da COVID nos municípios mineiros, será usada a estatística do I de Moran global. A partir da rejeição da hipótese nula de aleatoriedade espacial, seguiu-se com a identificação da estatística do I de Moran Local, a partir do pressuposto de existência de *clusters* espaciais nos municípios mineiros. A interpretação mais direta do I de Moran Local corresponde àquela em que valores significativamente altos e positivos evidenciam a presença de um “*cluster*”, sendo os valores significativamente baixos indicativos de um regime espacial de desigualdade na região, ou seja, zonas de transição entre um determinado regime espacial e outro. Já áreas com valores significativamente altos representarão regimes espaciais de concentração e disseminação da COVID-19.

5.5 Aspectos Éticos

Este estudo foi submetido ao Comitê de Ética da Universidade Federal de Minas Gerais, por meio da Plataforma Brasil, e aprovado sob parecer de número 4.729.132, CAAE: 46798121.2.0000.5149.

6 Artigo 1 - Ontologia de Pesquisa sobre a COVID-19 e a Infraestrutura de Saúde: Uma construção em UML

Danilo Cirino Muniz do Nascimento

Vagner Braga Nunes Coelho

RESUMO

Este estudo propõe uma ontologia baseada em *Unified Modeling Language* (UML) para modelar as interações entre a COVID-19 e a infraestrutura de saúde. A metodologia incluiu definição do domínio, modelagem conceitual, construção do diagrama UML e validação. Os resultados evidenciam relações entre infectados, vacinação e infraestrutura, permitindo estruturar dados epidemiológicos de forma sistemática. A ontologia facilita análises e pode ser integrada a sistemas de monitoramento, auxiliando na tomada de decisões em saúde pública e na resposta a futuras crises sanitárias.

Palavras-Chave: Ontologia; UML; COVID-19; Infraestrutura de Saúde; Modelagem Conceitual.

INTRODUÇÃO

A pandemia de COVID-19 emergiu como um dos desafios de saúde pública mais prementes e complexos dos tempos modernos. Desde sua identificação em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, China (SINGH & Yi, 2021), o vírus SARS-CoV-2 rapidamente se disseminou globalmente, desencadeando uma crise de saúde pública que afetou profundamente indivíduos, comunidades e sistemas de saúde em todo o mundo (ZHOU *et al.*, 2020; REYES *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a ontologia tem se mostrado uma ferramenta poderosa para organizar e representar conhecimento em diversas áreas, incluindo a pesquisa científica (MKHININI, LABBANI-NARSIS & NICOLLE, 2020; BERNABÉ *et al.*, 2023). No contexto da saúde, a aplicação de ontologias tem sido crucial para a compreensão e o tratamento de doenças complexas, como a COVID-19. A construção de ontologias específicas para a COVID-19 permite a integração de dados heterogêneos, provenientes de diferentes fontes, como estudos clínico e de infraestrutura de saúde, além da interação com elementos espaciais, socioeconômicos e ambientais. Essa integração facilita a análise de dados, a identificação de

padrões e a descoberta de novos conhecimentos sobre a doença, auxiliando na otimização de estratégias de saúde pública.

Aliada à essa metodologia, no dia-a-dia das unidades de saúde, como resposta primária no cuidado dos doentes, a infraestrutura de saúde desempenha um papel fundamental no combate a doenças emergentes e na mitigação de seus efeitos devastadores (LIMA *et al.*, 2018). A capacidade dos sistemas de saúde de se adaptarem, responderem rapidamente e fornecerem cuidados de qualidade desempenhou um papel crucial na contenção e no tratamento da COVID-19. Além disso, a eficácia das estruturas de saúde não se limita à prestação direta de cuidados, mas também se estende à capacidade de implementar estratégias preventivas, campanhas de vacinação em massa e programas de monitoramento epidemiológico (FACCHINI *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018).

No contexto brasileiro, a interseção entre a infraestrutura de saúde e a pandemia de COVID-19 apresenta nuances e desafios singulares. O Brasil, um país vasto e diversificado, confrontou-se com uma série de obstáculos na gestão da crise de saúde pública, refletindo a complexidade de um sistema de saúde fragmentado e desigual (GUERRA, 2013; MICLOS *et al.*, 2017). Questões relacionadas à distribuição desigual de recursos, acesso desigual aos serviços de saúde e desafios logísticos têm impactado diretamente a capacidade do país de conter a propagação do vírus e fornecer cuidados adequados à população afetada.

Neste contexto, o presente artigo propõe a construção de uma ontologia de pesquisa baseada na UML (*Unified Modeling Language*), com foco na modelagem conceitual das relações entre os elementos que compuseram a pandemia e sua infraestrutura de resposta. A modelagem facilitará o entendimento das interações entre esses elementos, permitindo uma melhor análise e tomada de decisão em futuras crises sanitárias.

MÉTODOS

Este estudo se estrutura da seguinte forma: Na sessão de métodos é explicada toda a conceituação teórica da infraestrutura de dados espaciais. Após essa definição, será apresentada a área de estudo e, para unir essas informações, será apresentada a modelagem conceitual da pesquisa. Após essa etapa inicial, estão apresentados os resultados e discussão, apresentando a ontologia da pesquisa que foi desenvolvida, com suas relações, além de classes e atributos.

Os elementos fundamentais de uma ontologia incluem classes (arranjadas em uma hierarquia), atributos (que são as características atribuídas a cada classe), relações (representam

os tipos de relações entre os conceitos e classes), proposições (utilizadas para modelar declarações sempre verdadeiras) e instâncias (usados para representar itens específicos, ou seja, os próprios dados) (GRUBER, 1996). Neste estudo, optou-se por empregar uma ontologia associada à estrutura e conteúdo da conceitualização (VAN-HEIJST, SCHREIBER & WIELINGA, 1997) baseado na Linguagem de Modelagem Unificada (*Unified Modeling Language – UML*).

A UML surgiu da fusão de três métodos de modelagem orientada a objetos: o Método Booch (BOOCH, 1994), a Técnica de Modelagem de Objetos (OMT) (RUMBAUGH *et al.*, 1991) e o *Objectory Method* (JACOBSON, 2004). O *Object Management Group* (OMG) estabeleceu a UML como um padrão pela primeira vez em 1997 e continua a gerenciá-lo até hoje. Essa linguagem oferece vários tipos de diagramas para representar um sistema a partir de diferentes perspectivas.

Para o presente estudo, a UML foi escolhida por sua capacidade de representar sistemas complexos de forma padronizada e por sua flexibilidade na modelagem conceitual. Diferentemente de outras abordagens, como a *Web Ontology Language* (OWL) ou *Resource Description Framework* (RDF), que são voltadas para a formalização semântica e inferência automatizada, a UML facilita a representação estrutural dos conceitos e suas inter-relações em um ambiente visual intuitivo. Estudos prévios indicam que a UML tem sido utilizada com sucesso na modelagem de sistemas de informação na área da saúde (KIKO & ATKINSON, 2005; PĂTRAȘCU, 2015), o que reforça sua adequação para o presente estudo.

Essa estrutura será a base para organizar os dados utilizados na pesquisa sobre a infraestrutura de saúde. Para isso, é crucial conceituar o que representa uma infraestrutura de dados espaciais.

As Infraestruturas de Dados Espaciais (IDEs) são sistemas criados para reunir, compartilhar e disseminar informações geográficas de maneira coordenada, com suporte tecnológico. Esses sistemas são projetados para facilitar a formulação de políticas e a tomada de decisões, visando atender às necessidades sociais em níveis locais, nacionais e globais (PASHOVA & BANDROVA, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa apresentam uma ontologia concebida para representar o domínio da COVID-19, utilizando a Linguagem de Modelagem Unificada (UML). A seguir,

são descritos os principais aspectos e estruturas que compõem essa ontologia, fornecendo *insights* sobre a estruturação dos dados e a representação dos conhecimentos relativos à COVID-19. (Figura 1)

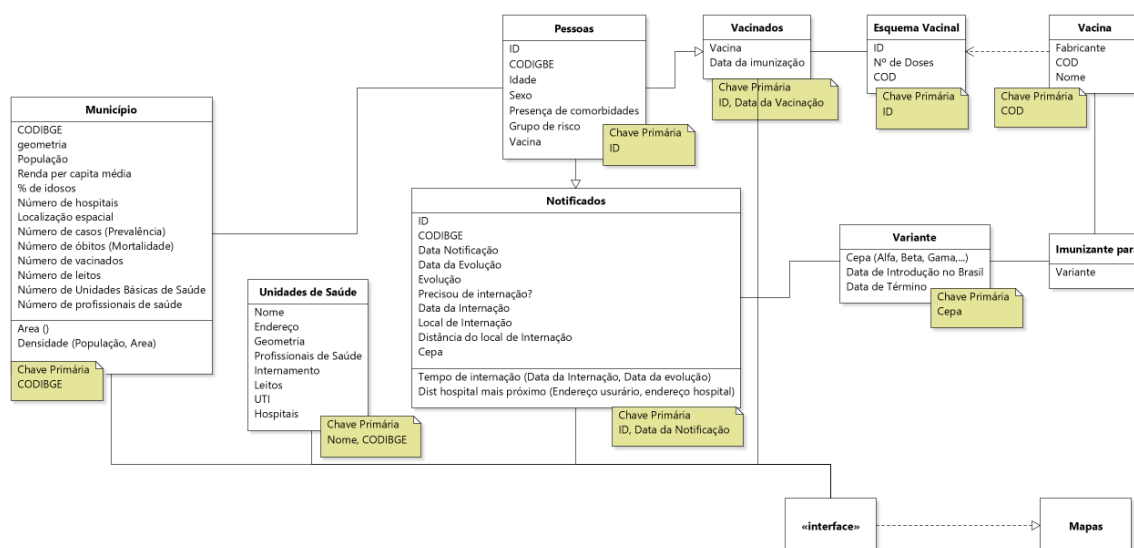


Fig. 1 - Diagrama de Classes, contendo as classes, atributos e chaves-primárias.

A classe “Pessoas” representou o núcleo central da ontologia, pois a pandemia só ocorre devido à infecção e disseminação do vírus entre indivíduos. Essa classe foi conectada a três categorias essenciais: “Notificados”, “Vacinados” e “Município”, refletindo a dinâmica do contágio e das respostas de saúde pública.

A relação com a classe “Notificados” se deu por meio de uma relação 1 para n, em que um indivíduo poderia ser notificado várias vezes, mas cada notificação diz respeito somente a um indivíduo. A razão da classe Notificados ter sido separada é que nem todo indivíduo foi necessariamente infectado, ou, mesmo infectado, nem todo indivíduo foi necessariamente notificado. Os notificados foram somente aqueles indivíduos que, ao apresentar sintomatologia da doença, buscaram ajuda nas unidades públicas de saúde ou fizeram testes nas redes de apoio, como as farmácias. Todos os outros indivíduos que apresentaram sintomas, mas não buscaram atendimento, os infectados assintomáticos e os não infectados são pessoas que não foram notificadas.

Já os indivíduos “Vacinados” foram aqueles que buscaram a imunização obrigatória. Essa classe se fez necessária pois nem todo indivíduo que recebeu a vacina foi notificado, e ainda, muitos notificados se recusaram a receber a vacina, mesmo com a obrigatoriedade do ciclo de imunização.

A relação de “Pessoas” e “Vacinação” se deu por meio de uma herança, onde cada indivíduo foi ou não vacinado, e aqueles que receberam imunização foram adicionados à classe. O mesmo aconteceu com os “Notificados”.

A partir da herança de pessoas que compõe a classe de vacinados, relacionou-se a classe “Esquema Vacinal”. Isso acontece porque cada indivíduo é submetido a um esquema vacinal diferente, baseado na vacina que recebeu. Caso os indivíduos recebessem uma dose das vacinas CoronaVac, vacina do Butantan produzida em parceria com a biofarmacêutica chinesa Sinovac, e os imunizantes das empresas AstraZeneca ou Pfizer, necessitariam de duas doses para que o esquema vacinal estivesse completo. Já se o indivíduo recebesse uma dose da vacina da JANSSEN (JOHNSON & JOHNSON), com o imunizante Ad26.COVID.2.S, seria necessário somente uma dose, estando completo o ciclo inicial de imunização. Por esse motivo, a classe “Esquema Vacinal” se relacionou de forma dependente da classe “Vacina”, pois esta definia aquela.

A classe “Vacina” se ligou então à classe intermediária “imunizante para”, pois, cada vacina aplicada tem como alvo um conjunto de variantes do vírus, de forma que uma vacina não oferece imunização direta para cepas que estejam fora desse grupo. Como foi o caso das vacinas citadas, que não possuíam proteção para a variante Ômicron no ano de 2022, que só foi conseguida com a vacinação bivalente no começo de 2023. Todavia, como havia uma gama de vacinas e uma gama de variantes que são pertencentes aos grupos de proteção, para evitar uma situação de N para N, foi criada uma classe intermediária, onde a classe “Vacina” e a classe “Variante” era ligada de forma 1 para N com a classe “Imunizante para”.

A classe “Variante” é a que têm como atributo cada variante identificada do coronavírus, pois é a partir do contato com essas cepas que o indivíduo desenvolve a doença e passa a infectar outras pessoas saudáveis. Essa classe, portanto, está ligada a classe “Notificados”, pois para ser notificado, o indivíduo precisa ser contaminado com uma das variantes do vírus, assim encerrando o ciclo de adoecimento.

Além das classes já citadas, a classe principal “Pessoas” se liga à classe “Município”, pois cada indivíduo está ligado a um território, e nesse território, aconteceu a infecção. Além disso, é nesse território que se dá a pandemia, onde a infecção se espalha, onde os pacientes precisam se deslocar para buscar atendimento, aonde são enviadas as vacinas e onde se localizam os equipamentos que fazem parte da infraestrutura de saúde.

Levando isso em consideração, cada unidade do território será o município, pois foi por essa convenção que o número de vacinas foi dividido, e cada município teve liberdade para

decidir qual ficha de notificação seria usada, além de estabelecer seus protocolos de combate à pandemia, como *lockdowns*, hospitais de campanha, aumento no número de leitos, contratação de pessoal, entre outros.

E, por fim, a união das classes “Notificados”, “Vacinação”, “Município” e “Unidades de Saúde” se dará por meio de uma interface a fim de gerar mapas que facilitem a investigação, o entendimento e a tomada de decisões acerca de uma relação tão complexa de classes (Figura 1).

A partir dessa diagramação, é possível identificar os atributos essenciais para a análise da pandemia da COVID-19, bem como compreender as interconexões entre os elementos estruturais da crise sanitária. Os atributos mais relevantes incluem o número de indivíduos notificados, a cobertura vacinal, as variantes do vírus e a distribuição espacial dos casos, representada pelos municípios e suas infraestruturas de saúde.

A modelagem UML permite visualizar essas relações de forma estruturada, demonstrando, por exemplo, como os indivíduos infectados interagem com o sistema de saúde, como a vacinação impacta na disseminação da doença e como diferentes variantes do vírus podem influenciar os casos notificados ao longo do tempo.

Além disso, o diagrama facilita a análise de padrões epidemiológicos, permitindo que pesquisadores e gestores da saúde compreendam quais fatores podem ter influenciado a propagação da doença e quais estratégias foram mais eficazes na contenção da pandemia. Por meio dessa estruturação, é possível identificar lacunas nos dados e aprimorar os sistemas de monitoramento epidemiológico, tornando as respostas a crises futuras mais eficientes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferentes abordagens foram utilizadas para modelar a pandemia da COVID-19, incluindo modelagens estatísticas preditivas (ZHOU *et al.*, 2020) e simulações baseadas em agentes (REYES *et al.*, 2022). No entanto, poucos estudos empregaram uma ontologia baseada em UML para estruturar os dados da pandemia. A abordagem proposta neste estudo se diferencia por integrar elementos da infraestrutura de saúde com dados epidemiológicos, proporcionando uma visão estruturada das interações entre a população, o sistema de saúde e a disseminação do vírus.

