

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

HELENA PATO MAGALHÃES

MONOGRAFIA DE PROJETO ORIENTADO EM COMPUTAÇÃO II
MAPEAMENTO DA DESIGUALDADE NA VACINAÇÃO CONTRA COVID-19

Belo Horizonte
2021/2º semestre

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

**MAPEAMENTO DA DESIGUALDADE NA
VACINAÇÃO CONTRA COVID-19**

por

HELENA PATO MAGALHÃES

Monografia de Projeto Orientado em Computação II

Apresentado como requisito da disciplina de Projeto Orientado em
Computação II do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da
UFMG

Prof. Dr. Flávio Vinícius Diniz de Figueiredo
Orientador

Belo Horizonte
2021/2º semestre

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar a relação entre o aspecto socioeconômico e a situação de vacinação contra a doença COVID-19 dos habitantes do estado de Minas Gerais, e de sua capital, Belo Horizonte. Para isso, coletamos dados disponíveis publicamente, relacionados aos tópicos citados, e utilizamos técnicas de ciência dos dados para relacioná-los e analisá-los. Nossa expectativa é comprovar que a política de vacinação é desigual, de forma a favorecer pessoas de renda alta, e não priorizar os mais afetados pela doença. Como resultado deste estudo geramos mapas ilustrativos da situação socioeconômica da população, e da distribuição de vacinados em Belo Horizonte e Minas Gerais, além de diversos gráficos que caracterizam a vacinação nas duas regiões.

Palavras-chave: Belo Horizonte; Mapa; Vacinação; COVID-19; Desigualdade; Minas Gerais

ABSTRACT

This work aims to investigate the relation between the socioeconomic characteristics and the vaccination against the COVID-19 disease in the state of Minas Gerais and its capital Belo Horizonte. For that, we collected publicly available data related to these topics and used data science techniques to relate and analyze them. Our expectation is to prove that the vaccination policy is unequal, in a way that favors high income people, and doesn't prioritize the most afflicted by the disease. As results of this study, we produced maps illustrating the population's socioeconomic situation, maps of the vaccinated people distribution in Belo Horizonte and Minas Gerais, and various graphics that characterize the vaccination process in both regions.

Keywords: Belo Horizonte; Map; Vaccination; COVID-19; Inequality; Minas Gerais

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPAS APRESENTADOS NO ESTUDO DO LABCIDADE	7
FIGURA 2: CDF DO NÚMERO DE CEPs POR COORDENADA	13
FIGURA 3: GRÁFICOS DA EVOLUÇÃO DO PERCENTUAL DE VACINADOS EM MG (FIOCRUZ, 2022).....	15
FIGURA 4: NÚMERO DE VACINADOS EM MG POR SEXO E POR ETNIA	16
FIGURA 5: NÚMERO DE VACINADOS EM MG POR FAIXA ETÁRIA	13
FIGURA 6: NÚMERO DE VACINADOS EM MG, MENORES DE 60 ANOS, POR GRUPO DE VACINAÇÃO.....	13
FIGURA 7: NÚMERO DE VACINADOS EM MG POR GRUPO DE VACINAÇÃO.....	14
FIGURA 8: NÚMERO DE VACINADOS EM BH POR SEXO E POR ETNIA	14
FIGURA 9: NÚMERO DE VACINADOS EM BH POR FAIXA ETÁRIA	13
FIGURA 10: NÚMERO DE VACINADOS EM BH POR GRUPO DE VACINAÇÃO.....	13
FIGURA 11: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE RENDA E VACINADOS NOS MUNICÍPIOS DE MG.....	14
FIGURA 12: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE RENDA E VACINADOS NOS SETORES DE BH	15
FIGURA 13: CORRELAÇÃO ENTRE RENDA E PORCENTAGEM DE.....	16
FIGURA 14: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VACINADOS E RENDA NA 14ª SEMANA EPIDEMIOLÓGICA	17
FIGURA 15: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VACINADOS E RENDA NA 29ª SEMANA EPIDEMIOLÓGICA	17
FIGURA 16: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VACINADOS E RENDA NA 40ª SEMANA EPIDEMIOLÓGICA	18
FIGURA 17: CORRELAÇÃO ENTRE PORCENTAGEM DE ÓBITOS TOTAIS E PORCENTAGEM DE	18
FIGURA 18: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VACINADOS E ÓBITOS NA 17ª SEMANA EPIDEMIOLÓGICA.....	19
FIGURA 19: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VACINADOS E ÓBITOS NA 23ª SEMANA EPIDEMIOLÓGICA.....	20
FIGURA 20: COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VACINADOS E ÓBITOS NA 29ª SEMANA EPIDEMIOLÓGICA.....	20
FIGURA 21: RESULTADOS DO ENCAIXE DO MODELO DE BASS EM BELO HORIZONTE	21
FIGURA 22: RESULTADOS DO ENCAIXE DO MODELO DE BASS EM UBERLÂNDIA	22
FIGURA 23: RESULTADOS DO ENCAIXE DO MODELO DE BASS EM MONTES CLAROS	22
FIGURA 24: RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES DE BASS E AS DEMAIS GRANDEZAS ESTUDADAS	23
FIGURA 25: RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES DO MODELO DE BASS	24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PARTE DO DICIONÁRIO DE DADOS DA BASE DA VACINAÇÃO CONTRA COVID-19 NO BRASIL.....	10
TABELA 2: DICIONÁRIO DE DADOS DA RENDA DOMICILIAR POR SETOR CENSITÁRIO	11