Os diagramas UML foram empregados como uma ferramenta crucial para visualizar e documentar a estrutura da ontologia desenvolvida, sendo o diagrama de classes o principal

responsável por representar as diferentes classes, suas propriedades e inter-relações. Essa modelagem não apenas facilita a interpretação dos dados, mas também fornece um referencial para o desenvolvimento de ferramentas computacionais voltadas ao monitoramento e análise de crises sanitárias.

A construção da ontologia baseada em UML mostrou-se uma abordagem eficaz para representar as interações entre a pandemia da COVID-19 e a infraestrutura de saúde. Ao estruturar os dados em um modelo conceitual, foi possível visualizar de maneira sistemática os principais fatores envolvidos na crise sanitária, fornecendo uma base para futuras análises epidemiológicas e auxiliando no planejamento estratégico para emergências de saúde pública.

Como próximos passos, recomenda-se a validação da ontologia em bancos de dados reais, verificando sua aplicabilidade prática em sistemas de vigilância epidemiológica e registros hospitalares. Além disso, sua integração a plataformas de monitoramento epidemiológico pode contribuir para a identificação de padrões e aprimoramento de políticas de saúde pública.

Estudos futuros também podem explorar a conversão dessa ontologia para linguagens formais, como OWL, permitindo inferências automatizadas e aumentando a interoperabilidade com sistemas de informação em saúde. Ademais, essa estrutura pode ser expandida para modelar outras crises sanitárias, como surtos de doenças infecciosas emergentes, fortalecendo a capacidade de resposta dos sistemas de saúde a futuras pandemias.

Apesar dos benefícios identificados, desafios como a atualização contínua dos dados, a integração com diferentes fontes de informação e a adoção por órgãos gestores precisam ser considerados. O desenvolvimento de metodologias para garantir a flexibilidade e escalabilidade da ontologia será essencial para maximizar sua aplicabilidade no longo prazo.

REFERÊNCIAS

BERNABÉ, C. H. et al. The use of foundational ontologies in biomedical research. *Journal of Biomedical Semantics*, v. 14, n. 21, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13326-023-00300-z>. Acesso em: 8 jun. 2025.

BOOCH, G. *Object-oriented Analysis and Design with Applications*. 2. ed. Redwood City, CA: Benjamin-Cummings Publishing Co., 1994.

FACCHINI, L. A. et al. Qualidade da Atenção Primária à Saúde no Brasil: avanços, desafios e perspectivas. *Saúde em Debate*, v. 42, n. spe1, p. 208-223, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042018S114>.

GRUBER, T. What is an ontology?, 1996. Disponível em: <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GUERRA, M. Modelo de alocação de recursos do sistema único de saúde para organizações hospitalares: serviços de alta complexidade. 2013. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

JACOBSON, I. *Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach*. Redwood City, CA: Addison Wesley Longman Publishing Co., 2004.

KIKO, K.; ATKINSON, C. A Detailed Comparison of UML and OWL: Technical Report TR-2008-004. Mannheim: Department for Mathematics and Computer Science, University of Mannheim, 2005.

LIMA, J. G. et al. Atributos essenciais da atenção primária à saúde: resultados nacionais do PMAQ-AB. *Saúde em Debate*, v. 42, p. 52–66, 2018.

MICLOS, P. M. et al. Avaliação do desempenho das ações e resultados em saúde da atenção básica. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, p. 86, 2017.

MKHININI, M. M.; LABBANI-NARSIS, O.; NICOLLE, C. Combining UML and ontology: An exploratory survey. *Computer Science Review*, v. 35, 2020. Art. 100223. ISSN 1574-0137. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2019.100223>. Acesso em: 8 jun. 2025.

PASHOVA, L.; BANDROVA, T. A brief overview of current status of European spatial data infrastructures – relevant developments and perspectives for Bulgaria. *Geo-Spatial Information Science*, v. 20, p. 97–108, 2017. <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1323524>.

PĂTRAȘCU, A. Comparative analysis between OWL modelling and UML modelling. *Economic Insights – Trends and Challenges*, v. 4, n. 2, p. 87–94, 2015.

REYES, L. F. et al. Clinical characteristics, risk factors and outcomes in patients with severe COVID-19 registered in the International Severe Acute Respiratory and Emerging Infection Consortium WHO clinical characterisation protocol: a prospective, multinational, multicentre, observational study. *ERJ Open Research*, v. 8, e00552, 2022. DOI: 10.1183/23120541.00552-2021.

RUMBAUGH, J. et al. *Object-oriented Modeling and Design*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1991.

SINGH, D.; YI, S. V. On the origin and evolution of SARS-CoV-2. *Experimental & Molecular Medicine*, v. 53, p. 537–547, 2021. <https://doi.org/10.1038/s12276-021-00604-z>.

VAN-HEIJIST, G.; SCHREIBER, A. T.; WIELINGA, B. J. Using explicit ontologies in KBS development. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 46, n. 2-3, p. 183-192, fev./mar. 1997.

ZHOU, F. et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet*, v. 395, n. 10229, p. 1054-1062, 2020.

7 Artigo 2 - A relação entre COVID-19 e Infraestrutura de Saúde no segundo estado mais populoso do Brasil

(Artigo submetido na revista ACTA GEOGRÁFICA)

The relationship between COVID-19 and Health Infrastructure in the second most populous state in Brazil

La relación entre COVID-19 e Infraestructura de Salud en el segundo estado más poblado de Brasil

RESUMO

O surto de Síndrome Respiratória Aguda Grave causado pelo Coronavírus (SARS-CoV-2) em dezembro de 2019 resultou na pandemia global conhecida como COVID-19, causando mortalidade significativa em todo o mundo. Este estudo examina a propagação da COVID-19 em Minas Gerais e o impacto da infraestrutura de saúde na mortalidade, abrangendo toda a duração da pandemia, que começou em março de 2020 e terminou oficialmente em maio de 2023. Ademais, foi analisada a correlação entre a propagação da COVID-19, infraestrutura de saúde e mortalidade, utilizando dados da Secretaria Estadual de Saúde, IBGE e CNES. Utilizando regressão linear multivariada (r^2 ajustado = 0,098) e álgebra de mapas, o estudo identificou padrões espaciais de óbitos e os resultados indicam três grandes picos de incidência, com concentrações significativas de casos em regiões metropolitanas como Belo Horizonte e Uberlândia. A alta prevalência de casos correlacionou-se com a alta densidade populacional e proximidade de São Paulo, influenciando nas taxas de mortalidade. Municípios com menos recursos de saúde e menos leitos de UTI apresentam maior prevalência de casos, agravadas pelas transferências de pacientes e atrasos no tratamento. A análise estatística revela que o tamanho da população e a disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes afetam significativamente as taxas de mortalidade. As conclusões destacam a necessidade de uma distribuição equitativa dos recursos de saúde, especialmente nas regiões mal servidas, para mitigar a mortalidade durante as crises sanitárias.

Palavras-chave: ODS 3. Epidemiologia. Saúde ambiental. Álgebra de mapas. Infraestrutura de cuidados de saúde.

ABSTRACT

The outbreak of Severe Acute Respiratory Syndrome caused by Coronavirus (SARS-CoV-2) in December 2019 resulted in the global pandemic known as COVID-19, causing significant mortality worldwide. This study examines the spread of COVID-19 in Minas Gerais and the impact of health infrastructure on mortality, covering the entire duration of the pandemic, which began in March 2020 and officially ended in May 2023. Furthermore, the correlation between the spread of COVID-19, health infrastructure and mortality, using data from the State Department of Health, IBGE and CNES. Using multivariate linear regression (adjusted $r^2 = 0.908$) and map algebra, the study identified spatial patterns of deaths and the results indicate three major peaks in incidence, with significant concentrations of cases in metropolitan regions such as Belo Horizonte and Uberlândia. The high prevalence of cases correlated with the high population density and proximity to São Paulo, influencing mortality rates. Municipalities with fewer health resources and fewer ICU beds have a higher prevalence of cases, aggravated by patient transfers and delays in treatment. Statistical analysis reveals that population size and bed availability per 1,000 inhabitants significantly affect mortality rates. The findings highlight the need for an equitable distribution of health resources, especially in underserved regions, to mitigate mortality during health crises.

Keywords: SDG 3. Epidemiology. Environmental Health. Map Algebra. Healthcare Infrastructure.

RESUMEN

El brote del Síndrome Respiratorio Agudo Severo causado por el Coronavirus (SARS-CoV-2) en diciembre de 2019 dio lugar a la pandemia mundial conocida como COVID-19, provocando una importante mortalidad a nivel mundial. Este estudio examina la propagación de COVID-19 en Minas Gerais y el impacto de la infraestructura sanitaria en la mortalidad, abarcando toda la duración de la pandemia, que comenzó en marzo de 2020 y finalizó oficialmente en mayo de 2023. Además, la correlación entre la propagación de COVID-19 en Minas Gerais y el impacto de la infraestructura sanitaria en la mortalidad -19, infraestructura de salud y mortalidad, utilizando datos de la Secretaría de Salud del Estado, IBGE y CNES. Utilizando regresión lineal multivariada (r^2 ajustado = 0,908) y álgebra cartográfica, el estudio identificó patrones espaciales de muertes y los resultados indican tres picos principales de incidencia, con

concentraciones significativas de casos en regiones metropolitanas como Belo Horizonte y Uberlândia. La alta prevalencia de casos se correlacionó con la alta densidad de población y la proximidad a São Paulo, influyendo en las tasas de mortalidad. Los municipios con menos recursos sanitarios y menos camas UCI tienen una mayor prevalencia de casos, agravada por los traslados de pacientes y los retrasos en los tratamientos. El análisis estadístico revela que el tamaño de la población y la disponibilidad de camas por cada 1.000 habitantes afectan significativamente las tasas de mortalidad. Los hallazgos resaltan la necesidad de una distribución equitativa de los recursos sanitarios, especialmente en regiones desatendidas, para mitigar la mortalidad durante las crisis sanitarias.

Palabras clave: ODS 3. Epidemiología. Salud Ambiental. Álgebra de mapas. Infraestructura sanitaria.

1 INTRODUÇÃO

Relatos de uma Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) apareceram pela primeira vez em dezembro de 2019 (SINGH & YI, 2021) na região de Wuhan, China. O vírus responsável por esta SARS foi identificado como pertencente à família Coronavirus. Como já existia um vírus desta família capaz de desenvolver a mesma condição grave, foi denominado “Coronavirus 2” (CoV-2) e rapidamente identificado, com sua sequência genética sendo publicada em janeiro de 2020 (LU *et al.*, 2020). A doença, que recebeu status de pandemia pela Organização Mundial da Saúde, ficou conhecida como Doença do Coronavírus 2019 (do inglês, *Coronavirus Disease 2019 - COVID-19*). Estima-se que pelo menos 771 milhões de pessoas tenham sido infectadas pelo SARS-CoV-2, com 6,9 milhões de mortes em todo o mundo até outubro de 2023 (OMS, 2023).

No Brasil, a pandemia começou com a primeira notificação no final de fevereiro de 2020 (OMS, 2020), embora haja a possibilidade de que o vírus já estivesse circulando em nossa população antes dessa data (FONGARO *et al.*, 2021). No estado de Minas Gerais, o primeiro caso relatado ocorreu em 04 de março de 2020 (CAMPOS JÚNIOR, 2021; ALBUQUERQUE, 2022).

Embora vários estudos analisem as fragilidades do serviço público de saúde brasileiro – denominado Sistema Único de Saúde (SUS) (BEZERRA *et al.*, 2020) -, nenhum se propôs a entender o impacto real que a infraestrutura de saúde teve na pandemia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estado de Minas Gerais é o segundo mais populoso do Brasil, com 20,5 milhões de habitantes (IBGE, 2023), divididos em 853 municípios, representando cerca de 20% dos municípios brasileiros e abrangendo uma área de 586.514 km². Em extensão territorial, é um estado comparável ao tamanho da Alemanha, e em população, corresponde a mais do que o dobro da população de Portugal (OCDE, 2023). A divisão populacional no estado é a seguinte: A capital, Belo Horizonte, possui cerca de 2,3 milhões de habitantes (11,2% do total do estado), enquanto os outros 852 municípios dividem o restante. A grande maioria dos municípios é rural, com mineração e serviços como principais atividades econômicas.

A infraestrutura de saúde do estado segue a divisão do Sistema Único de Saúde (SUS), com concentração de unidades de saúde em cidades polos regionais, geralmente as cidades mais desenvolvidas do interior. Para facilitar a gestão, o estado é dividido em 28 Unidades Regionais de Saúde (URS), cada uma com um município polo, que possui a maioria das unidades de saúde e leitos de internação.

No estado de Minas Gerais, a pandemia de COVID-19 começou em 4 de abril de 2020 (CAMPOS JÚNIOR, 2021; ALBUQUERQUE, 2022) e terminou oficialmente em 5 de maio de 2023. Embora ainda sejam registrados casos da doença, o estado de emergência de saúde pública declarado pelo Ministério da Saúde terminou em 22 de abril de 2022, aproximadamente um ano antes da data escolhida pela OMS para o fim formal da pandemia. Desde o início do surto até o fim oficial da pandemia, Minas Gerais registrou 4.242.001 casos confirmados e 66.167 óbitos relacionados à doença (MINAS GERAIS, 2024). Esta pesquisa abrange toda a extensão da pandemia no estado de Minas Gerais, que começa em 4 de abril de 2020 e termina em 5 de maio de 2023.

Os dados sobre casos confirmados e óbitos por COVID-19 foram obtidos do Painel COVID da Secretaria de Estado de Saúde. Além disso, os dados populacionais foram coletados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para complementar os dados, foram coletados recursos físicos, como o número de unidades básicas de saúde, Postos de Atendimento, unidades de Pronto Atendimento e hospitais presentes no estado. O número de leitos no sistema público de saúde e na rede privada de saúde também foi coletado por meio do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES).

A categoria de análise foi o município, devido à disponibilidade de dados. Para verificar a premissa de normalidade das regressões lineares, a variável dependente foi testada usando o

teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951; Lilliefors, 1967) (valor $p=0,297$). Para verificar a correlação entre as variáveis explicativas, foi utilizada a correlação de Pearson, com os seguintes valores encontrados: casos/hospitalizações (0,969); óbitos/hospitalizações (0,987); número de unidades de saúde/hospitalizações (0,974); número de leitos/hospitalizações (0,949); número de unidades de saúde/número de leitos (0,973). Como essas variáveis estavam fortemente relacionadas à distribuição de óbitos, elas são analisadas usando o modelo de Regressão Linear Multivariada usando o método Enter com “Número de óbitos” como variável dependente.

Após a análise de multicolinearidade, as variáveis com um Fator de Inflação da Variância (VIF) acima de quatro foram removidas. As variáveis restantes que não demonstraram significância (KRUEGER & HECK, 2019) - com um nível de significância de 95% - também foram removidas. As variáveis restantes foram então submetidas a uma nova Regressão Linear Multivariada. Após verificar a ausência de multicolinearidade e variáveis não significativas, o R-quadrado ajustado e a estimativa de Durbin-Watson (DURBIN & WATSON, 1950) foram observados para verificar a existência de correlação entre as variáveis.

Após identificar a função que governou a distribuição de óbitos por COVID-19 no estado de Minas Gerais durante a pandemia, essa mesma função foi aplicada para entender a espacialidade dos óbitos e a suscetibilidade de cada município. Para facilitar a visualização espacial dos municípios cujos habitantes eram mais suscetíveis a óbitos, foi realizada uma Álgebra de Mapas.

A Álgebra de Mapas consiste em aplicar uma função matemática em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e, com base nas relações encontradas, demonstrar os resultados por meio de símbolos coloridos de um mapa (SCHNEIDER & MCKENNEY, 2008). Neste caso, a função utilizada foi a encontrada na Regressão Linear Multivariada. O resultado final foi um mapa que mostra quais municípios foram mais afetados por óbitos e a relação entre óbitos e infraestrutura de saúde de acordo com a relação matemática.

Para reduzir o viés devido ao valor absoluto da população, o número de casos foi registrado como "Prevalência por 100.000 habitantes", facilitando a comparação da gravidade dos casos no estado. O mesmo foi feito para óbitos e hospitalizações.

Além disso, para auxiliar na comparação e visualização, foi padronizado durante a preparação dos mapas que a legenda apresentaria três classes definidas pelos intervalos naturais de Jenks (JENKS, 1967): Baixo, Médio e Alto. Este método de agrupamento de dados determina a melhor distribuição de valores em diferentes classes, minimizando as diferenças

médias dentro de cada classe e maximizando as diferenças entre as classes. Em outras palavras, o método busca reduzir a variância dentro das classes e maximizar a variância entre elas (JENKS, 1967).

Este método foi usado para nos ajudar a entender quais municípios tiveram um número significativamente pequeno/normal/grande de casos, não determinado pela população absoluta devido à padronização aplicada, mas sim à interação dos fatores encontrados por meio da função matemática.

A força do estudo reside em sua capacidade de analisar, por meio de análise estatística robusta, o impacto real que a infraestrutura de saúde do estado e sua distribuição tiveram sobre o comportamento dos óbitos durante a primeira onda de COVID-19. Até então, dentro do escopo de pesquisa da equipe, nenhum estudo havia preenchido essa lacuna em território brasileiro. Além disso, essa metodologia pode ser replicada para cada estado brasileiro e até mesmo para o território nacional, caso os dados estejam disponíveis.

As limitações da pesquisa incluem a falta de dados nos municípios menores devido à subnotificação de casos, o que pode viciar os resultados encontrados. Embora a notificação de casos de COVID-19 seja obrigatória, pacientes assintomáticos ou aqueles que não procuraram serviços de saúde não foram notificados e, portanto, não constam nas estatísticas oficiais.

Este estudo foi aprovado pelo parecer CAAE: 46798121.2.0000.5149 na comissão de ética da Plataforma Brasil.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar a distribuição de casos durante a pandemia, é possível notar três picos principais de incidência. O primeiro ocorreu durante a primeira onda, a partir de 17 de junho de 2020, quando mais de mil casos diários começaram a ser registrados, atingindo um pico em agosto do mesmo ano. O segundo pico, conhecido como segunda onda, ocorreu em 2021. O terceiro e último grande aumento de casos ocorreu na terceira onda, resultante da introdução da variante Ômicron, no ano de 2022.

Como observado no estudo de Cortez *et al.* (2023), houve aglomerados Alto-Alto nas regiões metropolitanas de Belo Horizonte e Uberlândia, embora o índice geral confirme a aleatoriedade da distribuição de casos de COVID-19 no estado. Esses aglomerados podem ser explicados pelo número absoluto de habitantes nas regiões metropolitanas, em contraste com regiões de baixa densidade populacional em municípios do interior do estado.

Uma maior concentração de casos pode ser observada nos municípios de Belo Horizonte e Uberlândia, seguidos por Montes Claros, Contagem e Ipatinga. É importante ressaltar que esses municípios são os mais populosos do estado e atuam como polos regionais de saúde.

Durante o período analisado, 11,81% (501.127) dos casos confirmados necessitaram de hospitalização, com 178.587 (4,21% dos casos registrados) pacientes necessitando ser internados na Unidade de Terapia Intensiva (UTI). O tempo médio de permanência em leitos ambulatoriais foi de 8 dias, enquanto para os internados na UTI foi de 14 dias.

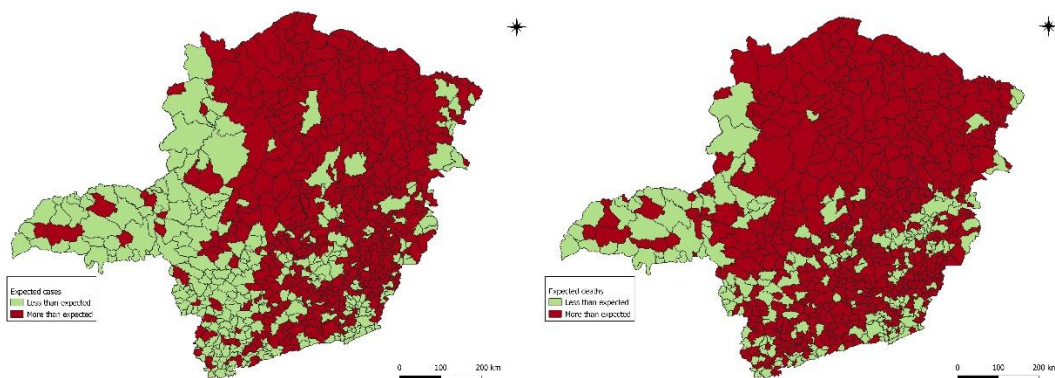
Ao avaliar a distribuição de casos, as respostas variam dependendo da observação da variável. Ao usar números absolutos, é possível perceber a relação intrínseca entre casos e população: quanto maior a população do município, maior o número de casos observados (n beta = 0,004; sig<0,01). Assim, é possível notar que os municípios que circundam a região metropolitana da capital do estado, além de outros municípios mais populosos, são aqueles com o maior número absoluto de casos (Tabela 1).

Ao normalizar a distribuição de casos por 100.000 habitantes, é possível notar uma diferença nos resultados finais da análise. Ao avaliar a proporção de casos, observa-se uma maior concentração no sudoeste do estado, em municípios próximos à divisa com o estado de São Paulo. Como será demonstrado posteriormente na análise de regressão linear, há uma relação significativa entre óbitos e número de casos. Acreditamos que essa relação seja real devido ao fato de São Paulo ter registrado o maior número de casos de COVID-19 durante a pandemia. Além disso, os moradores da região sudoeste de Minas Gerais tendem a ter mais relações comerciais e culturais com municípios de São Paulo do que com outros municípios de Minas Gerais.

Um comportamento semelhante foi observado ao analisar as internações e óbitos por 100.000 habitantes, devido ao alto número de casos.

No nordeste do estado, foi possível observar um nível muito baixo de casos, internações e óbitos. Esse fato pode ser explicado devido a essa região ser a menos populosa do estado e os municípios cujas áreas urbanas estão localizadas mais distantes uns dos outros. No entanto, é importante ressaltar que, embora poucos casos tenham sido registrados na região nordeste do estado, os valores ainda são superiores ao número esperado para a região, indicando que alguma variável influenciou o aumento de casos e óbitos nessa região (Figura 1).

Figure 1 – Valores esperados para número de casos e óbitos por município.



Fonte: Os autores.

O número de casos e óbitos esperados de COVID-19 foram calculados (CASELLA & BERGER, 2001; ROSS, 2019) para todos os municípios. Esses valores foram então comparados com os valores obtidos a partir das notificações do Ministério da Saúde e da Secretaria de Estado da Saúde. É possível identificar (Figura 1) que os municípios em verde foram aqueles em que um número menor de casos foi relatado do que o esperado. Aqueles destacados em vermelho foram os municípios que tiveram um número maior de casos (à esquerda) ou óbitos (à direita) do que o número esperado.

Como encontrado por Hamidi, Sabouri e Ewing (2020) e Ha & Lee (2022), um número maior de casos está diretamente relacionado a uma maior incidência da doença. É importante ressaltar que, em média, 10,58% dos pacientes foram hospitalizados como resultado da COVID-19 no estado. Removendo os outliers da amostra, a taxa média de hospitalização cai para 10,57%. Assim, pode-se ver que a maioria do estado (65,66%) está abaixo da média de hospitalização.

Ao avaliar os óbitos espacialmente, foi encontrada uma média de 78 óbitos por município. Os municípios com o maior número de óbitos foram Belo Horizonte (8.570), Uberlândia (3.587), Juiz de Fora (2.449) e Contagem (2.245). É claro que os municípios com o maior número de casos e internações também tiveram o maior número de óbitos. Vale lembrar que esses municípios são os mais populosos do estado.

Para fins de informação, Belo Horizonte é a capital do estado e Contagem é uma cidade em sua região metropolitana. Uberlândia é o centro regional mais próximo de São Paulo e Juiz de Fora é o município polo regional mais próximo do estado do Rio de Janeiro.

Ao avaliar a distribuição absoluta de unidades de saúde, sejam elas de menor ou maior complexidade, públicas ou privadas, é possível observar que a maior concentração dessas

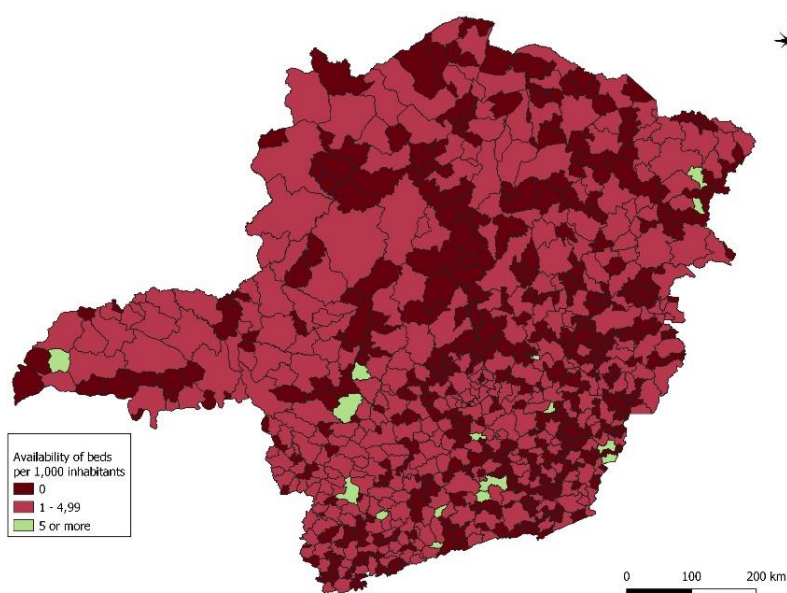
unidades está nos municípios polos, que concentram a maior população. No entanto, ao avaliar essa distribuição padronizada por habitante, o panorama muda drasticamente. É possível notar que a distribuição de equipamentos é desigual, com 55,33% dos municípios possuindo até dois equipamentos, geralmente unidades básicas de saúde de baixa complexidade. Um dos dados mais preocupantes encontrados é que muitos municípios possuem uma quantidade insuficiente de equipamentos de saúde, mesmo quando padronizados pelo número de habitantes. Isso indica que há um grande número de pessoas sem assistência que têm acesso a uma rede de saúde frágil, precisando viajar para outros municípios em busca de tratamento.

É importante notar que a maioria dos municípios de Minas Gerais possui apenas uma ou duas unidades de saúde, que são, em sua maioria, centros de saúde ou unidades básicas de saúde, com leitos que não podem atender pacientes com doenças mais complexas. É necessário transferir esses pacientes para outros municípios.

Ao avaliar apenas a disponibilidade de leitos, um total de 472 municípios (55,33% do estado) não possuem leitos para internação, seja em nível de enfermaria ou hospitalar. Isso favorece a superlotação e a sobrecarga de pacientes nos municípios que possuem os referidos leitos.

A OMS recomenda que haja pelo menos cinco leitos disponíveis para cada 1.000 habitantes (OECD, 2021). No entanto, é claro que a maioria dos municípios do estado está longe de atingir esse valor (Figura 2).

Figure 2 – Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes.



Fonte: Os autores.

Entre todos os municípios do estado, apenas 16 possuem mais de 5 leitos disponíveis por mil habitantes, o que corresponde a 1,8% do total de municípios. Os municípios com maior disponibilidade de leitos são Passabém (10,3) e Barbacena (8,1). A capital, Belo Horizonte, apresenta uma disponibilidade de 3,5 leitos por mil habitantes. No entanto, é importante destacar que 472 municípios (55,3%) não dispõem de leitos de internação para seus habitantes, o que obriga o encaminhamento de pacientes para municípios vizinhos com estrutura hospitalar, sobrecarregando os centros regionais de saúde.

Ao se avaliar a população dos municípios que atendem aos critérios estabelecidos pela OCDE, observa-se que apenas 336.607 habitantes residem em municípios capazes de oferecer quantidade suficiente de leitos para internação. Esse número representa 1,6% da população total do estado.

Esses dados evidenciam a subatendimento da população em relação à oferta de leitos de internação em Minas Gerais. Ressalta-se que o valor sugerido pela OCDE considera exclusivamente os habitantes do próprio município, sendo fortemente impactado em situações nas quais os municípios vizinhos não possuem leitos disponíveis para atender seus residentes. Dessa forma, infere-se que os valores apresentados no mapa podem, na realidade, estar ainda mais abaixo do recomendado.

A escassez de leitos é observada em todo o território estadual, gerando sobrecarga nas unidades de saúde dos municípios adjacentes. Esse indicador pode ter influenciado o número de óbitos entre os pacientes hospitalizados, uma vez que os municípios precisam atender uma população maior do que sua área de cobertura. Destaca-se ainda que, ao se utilizar a média estadual e calcular o valor esperado de casos e óbitos nos municípios mineiros, verifica-se que a maior parte do estado apresenta números superiores aos esperados (Figura 1).

Para os municípios que não dispõem de leitos de UTI, é necessário o transporte do paciente de um município para outro, o que aumenta o tempo sem atendimento adequado e, conseqüentemente, eleva as taxas de mortalidade (NICHOLL *et al.*, 2007; KELLY *et al.*, 2016). Quando há necessidade de um leito de UTI, quanto maior o tempo entre o início da doença e a hospitalização, maiores são as chances de óbito do paciente (WANG, 2013).

No que se refere à Regressão Linear Múltipla (r^2 ajustado = 0,980) aplicada ao conjunto de dados, tendo o número de óbitos como variável dependente, identificou-se a seguinte função (Tabela 1).

Tabela 1 – Regressão Linear Multivariada

Variáveis	Modelo bivariado		Ajustado pela população	
	Coefficiente não-padronizado (Beta)	Sig.	Coefficiente não-padronizado (Beta)	Sig.
(Constante)	-	-	-11,493	<0,001
População	0,004	<0,001	0,004	<0,001
Densidade Populacional (Hab./Km ²)	0,908	<0,001	-0,130	<0,001
Número total de leitos por município	1,029	<0,001	-0,031	0,074
Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes	38,013	<0,001	-2,921	0,017

*Todos os pressupostos foram verificados e a função apresentou um valor de 1,807 para a estatística de Durbin-Watson.
Fonte: Os autores.

Ao avaliar os resultados da regressão, observou-se que o modelo final (ajustado pela população) demonstra que a população está diretamente relacionada ao número de óbitos, conforme indicado na literatura internacional (HAMIDI, SABOURI E EWING, 2020; HA & LEE, 2022). Isso ocorre porque, quanto maior o número de indivíduos suscetíveis, maior tende a ser o número de óbitos.

No que diz respeito à Densidade Populacional, os achados apontam para uma relação inversamente proporcional entre densidade populacional e número de óbitos. No entanto, é possível que esses valores se devam ao aumento dos óbitos em municípios com menor densidade populacional, em razão da escassez de equipamentos de saúde, o que corrobora os demais achados deste estudo.