LISTA DE SIGLAS

API	Application Programming Interface
BH	Belo Horizonte
CDF	Cumulative Distribution Function
CEP	Código de Endereçamento Postal
MG	Minas Gerais
SRAG	Síndrome Respiratória Aguda Grave
UF	Unidade Federativa

SUMÁRIO

RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE SIGLAS	V
SUMÁRIO	6
1 INTRODUÇÃO	7
2 CONTEXTUALIZAÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO	8
3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	9
3.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL	10
3.2 MAPAS DE MINAS GERAIS	10
3.3 MAPAS DE BELO HORIZONTE	11
3.4 RELAÇÃO DA RENDA COM A VACINAÇÃO AO LONGO DO TEMPO	12
3.5 A VACINAÇÃO PRIORIZOU REGIÕES COM MAIS ÓBITOS?	14
3.6 ENCAIXANDO OS DADOS NO MODELO DE DIFUSÃO DE BASS	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 CARACTERIZAÇÃO DE MINAS GERAIS	16
4.2 CARACTERIZAÇÃO DE BELO HORIZONTE	14
4.3 MAPAS DE MINAS GERAIS	14
4.4 MAPAS DE BELO HORIZONTE	15
4.5 RELAÇÃO DA RENDA COM A VACINAÇÃO AO LONGO DO TEMPO	16
4.6 A VACINAÇÃO PRIORIZOU REGIÕES COM MAIS ÓBITOS?	18
4.7 ENCAIXANDO OS DADOS NO MODELO DE DIFUSÃO DE BASS	20
5 CONCLUSÕES	24
6 REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A vacinação contra COVID-19 se iniciou, no Brasil, no dia 17 de janeiro de 2021 (CRUZ, 2021) e prosseguiu de forma lenta durante seus primeiros meses (DIAS, 2021), seguindo a política estabelecida pelo Ministério da Saúde. Esse plano de vacinação opta por priorizar grupos como trabalhadores da saúde, visando manter o funcionamento desses serviços, e cidadãos com risco de agravamento da doença, como idosos e pessoas com comorbidades (PAGNO, 2021).

A utilização desses critérios pode tornar o processo de vacinação desigual, dado que vários dos grupos priorizados são compostos majoritariamente por habitantes de renda alta. Isso é o que constata um estudo do Labcidade (MARINO, 2021), referente à cidade de São Paulo. Os mapas da Figura 1 mostram claramente uma tendência oposta entre as vítimas de COVID-19 e os vacinados, sendo que as áreas mais afetadas pela doença são onde mora a população de baixa renda.