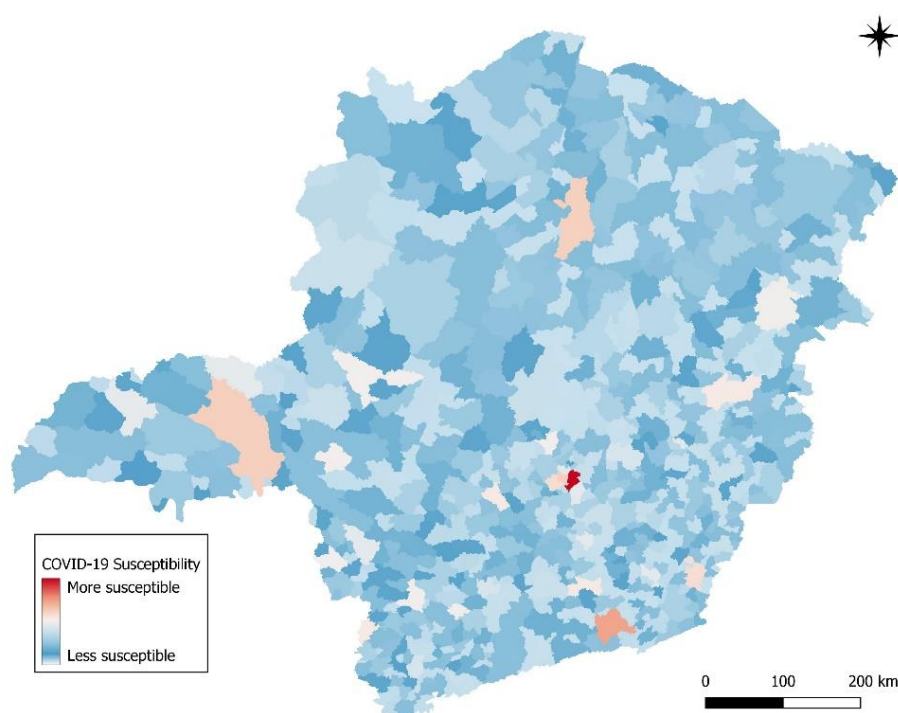
Ao se analisar a variável ‘Número total de leitos no município’, foi constatada significância na análise inicial. Contudo, essa significância desapareceu após o ajuste dos dados pela população. Isso se explica pelo fato de que, geralmente, as unidades de saúde com maior número de leitos estão localizadas em municípios mais populosos. Assim, a correlação positiva inicial refletia, na verdade, o número absoluto de habitantes. Após o ajuste, que eliminou o impacto da população sobre a variável, identificou-se uma correlação negativa, com significância entre 0,05 e 0,10. No entanto, considerando um nível de significância de 10%, ainda seria possível interpretar essa relação como inversamente proporcional ao número de óbitos, sugerindo que municípios com maior número de leitos hospitalares apresentaram menor número de mortes.

Por fim, ao se analisar a disponibilidade de leitos por mil habitantes, identificou-se uma relação inversa com o número de óbitos. Isso indica que municípios com maior disponibilidade de leitos para sua população apresentaram menor número de mortes.

Para compreender a relação entre os óbitos e a disponibilidade de equipamentos de saúde, é possível inferir que, quando esses equipamentos se encontram sobrecarregados com pacientes oriundos de fora do município ou de fora de sua área de cobertura, o risco de óbito entre os pacientes tende a aumentar.

Para facilitar a visualização dos municípios que foram sobrecarregados com altas taxas de óbitos devido à ausência de uma rede de atenção à saúde, foi realizada uma álgebra de mapas utilizando a função obtida na Regressão Linear Múltipla (Figura 3).

Figure 3 – Resultado da álgebra de mapas.



Fonte: Os autores.

Ao avaliar o resultado da álgebra de mapas, observa-se uma maior concentração de óbitos nos maiores municípios do estado. Isso se deve à concentração de leitos e unidades de saúde mais bem equipadas para lidar com pacientes em estado grave. Apesar de possuírem mais equipes de saúde e melhores equipamentos, é importante destacar que esses centros de saúde são forçados a receber pacientes de outros municípios que não investem adequadamente em infraestrutura de saúde, resultando na sobrecarga da estrutura assistencial dos grandes municípios e até mesmo na superlotação dessas unidades.

4 CONCLUSÕES

No âmbito das políticas públicas relacionadas à distribuição de unidades básicas de saúde e investimentos no setor, o elevado número de municípios com menos de cinco mil habitantes impacta diretamente a quantidade de recursos de saúde transferidos pelos governos estadual e federal (BRASIL, 2019). Isso leva à percepção de que a fragmentação do estado direciona os recursos de saúde para os centros regionais, em detrimento dos municípios menores.

Essa distribuição resulta na escassez de leitos e de outros equipamentos assistenciais, tornando a população — especialmente a residente em municípios de pequeno porte — mais vulnerável ao agravamento de enfermidades, como ocorreu durante a pandemia de COVID-19.

Pode-se inferir que a elevada mortalidade de pacientes internados em municípios menores, especialmente na região nordeste do estado, está intimamente ligada à indisponibilidade de leitos de UTI e à dificuldade de deslocamento até o leito disponível mais próximo, frequentemente localizado a dezenas de quilômetros, em outro município.

Há uma necessidade urgente de implantação de leitos nas regiões norte, nordeste e noroeste do estado, especialmente nos municípios que apresentam disponibilidade nula de leitos. Segundo Nicholl *et al.* (2007), as doenças pulmonares são aquelas com maior relação entre óbito e distância ao leito hospitalar mais próximo.

Adicionalmente, a criação de outros centros de saúde, juntamente com a abertura de leitos em municípios sem disponibilidade, pode contribuir para a redução do número de óbitos e para o alívio da sobrecarga nos municípios que atuam como centros regionais de saúde.

Declaração de Conflito de Interesses

Os autores declaram não possuir interesses financeiros ou relações pessoais que possam ter influenciado os resultados apresentados neste artigo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. G. (Org.). *Overview of COVID-19 in Brazil*. Curitiba: Editora CRV Ltda, 2022.

BEZERRA, É. C. D. et al. Análise espacial das condições de enfrentamento à COVID-19: uma proposta de Índice da Infraestrutura da Saúde do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. 12, p. 4957–4967, dez. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.979, de 12 de novembro de 2019. *Diário Oficial da União: seção 1*, ed. 220, p. 97, 13 nov. 2019.

CAMPOS JÚNIOR, E. O. (Org.). *COVID-19 Observatory*. 1. ed. Uberlândia: Editora Colab, 2021. 184 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.51781/9786586920215>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CASELLA, G.; BERGER, R. *Statistical inference*. 2. ed. Pacific Grove, CA: Duxbury, 2001. (Duxbury Advanced Series). ISBN 0-534-11958-1.

CORTEZ, M. L. J. et al. What role do social variables and health play in the spread of COVID-19 in the state of Minas Gerais – Brazil? *Caderno de Geografia*, v. 33, p. 317-335, 2023.

DURBIN, J.; WATSON, G. S. Testing for serial correlation in least squares regression. I. *Biometrika*, v. 37, p. 409–428, 1950.

FONGARO, G. et al. The presence of SARS-CoV-2 RNA in human sewage in Santa Catarina, Brazil, November 2019. *Science of The Total Environment*, v. 778, 2021. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146198>. Acesso em: 8 jun. 2025.

HA, J.; LEE, S. Do the determinants of COVID-19 transmission differ by epidemic wave? Evidence from U.S. counties. *Cities*, v. 131, 2022, 103892. ISSN 0264-2751. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103892>. Acesso em: 8 jun. 2025.

HAMIDI, S.; SABOURI, S.; EWING, R. Does Density Aggravate the COVID-19 Pandemic? *Journal of the American Planning Association*, v. 86, n. 4, p. 495-509, 2020. DOI: 10.1080/01944363.2020.1777891.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2022: População e Domicílios – Primeiros Resultados*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JENKS, G. F. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, v. 7, p. 186–190, 1967.

KELLY, C. et al. Are differences in travel time or distance to healthcare for adults in global north countries associated with an impact on health outcomes? A systematic review. *BMJ Open*, v. 6, e013059, 2016. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-013059.

KRUEGER, J. I.; HECK, P. R. Putting the P-Value in its Place. *The American Statistician*, v. 73, supl. 1, p. 122-128, 2019. DOI: 10.1080/00031305.2018.1470033.

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v. 62, n. 318, p. 399–402, 1967. DOI: <https://doi.org/10.2307/2283970>.

LU, R. et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *Lancet*, v. 395, p. 565-574, 2020.

MASSEY, F. J. The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, v. 46, n. 253, p. 68–78, 1951. DOI: <https://doi.org/10.2307/2280095>.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde. *Painel de monitoramento da COVID-19*, 2024. Disponível em: <https://coronavirus.saude.mg.gov.br/painel>. Acesso em: 28 fev. 2024.

NICHOLL, J. et al. The relationship between distance to hospital and patient mortality in emergencies: an observational study. *Emergency Medicine Journal*, v. 24, n. 9, p. 665–668, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1136/emj.2007.047654>.

OECD. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Health at a Glance 2021: OECD Indicators*. Paris: OECD Publishing, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1787/ae3016b9-en>.

OECD. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Population (Demographics)*, 2023. DOI: 10.1787/d434f82b-en. Acesso em: 12 out. 2023.

ROSS, S. M. *Introduction to probability models*. 12. ed. Londres: Academic Press, 2019. DOI: 10.1016/C2017-0-01324-1. ISBN 978-0-12-814346-9.

SINGH, D.; YI, S. V. On the origin and evolution of SARS-CoV-2. *Experimental & Molecular Medicine*, v. 53, p. 537–547, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s12276-021-00604-z>.

SCHNEIDER, M.; MCKENNEY, M. Map algebra: a data model and implementation of spatial partitions for use in spatial databases and geographic information systems, 2008.

WANG, J. et al. Travel Time Estimation Model for Emergency Vehicles under Preemption Control. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 96, p. 2635–2643, 2013. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.08.242.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports*, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>. Acesso em: 5 abr. 2022.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *COVID-19 Dashboard*. Geneva: WHO, 2023. Disponível em: <https://covid19.who.int/>. Acesso em: 13 jan. 2024.

8 Artigo 3 - A Relevância dos Dados Secundários na Análise da Variabilidade de Casos e Óbitos por COVID-19: um estudo ecológico em Minas Gerais, Brasil

(Artigo submetido na Revista Ciência e Saúde Coletiva – Qualis CAPES A1)

The Relevance of Secondary Data in the Analysis of Variability of Cases and Deaths from COVID-19: an ecological study in Minas Gerais, Brazil

La relevancia de los datos secundarios en el análisis de la variabilidad de casos y muertes por COVID-19: un estudio ecológico en Minas Gerais, Brasil

RESUMO

O objetivo do estudo foi analisar a capacidade avaliativa de dados secundários relacionados aos casos e óbitos por COVID-19 durante a pandemia. Trata-se de um estudo ecológico com base em dados secundários dos 853 municípios do estado de Minas Gerais, entre janeiro de 2020 a dezembro de 2023. Foram analisadas 30 variáveis associadas aos 853 municípios de Minas Gerais que podem ter impactado na situação de saúde do estado. O estudo foi subdividido em três etapas, a primeira contemplou levantamento de dados e construção metodológica. A segunda, consistiu na submissão das variáveis ao Teste de Correlação de Pearson e análise de multicolinearidade para seleção de quais variáveis fariam parte da análise fatorial. Na terceira, as variáveis restantes para cada desfecho foram submetidas a uma Análise de Componentes Principais (ACP). Os resultados sugerem que a variância dos casos e dos óbitos por COVID-19 têm muitas similitudes, principalmente no que tange à qualidade de vida da população e às características socioeconômicas. Estudar a variância dos casos e óbitos unicamente a partir de dados secundários é capaz de explicar, respectivamente 73% e 75%. Concluiu-se que esses resultados ensejam intervenções para melhorar a qualidade de vida, incluindo educação e renda da população, pois essas variáveis podem reduzir a incidência e a mortalidade de doenças de caráter similar à COVID-19.

Palavras-Chave: COVID-19; análise de dados secundários; análise fatorial.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the evaluative capacity of secondary data that influenced the number of cases and deaths from COVID-19 during the pandemic. This is an

ecological study based on secondary data from the 853 municipalities of the state of Minas Gerais, between January 2020 and December 2023. Thirty variables associated with the 853 municipalities of Minas Gerais that may have impacted the health situation in the state were analyzed. The study was subdivided into three stages. The first included data collection and methodological construction. The second consisted of submitting the variables to the Pearson Correlation Test and multicollinearity analysis to select which variables would be part of the factor analysis. In the third, the remaining variables for each outcome were subjected to a Principal Component Analysis (PCA). The results suggest that the variance of cases and deaths from COVID-19 have many similarities, especially regarding the population's quality of life and socioeconomic characteristics. Studying the variance of cases and deaths solely from secondary data is capable of explaining 73% and 75%, respectively. It was concluded that these results give rise to interventions to improve the quality of life, including education and income of the population, since these variables can reduce both the incidence and mortality of diseases similar to COVID-19.

Keywords: COVID-19; secondary data analysis; factor analysis.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar la capacidad evaluativa de datos secundarios relacionados con casos y muertes por COVID-19 durante la pandemia. Se trata de un estudio ecológico basado en datos secundarios de los 853 municipios del estado de Minas Gerais, entre enero de 2020 y diciembre de 2023. Se analizaron 30 variables asociadas a los 853 municipios de Minas Gerais que pueden haber impactado la situación de salud del estado. El estudio se subdividió en tres etapas, la primera de las cuales incluyó la recolección de datos y la construcción metodológica. La segunda consistió en someter las variables al Test de Correlación de Pearson y análisis de multicolinealidad para seleccionar qué variables formarían parte del análisis factorial. En el tercero, las variables restantes para cada resultado se sometieron a un Análisis de Componentes Principales (ACP). Los resultados sugieren que la varianza de casos y muertes por COVID-19 tiene muchas similitudes, especialmente en lo que respecta a la calidad de vida y las características socioeconómicas de la población. Estudiar la varianza de casos y muertes únicamente a partir de datos secundarios es capaz de explicar el 73% y el 75%, respectivamente. Se concluyó que estos resultados requieren intervenciones para

mejorar la calidad de vida, incluyendo la educación y los ingresos de la población, ya que estas variables pueden reducir la incidencia y mortalidad de enfermedades similares al COVID-19.

Palabras clave: COVID-19; análisis de datos secundarios; análisis factorial.

INTRODUÇÃO

A pandemia de COVID-19 assolou o mundo todo, mas seu impacto foi desigual, afetando de formas diferentes as mais variadas esferas e conjecturas (BISPO JÚNIOR & SANTOS, 2021; BARBOSA *et al.*, 2022; MADUREIRA & BARSAGLINI, 2024). Partindo do pressuposto que a COVID-19 impactou a população de maneiras diversas, alguns estudiosos redefiniram o surto mundial do coronavírus como uma sindemia (HORTON, 2020; BISPO JÚNIOR & SANTOS, 2021; ALMEIDA FILHO, 2022).

Por sua vez, o conceito de sindemia foi proposto por Merrill Singer (2009), que afirmou ser um conjunto de problemas de saúde intimamente interligados e que se agravam mutuamente, afetando significativamente o estado geral de saúde de uma população no contexto de condições sociais nocivas. Esses epidemiologistas e cientistas sociais da área da saúde destacam que as condições econômicas, políticas e culturais ao concentrarem a desvantagem social e atuarem como determinantes da saúde, geram epidemias de várias doenças infecciosas ao mesmo tempo, resultando em maior sofrimento e aumento da mortalidade.

Na perspectiva de uma análise socioeconômica voltada para a saúde, na grande maioria dos estudos que utilizam dados de populações que se distribuem ao longo de vários municípios ou estados da federação, os atributos utilizados como variáveis explicativas são dados advindos dos censos, do Sistema Único de Saúde ou de outros institutos de pesquisa, ou seja, dados secundários. Isso ocorre pela impossibilidade de acesso aos dados de cada indivíduo que compõe o estudo, então costumeiramente são utilizados os dados com disponibilidade pública.

A partir dessa perspectiva de análise socioeconômica, os autores Pavão *et al.* (2012) e Albuquerque *et al.* (2017), verificaram impacto significativo das condições socioeconômicas no acesso aos serviços de saúde. Nesse contexto, é relevante ressaltar que o estado de Minas Gerais apresenta diversidade socioeconômica nos seus 853 municípios (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2023), e, por conta dessa diferença, nem todos os municípios conseguem suprir as necessidades de saúde de seus habitantes (BOUSQUAT *et al.*, 2022; LIMA *et al.*, 2022).

Com o intuito de mitigar a desigualdade no acesso e qualidade de saúde, é necessário identificar as disparidades socioeconômicas, ambientais e de saúde no contexto municipal mineiro. Para isso, a ciência utiliza pesquisas primárias, levantando dados necessários, muitas vezes in loco. Todavia, é importante ressaltar as limitações dos estudos primários, que enfrentam diversos problemas, desde a indisponibilidade financeira até a impossibilidade de acesso aos locais de estudo. Essas fragilidades na disponibilidade dos dados obriga os pesquisadores a buscarem outras variáveis que possam servir como proxy aos dados que precisam.

No intuito de encontrar variáveis que possam se aproximar dos dados encontrados nas pesquisas primárias utilizando fontes públicas, o objetivo deste estudo foi examinar a capacidade avaliativa de fatores que influenciaram a qualidade e o acesso dos serviços de saúde durante a pandemia de COVID-19, a partir de variáveis independentes, socioeconômicas e de saúde, não diretamente associadas a pandemia, na tentativa de substituir, pelo menos parcialmente, os dados de pesquisas primárias por dados secundários disponíveis de forma ampla e gratuita.

MÉTODO

A partir da perspectiva de estudo epidemiológico, foi realizado um estudo ecológico utilizando dados dos 853 municípios do estado de Minas Gerais. Estes estudos são assim denominados por não utilizarem como objeto de estudo o indivíduo, mas sim um espaço geográfico delimitado ou grupo de indivíduos (ROUQUAYROL, 2023). O período analisado foi de janeiro de 2020 a dezembro de 2023, por abarcar por completo a emergência em saúde pública decorrente da pandemia de COVID-19.

A partir da perspectiva da ontologia da modelagem de dados, todos os atributos utilizados pertencem a uma única classe, ou entidade, que é Município. Portanto, todos os dados utilizados ou são atributos da entidade Município ou métodos calculados a partir desses atributos.

Para nortear o uso dos sistemas de saúde, foi utilizado o conceito preconizado pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2000) que dá suporte ao artigo 7º, parágrafo 12, da Declaração Universal dos Direitos Humanos que reconhece o “direito de toda pessoa de desfrutar o mais elevado nível possível de saúde física e mental”. Nesse conceito, aborda o direito à saúde como o direito de usufruir das instituições, bens, serviços e condições

necessárias para sua realização. Para esse fim, são apresentados quatro pilares para sua concretização: disponibilidade, acessibilidade, aceitabilidade e qualidade.

O conceito de disponibilidade corresponde ao quantitativo dos serviços em relação ao atendimento da demanda e da sua necessidade (BOTELHO & FRANÇA JÚNIOR, 2018).

A acessibilidade pode ser compreendida como a igualdade no acesso aos serviços de saúde entre todos os indivíduos. Esse conceito engloba diversas formas de acessibilidades, com destaque para a acessibilidade física, sobretudo para os que residem em localidades remotas, buscando garantir a aproximação e a disponibilização dos serviços de saúde (DANTAS *et al.*, 2021).

Aceitabilidade refere-se à adequação das características individuais em relação aos produtos e serviços. É um conceito mais subjetivo e pode ser percebida, principalmente, durante o atendimento (DANTAS *et al.*, 2021).

Já a qualidade implica serviços de saúde que sejam culturalmente apropriados e baseados em evidências científicas, além de garantir a disponibilidade de profissionais de saúde qualificados e dos equipamentos necessários ao cuidado (BOTELHO & FRANÇA JÚNIOR, 2018).

Foram analisadas 30 variáveis associadas aos 853 municípios de Minas Gerais que podem ter impactado na situação de saúde do estado, levando-o a ser o segundo ente federativo a apresentar mais casos e óbitos por COVID-19, ficando atrás somente do estado de São Paulo.

A primeira etapa consistiu na coleta de dados de diversas fontes. Os desfechos escolhidos foram: casos de COVID-19 e óbitos por COVID-19, que foram obtidos da Secretaria Estadual da Saúde e do Ministério da Saúde, respectivamente. Os municípios que apresentaram números de casos ou óbitos superiores ao número de habitantes foram retirados do estudo (55 no total). Ambas variáveis foram submetidas a uma padronização logarítmica para aproximá-las da distribuição normal.

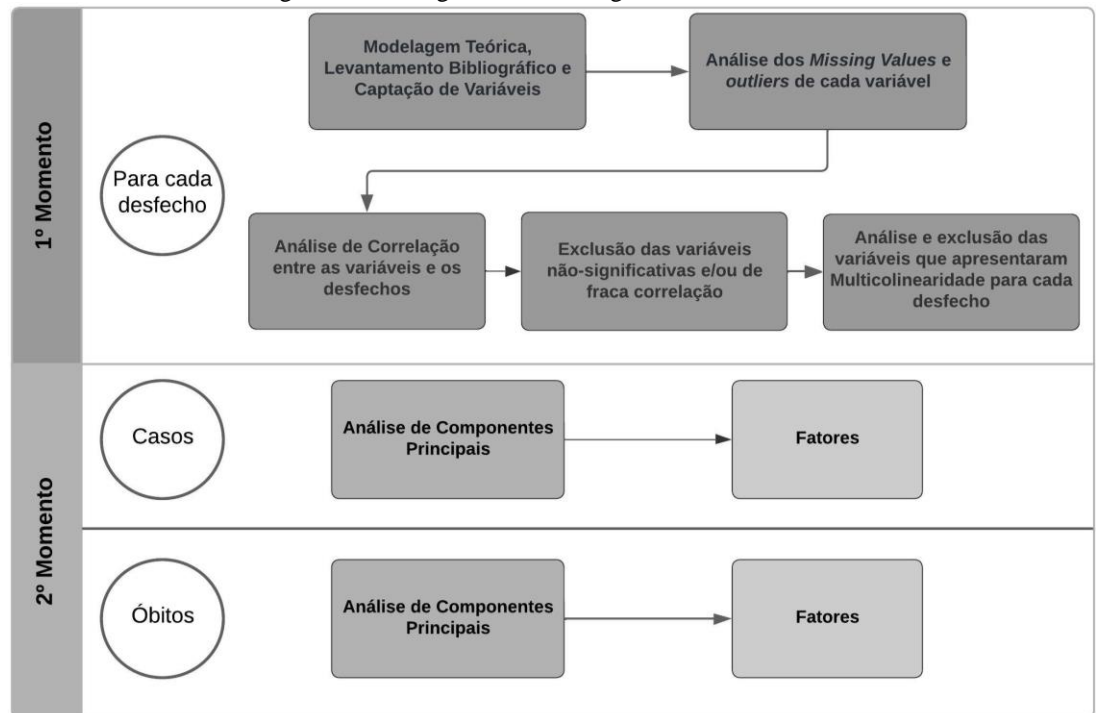
A transformação logarítmica é definida pela seguinte equação:

$$y = \text{Log}(x)$$

Onde x é a variável a ser transformada e y é a variável transformada. A transformação logarítmica é uma transformação monotônica, o que significa que não afeta a ordem dos dados. Isso é importante para modelos preditivos porque garante que a transformação não afete a capacidade do modelo de capturar a relação entre as variáveis.

O estudo foi subdividido em dois momentos, a priori, com o levantamento de dados e variáveis, além de construção metodológica e, a posteriori, com as análises estatísticas (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma metodológico.



Fonte: Os autores

O critério de inclusão consistiu em selecionar variáveis socioeconômicas e de saúde com dados de todos os municípios. Foram excluídas do rol de variáveis aquelas cujos dados se encontravam incompletos (*missing values*) para algum município.

Variáveis independentes de quatro dimensões foram utilizadas: epidemiológicas, demográficas, estrutura do sistema de saúde e socioeconômicas. Esses atributos foram escolhidas com base em estudos que sugerem a associação desses fatores à morbidade e mortalidade por COVID-19 (RICHARDSON *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2020). Para todas as variáveis medidas anualmente, foram utilizadas as médias dos últimos 3 anos a fim de diminuir a variância causada por algum fator externo. Sempre que possível, dados do censo 2022 foram utilizados por apresentar menor defasagem temporal em relação à pandemia.

Dos 40 atributos captados, após análise de valores omissos, apenas 30 permaneceram na amostra: 1) Socioeconômicas: Número de domicílios, População Branca, População Preta, População Amarela, População Parda, População Indígena, População Total, População de Não-Brancos, Porcentagem de Não-Brancos, População de Idosos, Índice de Gini, Índice de

Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), IDHM Renda, IDHM Longevidade, IDHM Educação, Taxa de Analfabetismo, PIB Municipal, PIB per capita, Densidade Demográfica (Hab/km²); 2) Variáveis de saúde: Taxa de Envelhecimento, Índice de Envelhecimento, Porcentagem de nascidos vivos com pelo menos sete consultas de pré-natal, Porcentagem de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, Porcentagem de habitantes coberta por planos de saúde suplementar, Percentual da população com 60 anos ou mais vacinada contra gripe, Gasto público total em saúde por habitante (em R\$), Quantidade Total de Leitos (SUS e não-SUS), Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes; 3) Socioambientais: Porcentagem de pessoas inscritas no Cadastro Único sem abastecimento de água adequado, Porcentagem de pessoas inscritas no Cadastro Único sem esgotamento sanitário adequado.

A proporção de pessoas com mais de 60 anos foi calculada segundo as estimativas da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua trimestral de 2022 (IBGE, 2022) e a população do censo 2022 (IBGE, 2023). O número de leitos de UTI foi baseado nos dados do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde do Ministério da Saúde referentes ao mês de dezembro de 2023 (BRASIL, 2023).

As variáveis socioeconômicas, como o percentual de analfabetos e o acesso a rede de água e esgoto, foram extraídas das Censo 2022 (IBGE 2023). O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e seus subíndices foram obtidos da Fundação João Pinheiro (Fundação João Pinheiro, 2024). Os dados sobre o Produto Interno Bruto (PIB) foram extraídos das tabelas disponibilizadas pelo IBGE (IBGE, 2024).

A segunda etapa consistiu em submeter as variáveis incluídas ao Teste de Correlação de Pearson. As variáveis cujo p-valor foi superior a 0,10 ou cuja correlação fora inferior a 0,10 foram excluídas. Em seguida, foi analisada a presença de multicolinearidade (Ponto de corte: *Tolerance* > 0,1 e *Variance Inflation Factor* [VIF] < 5). As variáveis que apresentaram multicolinearidade foram removidas da amostra.

Na terceira etapa, as variáveis restantes para cada desfecho foram submetidas a uma Análise de Componentes Principais (ACP) a fim de identificar constructos que se relacionem com cada um dos dois desfechos (HONGYU *et al.*, 2016). A análise fatorial objetiva diminuir o número de atributos para a análise final do modelo, por meio do agrupamento de variáveis que se comportem de maneiras semelhantes em aglomerados. Cada aglomerado de variáveis (denominado de Fator), agrega variáveis que têm um comportamento parecido e explica uma perspectiva importante do comportamento da variável dependente.

Esse método foi escolhido visando a redução do número de variáveis, obtendo, assim, um pequeno número de fatores capazes de explicar a maior parte da variância das variáveis originais. A padronização dos dados não foi necessária, pois foi utilizada a matriz de correlação, que é apropriada quando as variáveis possuem escalas diferentes. A confirmação dos fatores seguiu o Critério de Kaiser, onde somente fatores com autovalor (Eigenvalue) acima de 1 foram considerados (FLECK & BOURDEL, 1998). Fatores cujo autovalor maior que 1 indicam maior poder de explicação em comparação com as variáveis originais avaliadas individualmente. A rotação ortogonal Varimax foi utilizada para minimizar o número de variáveis com altas cargas em diferentes fatores, permitindo a associação de uma variável a um único fator (PALLANT, 2007).

Os dados foram processados no *software Statistical Package for Social Sciences (SPSS)*, versão 25.

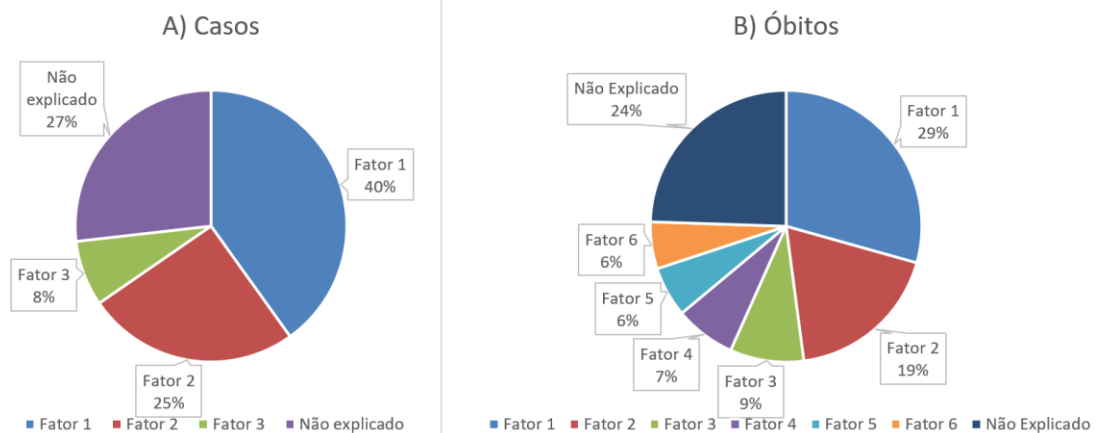
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 853 municípios do estado, 55 apresentaram número de casos ou óbitos maior do que o número de habitantes, portanto, foram removidos da análise. Os 798 municípios restantes, a média foi de 3.702 casos (Mediana: 1.225; Desvio padrão: 18.511), com um mínimo de 29 e um máximo de 486.334 casos. Já com relação aos óbitos, os municípios apresentaram uma média de 56 óbitos (Mediana: 17; Desvio Padrão: 329), com um mínimo de 1 e um máximo de 8.570 mortes.

As análises iniciais demonstraram valores de correlação que podem ser avaliados como moderados a fortes (MUKAKA, 2012), entre as variáveis sugeridas para ambos os desfechos, casos (Tabela 1) e óbitos (Tabela 2). Após análise da correlação de Pearson e a verificação da significância da correlação, as variáveis restantes - aquelas cuja correlação se verificou entre 0,4 e 0,9 - foram submetidas a análise de multicolinearidade. Para decidir quais variáveis permaneceriam no modelo, foi considerada a maior correlação com o desfecho entre aquelas que apresentaram problemas de multicolinearidade. Com a eliminação desses problemas, foram realizadas as duas análises fatoriais.

Os modelos encontrados foram capazes de explicar, respectivamente, 73% e 75% da quantidade de casos e óbitos por município (Figura 2).

Figura 2 – Comportamento explicado para casos e óbitos por COVID-19 a partir da Análise de Componentes Principais.



Fonte: Os autores.

A Análise Fatorial das variáveis relacionadas aos casos de COVID-19 resultou em um valor da Estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) de 0,813, o que, segundo Fávero (2009) e Kaiser & Rice (1974), corresponde a uma ótima associação entre as variáveis. O valor de KMO avalia a adequação da análise fatorial (HAIR, ANDERSON & TATHAM, 1987; HAIR *et al.*, 1998), sugere que os fatores identificados na análise fatorial descrevem satisfatoriamente as variações nos dados. Além disso, o teste de Esfericidade de Bartlett (p -value < 0,01) confirmou a existência de correlações significativas entre as variáveis.

A Análise de Componentes Principais (ACP) revelou três fatores principais que, juntos, explicam 73,4% da variabilidade nos dados relacionados aos casos de COVID-19 (Tabela 1). Isso significa que, ao analisar os casos de COVID-19 utilizando esses três fatores, podemos capturar a maior parte da variação observada nos dados, mesmo sem considerar variáveis específicas de cada indivíduo. Em outras palavras, esses três fatores resumidamente representam a maioria das informações relevantes sobre os casos de COVID-19 na pesquisa desenvolvida.

Tabela 1 – Fatores associados aos casos por COVID-19

Fator 1 – Explica 40,1% da variação dos casos entre municípios
IDHM Renda (Inversamente proporcional)
IDHM Longevidade (Inversamente proporcional)
IDHM Educação (Inversamente proporcional)
Mortalidade Infantil

Taxa de Analfabetismo na população de 15 anos ou mais

Taxa de pessoas inscritas no Cadastro Único sem abastecimento de água adequado

Taxa de Pessoas inscritas no Cadastro Único sem esgotamento sanitário adequado

Fator 2 – Explica 25,3% da variação dos casos entre municípios

População Total

Número de Domicílios

PIB Municipal

Densidade Demográfica

Fator 3 – Explica 7,8% da variação dos casos entre municípios

Taxa da população de 60 anos ou mais vacinada contra gripe

Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes

Fonte: Os autores.