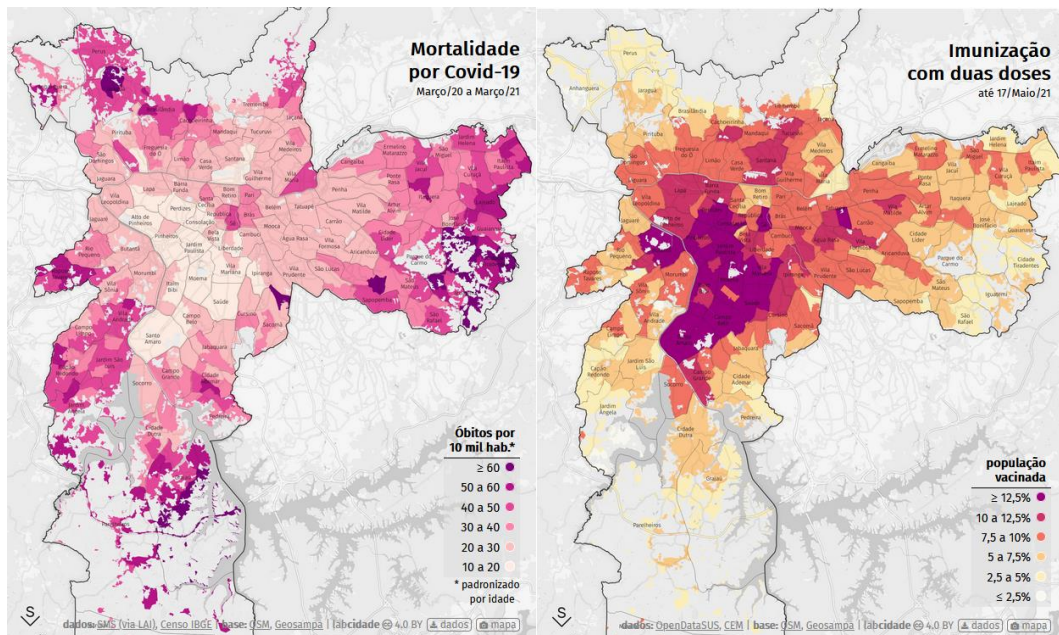


Figura 1: Mapas apresentados no estudo do Labcidade

Motivados por esses resultados, idealizamos uma investigação da relação entre certos indicadores socioeconômicos e a vacinação dos moradores do estado de Minas Gerais e de sua capital, Belo Horizonte. Para isso, objetivamos a criação de mapas, similares aos do Labcidade, que ilustrassem a distribuição de renda, vacinados e de óbitos causados pela doença nas regiões citadas. Utilizamos conjuntos de dados disponíveis publicamente e ferramentas de ciência dos dados para relacionar essas informações e interpretar os resultados obtidos.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

Identificado em dezembro de 2019, o vírus Sars-CoV-2, ou novo coronavírus, é o causador da doença COVID-19, responsável pela atual pandemia mundial. Pandemia é uma enfermidade epidêmica amplamente disseminada (UNIMED, 2021). Nesse contexto, populações de baixa renda tem uma maior chance de sofrer mais com essa doença, por causa de falta de acesso a condições básicas de higiene e a cuidados de saúde, além da predominância de empregos que impossibilitam o distanciamento social (Imperial College COVID-19 response team, 2020).

Para investigar essa situação, utilizamos ferramentas de ciência dos dados, área que pretende tirar conclusões úteis sobre dados grandes e diversos através de exploração, predição e inferência. Exploração envolve identificar padrões nas informações, enquanto predição requer o uso de dados conhecidos para fazer suposições sobre valores desconhecidos e, por fim, inferência deve quantificar o grau de certeza (ADHIKARI, 2020).

A principal ferramenta utilizada foi a linguagem de programação Python. Criada em 1989 por Guido van Rossum, é uma linguagem dinâmica, interpretada e majoritariamente imperativa. A plataforma utilizada para a manipulação dos dados foi o Jupyter Notebook, uma aplicação web de código aberto que permite a criação e compartilhamento de documentos contendo código, equações, visualizações e texto (Project Jupyter, 2021).

Dentre as bibliotecas de Python utilizadas está NumPy, fundamental para computação científica. Em seu núcleo está o objeto arranjo multidimensional, *ndarray*, e o acompanham diversas funções que podem ser aplicadas sobre ele de forma eficiente (NumPy, 2021). Também usamos a biblioteca Matplotlib, ideal para criar visualizações estáticas, dinâmicas e interativas em Python (Matplotlib, 2021).

Outro instrumento importante para nossas atividades foi o pacote Pandas, que é essencial para fazer análise de dados em alto nível usando Python. Seu principal componente é o objeto *DataFrame* que permite o manuseio de dados de forma eficiente e intuitiva (Pandas, 2021). Já o GeoPandas é um projeto de código aberto para manipulação de dados geoespaciais em Python. Ele estende os *datatypes* estabelecidos pelo Pandas para permitir operações espaciais em tipos geométricos (GeoPandas, 2021). Essa biblioteca foi usada na criação dos mapas.

Além de ferramentas da linguagem Python, foi utilizado o software Microsoft Excel para formatar os dados a serem analisados.