O primeiro fator é capaz de explicar 40,1% da variância dos dados e é composto por 7 variáveis, que podem ser divididas em dois grupos: No primeiro grupo, as variáveis apresentam uma relação inversa com o número de casos, ou seja, quanto menor o valor da variável, maior o número de casos. As variáveis desse grupo são: IDHM Renda, IDHM Longevidade, IDHM Educação; O segundo grupo comporta variáveis que devem ser analisadas de forma proporcional ao número de casos, de forma que quanto maior o primeiro, maior o segundo: Mortalidade Infantil, Taxa de Analfabetismo na população de 15 anos ou mais, Taxa de pessoas inscritas no Cadastro Único sem abastecimento de água adequado, e Taxa de Pessoas inscritas no Cadastro Único sem esgotamento sanitário adequado.

Convencionou-se nomear este fator por Qualidade de Vida da População, por agregar variáveis relacionadas ao bem-estar socioeconômico e às condições de vida. O IDHM Renda reflete o nível de renda e padrão de vida da população. A Taxa de Analfabetismo na população de 15 anos ou mais e o IDHM Educação indicam que uma alta taxa de alfabetismo está associada a melhores oportunidades de emprego e maior qualidade de vida. O IDHM Longevidade, que se relaciona à expectativa de vida, indica a qualidade da saúde e bem-estar da população e se associa diretamente com a Taxa de mortalidade infantil, já que menores valores dessa taxa indicam melhores condições de saúde e assistência médica.

Além disso, a Taxa de pessoas inscritas no Cadastro Único sem abastecimento de água adequado e sem esgotamento sanitário revela a proporção de pessoas em situação de pobreza que não têm acesso a água potável, crucial para a saúde e bem-estar da população.

Portanto, o primeiro fator, por incluir variáveis de IDHM inversamente proporcionais aos casos e as demais variáveis de forma diretamente relacionadas, indica que a piora na qualidade de vida da população, explica grande parte da variação no número de casos de COVID-19 nos municípios.

O segundo fator explica 25,3% da variância dos casos de COVID-19 e é composto por 4 variáveis: População Total, Número de Domicílios, PIB Municipal e Densidade Demográfica. Por conta disso, foi denominado de “Fator Demográfico”.

Este Fator revelou uma combinação de características demográficas e econômicas que podem ter influenciado a propagação da COVID-19. Municípios com maior população, mais domicílios, maior PIB e alta densidade demográfica podem ter maior risco de disseminação da doença devido à maior quantidade de interações sociais e mobilidade. A alta utilização de transporte público, por exemplo, pode levar a aglomerações e dificultar o distanciamento social recomendado durante a pandemia. A relação direta da renda sugere que os municípios mais ricos, com maior contingente populacional e melhores condições de vida, também enfrentam mais casos de COVID-19. A capacidade desses municípios de gerar mais empregos e atrair habitantes contribui para um maior adensamento populacional, o que pode fragilizar as condições de isolamento social, especialmente em surtos de doenças transmissíveis que se proliferam por contato próximo, como foi a COVID-19.

O terceiro e último fator, responsável por 7,8% da variância total de casos, agregou duas variáveis: a Taxa da população de 60 anos ou mais vacinada contra gripe e a Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes. Esse fator destaca a importância da capacidade preventiva e assistencial do sistema de saúde.

A vacinação em idosos é crucial, pois esse grupo é especialmente vulnerável tanto à gripe quanto à COVID-19, que são doenças cuja transmissão ocorre de maneiras semelhantes. A alta taxa de vacinação contra gripe indica uma maior adesão a programas de saúde pública e prevenção de doenças por parte da população idosa, além de indicar facilidade de acesso ao serviço de saúde. Além disso, a disponibilidade de leitos indica a capacidade do sistema de saúde de atender aos pacientes, sendo fundamental em situações de alta demanda, como durante a pandemia de COVID-19.

Este fator parece refletir a capacidade preventiva e de resposta do sistema de saúde, especialmente em relação aos cuidados com a população de risco. A vacinação de idosos e a disponibilidade de leitos são indicadores cruciais da preparação e capacidade de um sistema de saúde para enfrentar surtos de doenças infecciosas.

Para os óbitos, foi obtido um modelo diferente daquele utilizado para os casos de COVID-19. Nesse modelo, foi obtido um valor de 0,779 para o KMO, e o teste de esfericidade de Bartlett indicou linearidade ($p\text{-value} < 0,01$). Com base no Critério de Kaiser, foram identificados 6 fatores, resultando em um modelo capaz de explicar 75,54% da variância dos óbitos entre os municípios (Tabela 2). Ou seja, esses fatores explicam mais de três quartos da variância total das variáveis relacionadas aos óbitos por COVID-19 no estado, sem levar em consideração variáveis inerentes ao indivíduo, como presença de comorbidades, idade e sexo.

Tabela 2 – Fatores associados aos óbitos por COVID-19

Fator 1 – Explica 29,35% da variação dos óbitos entre municípios
IDHM Renda
IDHM Longevidade
IDHM Educação
Mortalidade Infantil (Inversamente proporcional)
Taxa de Analfabetismo na população de 15 anos ou mais (Inversamente proporcional)
Taxa de pessoas inscritas no Cadastro Único sem abastecimento de água adequado (Inversamente proporcional)
Taxa de Pessoas inscritas no Cadastro Único sem esgotamento sanitário adequado (Inversamente proporcional)
Fator 2 – Explica 18,56% da variação dos óbitos entre municípios
População Total
Número de Domicílios
PIB Municipal
Densidade Demográfica
Fator 3 – Explica 8,79% da variação dos óbitos entre municípios
Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes

Percentual de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado

Gasto público total em saúde por habitante (inversamente relacionado)

Fator 4 – Explica 7,25% da variação dos óbitos entre municípios

Taxa de envelhecimento

Percentual da população com 60 anos ou mais vacinada contra gripe

Fator 5 – Explica 5,99% da variação dos óbitos entre municípios

Índice de Gini

Fator 6 – Explica 5,58% da variação dos óbitos entre municípios

Percentual de nascidos vivos com pelo menos sete consultas de pré-natal

Fonte: Os autores.

O primeiro fator, hierarquicamente mais importante, explica 29,35% dos óbitos, e é composto por 7 variáveis: IDHM Renda, Longevidade e Educação; Percentual de Analfabetismo na população de 15 anos ou mais; Mortalidade Infantil; Percentual de pessoas inscritas no Cadastro Único sem abastecimento de água adequado; e Percentual de pessoas inscritas no Cadastro Único sem esgotamento sanitário adequado.

Esse fator exprime a qualidade de vida da população, e representou, tal qual no modelo de casos, o maior percentual de explicação da variância. Isso indica que a qualidade de vida e o bem-estar da população interferem diretamente na possibilidade de óbito por doenças transmissíveis em um contexto de pandemia. Populações mais longevas, com acesso à educação de qualidade, a um ambiente equilibrado e saneado, e com acesso à saúde tendem a ser mais resilientes em situações de calamidade.

O segundo fator, explica 18,56% da variância, é composto por quatro variáveis: População Total; Número de Domicílios; PIB Municipal; e Densidade Demográfica.

Esse fator demonstra a vulnerabilidade das áreas de maior densidade populacional. Os grandes centros urbanos, locais de maior concentração de renda, número absoluto de população e maior densidade de habitantes, foram particularmente significativos para a transmissão e óbitos durante a pandemia.

O terceiro fator, que explica 8,79% dos óbitos, é composto por três variáveis: Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes; Percentual de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; e Gasto público total em saúde por habitante.

O terceiro fator preponderante para entender a variância de óbitos está ligado ao acesso e ao investimento em saúde. A disponibilidade de leitos no estado de Minas Gerais segue o conceito instituído pelo SUS de regiões de saúde. Esse conceito, embora teoricamente abrangente, concentra investimentos em cidades-polo, diminuindo o acesso à saúde dos habitantes que moram nos municípios vizinhos, que frequentemente dependem de uma única ambulância para o deslocamento em caso de emergências. Aliado a esse fator, a falta de recursos e investimento em saúde nos municípios que não são polos fragilizam ainda mais a população e dificultam o acesso à saúde de qualidade.

O Quarto fator, que explica 7,25% da variância, foi composto por duas variáveis: Taxa de envelhecimento; e Percentual da população com 60 anos ou mais vacinada contra gripe.

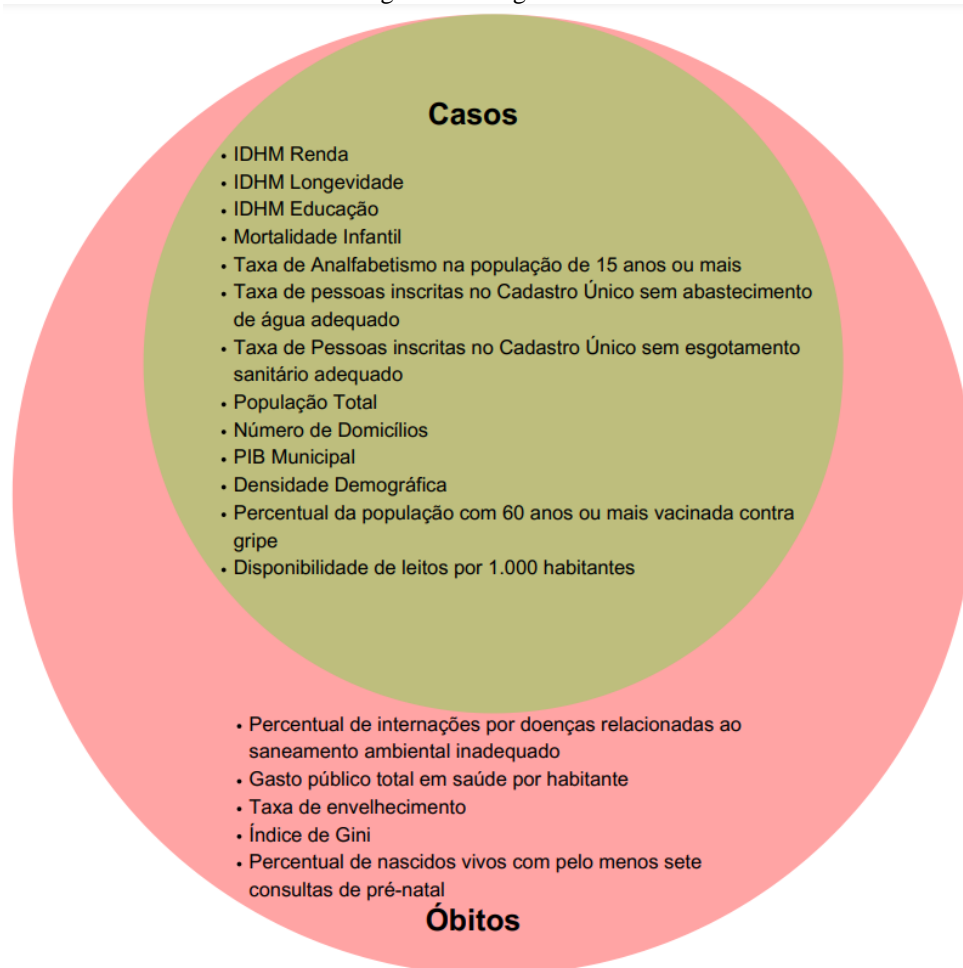
Para a COVID-19, que tem na população idosa um grupo de risco, a presença de indivíduos com maior idade é um fator crucial para os óbitos. Portanto, utilizar variáveis que meçam ou que indiquem o tamanho da população suscetível a uma doença é uma forma de entender, à priori, o impacto de um surto ou epidemia.

O Quinto fator, capaz de explicar 5,99% da variância total, foi composto por uma variável, o Índice de Gini³⁰. Esse índice indica o grau de desigualdade de renda de uma população, ou seja, a distância entre os indivíduos mais ricos e os mais pobres. A desigualdade econômica pode ser um fator significativo para a propagação de doenças que afetam grande parte da população, pois áreas com maior desigualdade frequentemente possuem uma população extremamente vulnerável.

O sexto fator, que explica 5,58% da variância total dos óbitos por COVID-19, é composta apenas pelo percentual de nascidos vivos com pelo menos sete consultas de pré-natal. Essa variável pode indicar o nível de acesso da população aos serviços de saúde.

Comparando os dois modelos, é possível encontrar diversas similitudes, apontando a influência socioeconômica da COVID (Figura 3).

Figura 3 – Diagrama de Venn



Fonte: Os autores.

As variáveis IDHM Renda, IDHM Longevidade, IDHM Educação, Mortalidade Infantil, Taxa de Analfabetismo na população de 15 anos ou mais, Taxa de pessoas inscritas no Cadastro Único sem abastecimento de água adequado, Taxa de Pessoas inscritas no Cadastro Único sem esgotamento sanitário adequado, População Total, Número de Domicílios, PIB Municipal, Densidade Demográfica, Percentual da população com 60 anos ou mais vacinada contra gripe, e Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes estão presentes em ambos os modelos.

É possível perceber que todas as variáveis que são importantes para a distribuição de casos nos municípios de Minas Gérias mantêm sua importância para os óbitos. Todavia, alguns atributos são de importância somente na avaliação da distribuição dos óbitos nos municípios.

Ambos os modelos apresentam a maior importância ao fator relacionado à qualidade de vida, que inclui variáveis socioeconômicas, educacionais e de infraestrutura. Isso reflete o impacto do bem-estar socioeconômico tanto nos casos quanto nos óbitos por COVID-19. Populações com menores índices de desenvolvimento humano, educação deficiente, e

infraestrutura básica inadequada estão mais vulneráveis não apenas à infecção, mas também à evolução para resultados adversos, como óbitos.

Além disso, os dois modelos incluem um fator demográfico que agrega as variáveis de população total, número de domicílios, PIB municipal e densidade demográfica. Esses fatores indicam como a densidade populacional e a atividade econômica afetam a propagação e a mortalidade da COVID-19. Os resultados mostram que áreas com maior densidade populacional e atividade econômica intensa estão associadas a maiores taxas de infecção e mortalidade. A alta densidade populacional facilita a disseminação do vírus devido ao maior número de interações sociais e a dificuldade de implementar medidas eficazes de distanciamento social.

Outro fator importante para ambos os modelos foi a capacidade preventiva e assistencial. Em ambas as análises, há fatores que refletem a capacidade do sistema de saúde em termos de disponibilidade de leitos e vacinação, especialmente para a população idosa. A capacidade do sistema de saúde em responder à pandemia é crucial tanto para controlar a disseminação quanto para reduzir a mortalidade. Por sua vez, a vacinação de idosos e a disponibilidade de leitos são indicadores críticos da preparação e capacidade de resposta do sistema de saúde.

No que tange às diferenças entre os dois modelos, é possível ressaltar, principalmente, a importância da saúde do idoso e o investimento direto em saúde. Esses elementos sublinham como a atenção e os recursos direcionados à saúde pública são essenciais para mitigar os impactos da pandemia.

No que tange às especificidades de cada modelo, é possível perceber que, no modelo de óbitos, há um fator específico que destaca a disponibilidade de leitos, internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado e o gasto público em saúde. Esse fator não está presente no modelo de casos, sugerindo que o acesso e o investimento em saúde são mais críticos para a mortalidade.

Isso aponta para o fato de que a mortalidade é mais sensível ao acesso e investimento em saúde. Portanto, áreas com melhor infraestrutura de saúde, maior acessibilidade ao serviço e maiores investimentos públicos, embora possam atrair um número absoluto maior de óbitos por conta da disponibilidade de leitos e vagas para internação, tendem a apresentar melhores resultados em termos de redução de número relativos de óbitos.

A partir desse resultado, deduz-se a imprescindibilidade da alocação adequada de recursos de saúde, especialmente em áreas com menores investimentos, para reduzir a mortalidade. Para isso, é necessário a criação ou intensificação de programas e políticas

públicas focadas em melhorar o acesso a serviços de qualidade, pois estes demonstraram ser essenciais para salvar vidas durante pandemias semelhantes à da COVID-19.

Além do investimento direto em saúde, o Índice de Gini, que mede a desigualdade de renda, é um fator importante no grupo de óbitos, mas não aparece no grupo de casos. Isso sugere que a desigualdade econômica tem um impacto mais direto na mortalidade por COVID-19. Esse fator pode ser explicado pelo fato de que lugares com maior desigualdade tendem a ter populações mais vulneráveis, que podem ter menos acesso a saúde de qualidade.

Assim, o foco em políticas que busquem diminuir a desigualdade de renda e melhorem as condições de vida das populações mais vulneráveis podem ter um impacto significativo na redução da mortalidade durante pandemias.

Outro fator que se destacou apenas no modelo cujas variáveis estavam mais intimamente ligadas aos óbitos foi o que se denominou como Acesso a Serviços de Saúde. O percentual de nascidos vivos com pelo menos sete consultas de pré-natal é um fator significativo no grupo de óbitos, refletindo a importância da acessibilidade a serviços de saúde. Essa variável reflete a dificuldade de acesso aos exames de pré-natal, principalmente nas redes públicas, cuja demora impossibilitam o acompanhamento à contento do desenvolvimento do feto. Essa variável pode, nesse caso, demonstrar a dificuldade de acesso da população ao SUS.

Aliado à saúde da mulher e ao acesso aos serviços de saúde, está o fator ligado à população idosa. Embora ambos os modelos incluam variáveis relacionadas à vacinação de idosos, o grupo de óbitos tem um fator adicional que inclui a taxa de envelhecimento, indicando uma relação mais forte entre a idade da população e a mortalidade.

Em razão desses resultados, o acesso a serviços de saúde de qualidade durante a vida, incluindo cuidados pré-natais e de saúde do idoso, é um indicador importante da resiliência de uma população. Populações com melhor acesso a cuidados preventivos tendem a ter melhores resultados de saúde, incluindo menores taxas de mortalidade por COVID-19.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatores que explicam a variância dos casos e dos óbitos por COVID-19 têm muitas similitudes, principalmente no que diz respeito à qualidade de vida da população e às características demográficas e econômicas. Estudar a variância dos casos e óbitos por covid-19 unicamente a partir de dados secundários gratuitos é capaz de explicar, respectivamente 73% e 75%.

Esse resultado ressalta a importância da disponibilidade das variáveis para todos os municípios e em diversas escalas. Todavia, é importante ressaltar que 27% e 25% da variância, respectivamente, só poderia explicado por estudos direcionados, portanto, estudos secundários, embora sejam suficientes como estudos de base ou exploratórios, não substituem por completo os estudos primários.

Acerca dos resultados da ACP, a importância da qualidade de vida e dos fatores sociodemográficos somados explicam, respectivamente, 65,4% e 47,9% da variância total das variáveis relacionadas a casos e óbitos.

Esses resultados ratificam a importância desses fatores e ensejam intervenções para melhorar a qualidade de vida, incluindo educação, renda e infraestrutura básica da população do estado, pois essas variáveis podem reduzir tanto a incidência quanto a mortalidade de doenças de caráter similar à COVID-19. Políticas públicas que focam na melhoria das condições socioeconômicas e sanitárias são essenciais para mitigar os impactos de pandemias futuras.

Além disso, políticas públicas que facilitem o acesso e garantam a qualidade dos serviços de saúde para toda a população, somadas às políticas voltadas à saúde do idoso, podem interferir diretamente no número de óbitos de uma pandemia cujas características se aproximem do que foi a pandemia de COVID-19.

Esses resultados fomentam investigações mais específicas sobre o acesso e a qualidade do atendimento em saúde para os municípios de Minas Gerais, bem como suas correlações mais específicas a fatores individuais, como presença de comorbidades, aos casos, internações e óbitos por COVID-19.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. V. de et al. Desigualdades regionais na saúde: mudanças observadas no Brasil de 2000 a 2016. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 4, p. 1055–1064, abr. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232017224.26862016>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- ALMEIDA-FILHO, N. de. Sindemia, infodemia, pandemia de COVID-19: Hacia una pandemiología de enfermedades emergentes. *Salud Colectiva*, v. 17, e3748, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18294/sc.2021.3748>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BARBOSA, T. P. et al. Morbimortalidade por COVID-19 associada a condições crônicas, serviços de saúde e iniquidades: evidências de sindemia. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 46, e6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.6>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- BISPO, J. P.; SANTOS, D. B. dos. COVID-19 como sindemia: modelo teórico e fundamentos para a abordagem abrangente em saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 37, n. 10, e00119021, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00119021>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BOUSQUAT, A. et al. Different remote realities: health and the use of territory in Brazilian rural municipalities. *Revista de Saúde Pública*, v. 56, 73, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056003914>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BOTELHO, F. C.; FRANÇA JÚNIOR, I. Como a atenção primária à saúde pode fortalecer a alimentação adequada enquanto direito na América Latina? *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 42, e159, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.159>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde – CNES. Recursos Físicos. 2023. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/cnes-recursos-fisicos>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- DANTAS, M. N. P. et al. Fatores associados ao acesso precário aos serviços de saúde no Brasil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 24, e210004, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-549720210004>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- FÁVERO, L. P. et al. Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- FLECK, M. P. A.; BOURDEL, M. C. Método de simulação e escolha de fatores na análise dos principais componentes. *Revista de Saúde Pública*, v. 32, n. 3, p. 267–272, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89101998000300010>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Produto Interno Bruto dos Municípios 2021. Informativo FJP: Contas Regionais, v. 5, n. 14, 15 dez. 2023. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1lSIWzleV-dbmWDncg9s3OBKCKHvfRzL1/view>. Acesso em: 13 jun. 2024.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Multivariate data analysis with readings. 2. ed. New York: Macmillan; London: Collier Macmillan, 1987.

HAIR, J. et al. Multivariate data analysis. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V.; JÚNIOR, G. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. *E&S Engineering and Science*, v. 5, p. 83, 2016. <https://doi.org/10.18607/ES201653398>

HORTON, R. Offline: COVID-19 is not a pandemic. *The Lancet*, v. 396, p. 874, 2020. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD: características gerais dos domicílios e dos moradores 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6407>. Acesso em: 13 jun. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2022: população por idade e sexo: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. ISSN 0104-3145.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Produto interno bruto a preços correntes [...] 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em: 13 jun. 2024.

KAISER, H. F.; RICE, J. Little Jiffy, Mark IV. *Educational and Psychological Measurement*, v. 34, n. 1, p. 111–117, 1974. <https://doi.org/10.1177/001316447403400115>

LIMA, J. G. et al. Barreiras de acesso à Atenção Primária à Saúde em municípios rurais remotos do Oeste do Pará. *Trabalho, Educação e Saúde*, v. 20, e00616190, 2022. <https://doi.org/10.1590/1981-7746-ojs616>

MADUREIRA, K. G.; BARSAGLINI, R. O quilombo Mata Cavalo/Brasil e a sindemia da COVID-19: o racismo e o direito de (r)existir em questão. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 29, n. 3, e08322023, 2024. <https://doi.org/10.1590/1413-81232024293.08322023>

MUKAKA, M. M. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, v. 24, n. 3, p. 69–71, 2012.

ONU. Organização das Nações Unidas. Committee on Economic, Social and Cultural Rights (CESCR/UN). General Comment no 14: The Right to the Highest Attainable Standard of Health. Genebra: United Nations, 2000. Disponível em: <http://www.refworld.org/pdfid/4538838d0.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

PALLANT, J. SPSS Survival Manual. Maidenhead: Open University Press, 2007.

PAVÃO, A. L. B. et al. Uso de serviços de saúde segundo posição socioeconômica em trabalhadores de uma universidade pública. *Revista de Saúde Pública*, v. 46, n. 1, p. 98–103, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102012005000002>

RICHARDSON, S. et al. Presenting Characteristics, Comorbidities, and Outcomes Among 5700 Patients Hospitalized With COVID-19 in the New York City Area. *JAMA*, v. 323, n. 20, p. 2052–2059, 2020. DOI: 10.1001/jama.2020.6775.

ROUQUAYROL, M. Z. *Epidemiologia e Saúde*. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora MedBook, 2023. ISBN 8583690294.

SINGER, M. *Introduction to Syndemics: A Critical Systems Approach to Public and Community Health*. Wiley. 2009.

ZHOU, F. et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet*, v. 395, n. 10229, p. 1054–1062, 2020.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pandemia de COVID-19 representou um dos maiores desafios globais da história recente, evidenciando desigualdades estruturais e fragilidades dos sistemas de saúde, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil. No contexto de Minas Gerais, esta pesquisa demonstrou que fatores como infraestrutura de saúde, distribuição geográfica de leitos hospitalares, disponibilidade de profissionais de saúde e desigualdades socioeconômicas foram determinantes na dinâmica da pandemia. A análise espacial e estatística realizada permitiu identificar padrões de incidência, internações e óbitos, fornecendo subsídios para a formulação de políticas públicas mais eficazes.

Os resultados apontaram que a distribuição desigual da infraestrutura hospitalar e da atenção básica à saúde exerceu impacto significativo sobre os índices de morbimortalidade. Regiões com menor acesso a serviços de saúde apresentaram taxas elevadas de óbitos e internações, indicando uma relação direta entre vulnerabilidade estrutural e impacto da pandemia. Além disso, a modelagem espacial revelou padrões de aglomeração de casos em determinados municípios, sugerindo que fatores socioeconômicos e de infraestrutura foram determinantes na propagação do vírus.

Outro ponto central da pesquisa foi a análise da imunização, que mostrou efeitos positivos na redução de casos graves e óbitos. No entanto, a desigualdade na cobertura vacinal entre os municípios reforçou a necessidade de estratégias mais eficazes para garantir acesso equitativo às vacinas. A resistência à vacinação em algumas regiões e os desafios logísticos de distribuição também foram fatores que impactaram a resposta à pandemia.

A pesquisa também contribuiu para a compreensão dos determinantes sociais da saúde, demonstrando que populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica sofreram com maior incidência e letalidade da COVID-19. A falta de saneamento básico, condições precárias de moradia e dificuldades de acesso aos serviços de saúde foram fatores cruciais na intensificação da crise sanitária em Minas Gerais.

Diante desses achados, ressalta-se a importância de investimentos sustentáveis em infraestrutura de saúde, especialmente nas regiões mais vulneráveis. O fortalecimento da atenção básica, ampliação da capacidade hospitalar e melhoria na distribuição de profissionais de saúde são medidas fundamentais para mitigar impactos de futuras crises sanitárias. Além disso, a necessidade de políticas públicas que abordem desigualdades socioeconômicas e

garantam acesso universal e equitativo aos serviços de saúde se mostra essencial para a construção de um sistema de saúde mais resiliente e preparado para futuras emergências.

Por fim, esta pesquisa reforça a relevância da análise espacial e da modelagem epidemiológica como ferramentas essenciais para o monitoramento e a tomada de decisão em saúde pública. O conhecimento gerado pode ser aplicado para aprimorar a gestão da saúde em Minas Gerais e servir de base para estudos futuros que busquem aprofundar a relação entre infraestrutura de saúde, fatores socioeconômicos e desfechos epidemiológicos. O aprendizado obtido com a pandemia deve ser utilizado para fortalecer as políticas de saúde pública e garantir uma resposta mais eficiente e equitativa diante de novos desafios sanitários globais.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, K. et al. Association of poor housing conditions with COVID-19 incidence and mortality across US counties. *PLoS One*, v. 15, e0241327, 2020.
- ALMEIDA FILHO, N. M. Transdisciplinariedade e saúde coletiva. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 2, n. 1/2, p. 5-20, 1997.
- ANDRADE, A. L. et al. *Introdução à estatística espacial para a saúde pública*. 2007.
- ANSELIN, L. *Spatial econometrics: methods and models*. v. 4. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 1988.
- ANSELIN, L. et al. GeoDa: an introduction to spatial data analysis. *Geographical Analysis*, v. 38, n. 1, p. 5-22, 2006.
- ARENTZ, M. et al. Characteristics and outcomes of 21 critically ill patients with COVID-19 in Washington State. *JAMA*, v. 323, p. 1612, 2020.
- BACHELARD, G. *O novo espírito científico*. Lisboa: Edições 70, 1986.
- BARBOSA, T. P. et al. Morbimortalidade por COVID-19 associada a condições crônicas, serviços de saúde e iniquidades: evidências de sindemia. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 46, e6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.6>. Acesso em: 3 jun. 2024.
- BEDOYA-SOMMERKAMP, M. et al. Variantes del SARS-CoV-2: epidemiología, fisiopatología y la importancia de las vacunas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, v. 38, n. 3, p. 442-451, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2021.383.8734>. Acesso em: 3 jun. 2024.
- BEZERRA, É. C. D. et al. Análise espacial das condições de enfrentamento à COVID-19: uma proposta de Índice da Infraestrutura da Saúde do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. 12, p. 4957–4967, dez. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Programa Nacional de Imunizações - 30 anos*. Brasília: Ministério da Saúde, 2003.
- BRASIL. Ministério da Saúde. PORTARIA Nº 2.499, DE 23 DE SETEMBRO DE 2019. Altera a Portaria de Consolidação nº 1, de 28 de setembro de 2017. Brasília: MS, 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria Nº 188, de 3 de fevereiro de 2020*. Declara Emergência em Saúde Pública de importância Nacional (ESPIN) em decorrência da Infecção Humana pelo novo Coronavírus (2019-nCoV). Brasília: MS, 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Segundo informe técnico - Plano nacional de operacionalização da vacinação contra a COVID-19*. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, jan. 2021a.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Plano nacional de operacionalização da vacinação contra a COVID-19*. 5. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2021b.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Plano nacional de operacionalização da vacinação contra a COVID-19*. 12. ed. Brasília: Ministério da Saúde, jan. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS – DATASUS. *Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde – CNES*, 03 jun. 2024. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/cnes-estabelecimentos>. Acesso em: 3 jun. 2024.

BREILH, J. La determinación social de la salud como herramienta de transformación hacia una nueva salud pública (salud colectiva). *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, v. 31, supl. 1, p. S13-S27, 2013.

CARD, K. G. et al. Predictors of COVID-19 testing rates: A cross-country comparison. *International Journal of Infectious Diseases*, 2021.

CARRAPATO, J. F. L. et al. Percepções dos profissionais de saúde da atenção primária sobre qualidade no processo de trabalho. *Saúde e Sociedade*, v. 27, n. 2, p. 518-530, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902018170012>. Acesso em: 3 jun. 2024.

CASANOVA, M. et al. *Banco de Dados Geográficos*. Curitiba: MundoGEO, 2005.

CHÁVEZ-ALMAZÁN, L. A. et al. Socioeconomic determinants of health and COVID-19 in Mexico. *Gaceta Médica de México*, v. 158, n. 1, p. 3-10, 2022.

CHEN, N. et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *The Lancet*, v. 395, n. 10223, p. 507-513, 2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30211-7.

CHINAZZI, M. et al. The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak. *Science*, v. 368, n. 6489, p. 395-400, 24 abr. 2020. DOI: 10.1126/science.aba9757.

CESTARI, V. R. F. et al. Vulnerabilidade social e incidência de COVID-19 em uma metrópole brasileira. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 26, n. 3, p. 1023-1033, 2021.

CORDEIRO, H. Descentralização, universalidade e equidade nas reformas da saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 6, n. 2, p. 319-328, 2001.

DAVIS JUNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. Extensões ao modelo omt-g para produção de esquemas dinâmicos e de apresentação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 2., 2000, São Paulo. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2000. p. 29-36. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/83LX3pFwXQZ4BFjAq/mEpbj>. Acesso em: 3 jun. 2024.

DEMENECH, L. M. et al. Desigualdade econômica e risco de infecção e morte por COVID-19 no Brasil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 23, e200095, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-549720200095>. Acesso em: 3 jun. 2024.

DYER, O. COVID-19: Unvaccinated face 11 times risk of death from delta variant, CDC data show. *BMJ*, n. 2282, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136%2Fbmj.n2282>. Acesso em: 3 jun. 2024.

EARNEST, R. et al. Comparative transmissibility of SARS-CoV-2 variants Delta and Alpha in New England, USA. *Cold Spring Harbor Laboratory*, 2021.

ELLIOT, J. et al. Predictive symptoms for COVID-19 in the community: REACT-1 study of over 1 million people. *PLOS Medicine*, 28 set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003777>. Acesso em: 3 jun. 2024.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. *Fundamentals of Database Systems*. Pearson Education, 2004.

FACCHINI, L. A. et al. Qualidade da Atenção Primária à Saúde no Brasil: avanços, desafios e perspectivas. *Saúde em Debate*, v. 42, n. spe1, p. 208-223, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042018S114>.

FARIAS, L. O.; MELAMED, C. Segmentação de mercados da assistência à saúde no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 8, p. 585-598, 2003.

FAUSTO, M. C. R. et al. O futuro da atenção primária à saúde no Brasil. *Saúde em Debate*, v. 42, p. 12-14, 2018.

FIGUEIREDO, A. M. et al. Social determinants of health and COVID-19 infection in Brazil: an analysis of the pandemic. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 73, n. 2, e20200673, 2020.

FÖLDI, M. et al. Obesity is a risk factor for developing critical condition in COVID-19 patients: a systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, v. 21, n. 10, e13095, out. 2020. DOI: 10.1111/obr.13095.

FREITAS, A. R. R. et al. The emergence of novel SARS-CoV-2 variant P.1 in Amazonas (Brazil) was temporally associated with a change in the age and sex profile of COVID-19 mortality: a population-based ecological study. *The Lancet Regional Health - Americas*, 2021.

FUJINO, T. et al. Novel SARS-CoV-2 Variant in Travelers from Brazil to Japan. *Emerging Infectious Diseases*, v. 27, n. 4, p. 1243-1245, abr. 2021. DOI: 10.3201/eid2704.210138.

GILES, B. et al. The SARS-CoV-2 B.1.1.7 variant and increased clinical severity: the jury is out. *The Lancet Infectious Diseases*, 2021. DOI: 10.1016/s1473-3099(21)00356-x.

GUAN, W. et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *The New England Journal of Medicine*, v. 382, p. 1708-1720, 2020.

GUERRA, M. Modelo de alocação de recursos do sistema único de saúde para organizações hospitalares: serviços de alta complexidade. 2013. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

GUIMARÃES, R. M. et al. Estratificação de risco para predição de disseminação e gravidade da COVID-19 no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 37, e0122, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20947/S0102-3098a0122>.

GUO, Z. D. et al. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 2020. DOI: 10.3201/eid2607.200885.

HALE, T. et al. Variation in government responses to COVID-19. *BSG Working Paper Series*, v. 14.1, Oxford, 2022.

HIROTSU, Y.; OMATA, M. Discovery of a SARS-CoV-2 variant 1 from the P.1 lineage harboring K417T/E484K/N501Y mutations in Kofu, Japan. *Journal of Infection*, 2021. DOI: 10.1016/j.jinf.2021.03.013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022. População residente, por cor ou raça. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9605#resultado>. Acesso em: 08 jun. 2025.

ISER, B. P. M. et al. Definição de caso suspeito da COVID-19: uma revisão narrativa dos sinais e sintomas mais frequentes entre os casos confirmados. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 29, n. 3, e2020233, 2020. DOI: 10.5123/S1679-49742020000300018.

JABŁOŃSKA, K. et al. On the association between SARS-CoV-2 variants and COVID-19 mortality during the second wave of the pandemic in Europe. *Journal of Market Access & Health Policy*, v. 9, n. 1, p. 2002008, 2021. DOI: 10.1080/20016689.2021.2002008.

JIE, L. I. et al. Epidemiology of COVID-19: a systematic review and meta-analysis of clinical characteristics, risk factors, and outcomes. *Journal of Medical Virology*, v. 93, n. 3, p. 1449-1458, 2021.

KHALATBARI-SOLTANI, S. et al. Importance of collecting data on socioeconomic determinants from the early stage of the COVID-19 outbreak onwards. *Journal of Epidemiology and Community Health*, v. 74, n. 8, p. 620-623, 2020. DOI: 10.1136/jech-2020-214297.

KIRBY, T. Evidence mounts on the disproportionate effect of COVID-19 on ethnic minorities. *The Lancet Respiratory Medicine*, v. 8, n. 6, p. 547–548, 2020.

LE GALLO, J.; ERTUR, C. Exploratory spatial data analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe, 1980–1995. *Papers in Regional Science*, 2003.

LI, R. et al. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science*, v. 368, n. 6490, p. 489-493, 1 maio 2020. DOI: 10.1126/science.abb3221.

LIMA, J. G. et al. Atributos essenciais da atenção primária à saúde: resultados nacionais do PMAQ-AB. *Saúde em Debate*, v. 42, p. 52–66, 2018.

LU, R. et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *The Lancet*, v. 395, p. 565-574, 2020.

MACIEL, E. L. et al. Fatores associados ao óbito hospitalar por COVID-19 no Espírito Santo, 2020. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 29, n. 4, p. e2020413, 2020.

MACKEY, K. et al. Racial and ethnic disparities in COVID-19 – related infections, hospitalizations, and deaths. *Annals of Internal Medicine*, v. 174, n. 3, p. 362-373, 2021.

MAGALHÃES, G. B. O uso do geoprocessamento e da estatística nos estudos ecológicos em epidemiologia: o caso da dengue em 2008 na Região Metropolitana de Fortaleza. *Hygeia*, v. 8, n. 15, p. 63-77, 2012.

MARMOT, M. et al. Health Equity in England: The Marmot Review 10 Years On. London: Institute of Health Equity, 2020. Disponível em: <https://www.health.org.uk/publications/reports/the-marmot-review-10-years-on>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MARTINS, M. Qualidade do cuidado de saúde. In: SOUSA, P.; MENDES, W. (org.). *Segurança do paciente: conhecendo os riscos nas organizações de saúde* [online]. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2019. p. 27-40. ISBN 978-85-7541-641-9. DOI: 10.7476/9788575416419.0004.

MARTINS, A. M. F. et al. A saúde da pessoa idosa no contexto da pandemia do coronavírus: considerações para a enfermagem. *Revista do Centro-Oeste Mineiro*, v. 10, e3789, 2020.

MASCARELLO, K. C. et al. Hospitalização e morte por COVID-19 e sua relação com determinantes sociais da saúde e morbidades no Espírito Santo: um estudo transversal. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 30, n. 3, e2020919, 2021.

MASSIMO, F. et al. Effectiveness of mRNA vaccines and waning of protection against SARS-CoV-2 infection and severe COVID-19 during predominant circulation of the delta variant in Italy: retrospective cohort study. *BMJ*, v. 376, p. e069052, 2022. DOI: 10.1136/bmj-2021-069052.

MENDONÇA, F. D. et al. Região Norte do Brasil e a pandemia de COVID-19: análise socioeconômica e epidemiológica. *Journal Health NPEPS*, v. 5, n. 1, p. 20–37, 2020.

MEO, S. A. et al. Omicron SARS-CoV-2 new variant: global prevalence and biological and clinical characteristics. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, v. 25, n. 24, p. 8012–8018, 2021. DOI: 10.26355/eurrev_202112_27652.

MICLOS, P. M. et al. Avaliação do desempenho das ações e resultados em saúde da atenção básica. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, p. 86, 2017.

MINAYO, M. C. S.; FREIRE, N. P. Pandemia exacerbada desigualdades na Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, maio, 2020.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Saúde. Decreto nº 47.844, de 17 de janeiro de 2020. Belo Horizonte, 2020.

MLCOCHOVA, P. et al. SARS-CoV-2 B.1.617.2 Delta variant replication and immune evasion. *Nature*, v. 599, n. 7883, p. 114–119, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03944-y>.

- NONAKA, C. K. V. et al. SARS-CoV-2 variant of concern P.1 (Gamma) infection in young and middle-aged patients admitted to the intensive care units of a single hospital in Salvador, Northeast Brazil, February 2021. *International Journal of Infectious Diseases*, v. 111, p. 47–54, 2021. DOI: 10.1016/j.ijid.2021.08.003.
- NORONHA, K. V. M. DE S. et al. Pandemia por COVID-19 no Brasil: análise da demanda e da oferta de leitos hospitalares e equipamentos de ventilação assistida segundo diferentes cenários. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n. 6, p. e00115320, 2020.
- OCDE. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Disponibilidade de leitos por 1.000 habitantes: dados de 2018–2022 [Internet]. Disponível em: <https://data.oecd.org/healthqt/hospital-beds.htm>. Acesso em: 16 maio 2023.
- OLIVEIRA, M. H. S. et al. Sudden rise in COVID-19 case fatality among young and middle-aged adults in the south of Brazil after identification of the novel B.1.1.28.1 (P.1) SARS-CoV-2 strain: analysis of data from the state of Paraná. *Cold Spring Harbor Laboratory*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1101/2021.03.24.21254046>.
- OMS. Organização Mundial da Saúde. *Novel coronavirus: China*. 2020. Disponível em: <http://www.who.int/csr/don/12-january-2020-novel-coronavirus-china/en/>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- OMS. Organização Mundial da Saúde. *Strategy to Achieve Global COVID-19 Vaccination by mid-2022*. Genebra: World Health Organization, 2021.
- OMS. Organização Mundial da Saúde. *World Health Organization. June Bulletin. Bulletin of the World Health Organization*, v. 101, n. 6, p. 361, 2023. DOI: 10.2471/BLT.23.000623.
- ONG, S. W. X. et al. Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient. *JAMA*, v. 323, n. 16, p. 1610–1612, 2020. DOI: 10.1001/jama.2020.3227.
- ONU. Organização das Nações Unidas. *World Population Prospects: The 2024 Revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2024. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>.
- OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. *160ª sessão do Comitê Executivo – Tema 7.8-f da agenda provisória: plano de ação para imunização: revisão intermediária*. Washington, D.C., 2017.
- PAINTSIL, E. et al. A continent-wide effort and solidarity at curbing COVID-19 pandemic: the Africa task force for novel coronavirus (AFTCOR) infection prevention and control technical working group's experience. *BMC Public Health*, v. 23, n. 1, p. 893, 2023. DOI: 10.1186/s12889-023-15706-8.
- PASSOS, V. M. A. et al. Higher mortality during COVID-19 pandemic in socially vulnerable areas in Belo Horizonte: implications for vaccination priority. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 24, p. E210025, 2021.

PEREIRA, M. D. et al. Aspectos epidemiológicos, clínicos e terapêuticos da COVID-19 / Epidemiological, clinical and therapeutic aspects of COVID-19. *Journal of Health and Biological Sciences*, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2020.

PEREIRA, A.; CRUZ, K. A. T.; LIMA, P. S. Principais aspectos do novo coronavírus SARS-CoV-2: uma ampla revisão. *Arquivos do Mudi*, v. 25, n. 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4025/arqmudi.v25i1.55455>.

PLANAS, D. et al. Sensitivity of infectious SARS-CoV-2 B.1.1.7 and B.1.351 variants to neutralizing antibodies. *Nature Medicine*, v. 27, n. 5, p. 917–924, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01318-5>.

RACHE, B. et al. Necessidades de infraestrutura do SUS em preparo ao COVID-19: leitos de UTI, respiradores e ocupação hospitalar. *Observatório de Política e Gestão Hospitalar*, 2020.

REYES, L. F. et al. Clinical characteristics, risk factors and outcomes in patients with severe COVID-19 registered in the International Severe Acute Respiratory and Emerging Infection Consortium WHO clinical characterisation protocol. *ERJ Open Research*, v. 8, p. 00552, 2022. DOI: 10.1183/23120541.00552-2021.

RICHARDSON, S. et al. Presenting Characteristics, Comorbidities, and Outcomes Among 5700 Patients Hospitalized With COVID-19 in the New York City Area. *JAMA*, v. 323, n. 20, p. 2052–2059, 2020. DOI: 10.1001/jama.2020.6775.

RODRIGUES, W. et al. Social, Economic, and Regional Determinants of Mortality in Hospitalized Patients With COVID-19 in Brazil. *Frontiers in Public Health*, v. 10, p. 856137, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.856137>.

ROVIDA, F. et al. SARS-CoV-2 vaccine breakthrough infections with the alpha variant are asymptomatic or mildly symptomatic among health care workers. *Nature Communications*, v. 12, n. 6032, 2021.

SALVY, S. J. et al. How useful are body mass index and history of diabetes in COVID-19 risk stratification? *PLoS ONE*, v. 17, n. 4, p. e0265473, 2022. DOI: 10.1371/journal.pone.0265473.

SANTOS, A. et al. Aplicações de Estimadores Bayesianos Empíricos para Análise Espacial de Taxas de Mortalidade. In: *GeoInfo*, 2005.

SARKAR, C. et al. Potential therapeutic options for COVID-19: current status, challenges, and future perspectives. *Frontiers in Pharmacology*, v. 11, p. 572870, 2020.

SCHEFFER, M. et al. *Demografia médica no Brasil 2020*. São Paulo: FMUSP, CFM, 2020.

SINGH, D.; YI, S. V. On the origin and evolution of SARS-CoV-2. *Experimental & Molecular Medicine*, v. 53, p. 537–547, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s12276-021-00604-z>.

SILVA, N. M. et al. Promoção da saúde no Brasil na pandemia por COVID-19: concepções e práticas em atenção básica. *Saúde Coletiva (Barueri)*, v. 10, n. 58, p. 4021–4030, 2020.

SNELL, L. B. et al. First and second SARS-CoV-2 waves in inner London: a comparison of admission characteristics and the impact of the B.1.1.7 variant. *medRxiv*, 2021.

SOUSA, A. et al. Reducing inequities in neonatal mortality through adequate supply of health workers: evidence from newborn health in Brazil. *PLoS ONE*, v. 8, n. 9, p. e74772, 2013.

SOUSA, G. J. B. et al. Mortality and survival of COVID-19. *Epidemiology & Infection*, v. 148, p. E123, 2020. DOI: 10.1017/S0950268820001405.

SRAVANI, S. Impact of Social Determinants of Health on the Emerging COVID-19 Pandemic in the United States. *Frontiers in Public Health*, v. 8, 2020.

TWOHIG, K. A. et al. Hospital admission and emergency care attendance risk for SARS-CoV-2 delta (B.1.617.2) compared with alpha (B.1.1.7) variants of concern: a cohort study. *The Lancet Infectious Diseases*, v. 3099, n. 21, p. 00475-8, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(21\)00475-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00475-8).

UZUNIAN, A. Coronavírus SARS-CoV-2 e COVID-19. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*, v. 56, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1676-2444.20200053>.

VAHIDY, F. S. et al. Racial and ethnic disparities in SARS-CoV-2 pandemic: analysis of a COVID-19 observational registry for a diverse US metropolitan population. *BMJ Open*, v. 10, n. 8, p. e039849, 2020. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-039849.

VASIREDDY, D. et al. Review of COVID-19 Variants and COVID-19 Vaccine Efficacy: What the Clinician Should Know? *Journal of Clinical Medicine Research*, v. 13, n. 6, p. 317–325, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14740/jocmr4518>.

VELAVAN, T. P.; MEYER, C. G. The COVID-19 epidemic. *Tropical Medicine & International Health*, v. 25, n. 3, p. 278–280, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/tmi.13383>.

VILLOUTREIX, B. O. et al. In silico investigation of the new UK (B.1.1.7) and South African (501Y.V2) SARS-CoV-2 variants with a focus at the ACE2–spike RBD interface. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, p. 1695, 2021.

WALDMAN, A. et al. Are hospitals near me ready for coronavirus? Here are nine different scenarios. *ProPublica*, 2020.

YANCY, C. W. COVID-19 and African Americans. *JAMA*, v. 323, n. 19, p. 1891–1892, 2020. DOI: 10.1001/jama.2020.6548.

YANG, J. et al. Prevalence of comorbidities and its effects in patients infected with SARS-CoV-2: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, v. 94, p. 91–95, 2020.

YOUNG, B. E. et al. Epidemiologic features and clinical course of patients infected with SARS-CoV-2 in Singapore. *JAMA*, v. 323, n. 15, p. 1488–1494, 2020.

ZHANG, T. et al. A model to estimate bed demand for COVID-19 related hospitalization. *medRxiv*, 2020.

ZHOU, F. et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet*, v. 395, n. 10229, p. 1054–1062, 2020.

ZHU, N. et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *The New England Journal of Medicine*, v. 382, n. 8, p. 727–733, 2020.