Para quantificar a correlação entre as grandezas analisadas, usamos o coeficiente de correlação de postos de Spearman, que é uma medida da dependência estatística entre a classificação de duas variáveis. Ele avalia com que intensidade a relação entre duas variáveis pode ser descrita pelo uso de uma função monótona. Seu valor é contido entre -1 e 1. Quando é próximo de 1, indica um posto similar entre as duas variáveis, e próximo de -1 indica que as observações têm um posto dissimilar entre as duas variáveis (WIKIPEDIA, 2021). A proximidade de 0 indica uma falta de correlação.

Ao fazer análises temporais dos dados de vacinação, optamos por dividir os registros nas semanas epidemiológicas de 2021, segundo o calendário do SINAN. Essa divisão é um consenso internacional que agrupa casos, óbitos e outros eventos epidemiológicos. Seu propósito é padronizar a variável tempo para fins de monitoramento epidemiológico.

Durante nossos estudos, utilizamos a função de distribuição acumulada (CDF, em inglês), que descreve a distribuição de probabilidade de uma variável aleatória X , dada por $F(x) = P(X \leq x)$. Assim, ela fornece a probabilidade de uma variável aleatória X assumir um valor igual ou menor do que x .

Posteriormente, escolhemos o Modelo de Difusão de Bass para fazer um encaixe nos dados. Esse modelo é usado para descrever o processo de adoção de novos produtos pela população. Ele explica como usuários atuais e potenciais interagem. Sua premissa básica é que novos clientes podem ser classificados como inovadores ou imitadores, e que a velocidade e o momento da adoção dependem dessas características (WIKIPEDIA, 2021).

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este projeto foi desenvolvido ao longo de dois semestres, durante as disciplinas de Projeto Orientado em Computação I e II. Os resultados do primeiro semestre motivaram as análises do segundo, mas serão explicados somente na seção 4 deste texto. Os estudos feitos em cada semestre foram divididos em três partes.

A primeira atividade do primeiro semestre foi a caracterização inicial dos dados da vacinação, tanto de Minas Gerais quanto de Belo Horizonte. A segunda foi a elaboração dos mapas da distribuição de vacinados e de renda no estado. Por fim, a última parte foi o desenho dos mesmos mapas referentes à capital.

No segundo semestre, estudamos a relação entre vacinação e renda ao longo do tempo. Depois, investigamos a hipótese de que a vacinação não teria priorizado regiões com mais óbitos por COVID-19. Por último, buscamos um modelo que explicasse os dados e nos permitisse chegar a conclusões interessantes.

3.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL

Primeiramente, no dia 3 de junho de 2021, obtivemos os dados da campanha de vacinação contra COVID-19 no Brasil, fornecidos pelo Ministério da Saúde, através do portal openDataSUS. Na Tabela 1, é mostrada parte do dicionário de dados da base, com os atributos que foram relevantes ao estudo.

Tabela 1: Parte do dicionário de dados da base da vacinação contra COVID-19 no Brasil

Campo	Descrição
documento_uuid	Identificador único do documento do vacinado
paciente_sexo_biologico	Sexo biológico do vacinado
paciente_etnia	Etnia do vacinado
paciente_unidade_federativa	Sigla da UF de endereço do vacinado
paciente_municipio	Nome do município de endereço do vacinado
paciente_cep	5 primeiros dígitos do CEP de endereço do vacinado
paciente_grupo	Nome do grupo de atendimento do vacinado
paciente_faixa_etaria	Faixa etária do vacinado
vacina_dataaplicacao	Data de aplicação da vacina

Usando a sigla da UF e o nome da cidade, separamos os dados referentes a Minas Gerais e a Belo Horizonte. Agregamos os dados pelos atributos sexo, etnia, grupo e faixa etária e contamos o número de vacinados usando o identificador único, então desenhamos gráficos, com a biblioteca Matplotlib. Todas as visualizações geradas serão mostradas na seção de resultados.

3.2 MAPAS DE MINAS GERAIS

Para gerar os mapas do estado, primeiramente agregamos os dados de MG por município, contando os identificadores únicos e obtendo o número de vacinados em Minas Gerais por cidade. Então, para a renda, buscamos os dados de renda média domiciliar per capita por município do estado, referentes ao censo demográfico do IBGE de 2010.

Baixamos os dados geográficos do estado, no site da Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais (IEDE) de Minas Gerais, para desenhar os mapas. Por fim, geramos os mapas de distribuição de renda e vacinados em Minas Gerais por município, usando a biblioteca GeoPandas.

Calculamos a correlação de Spearman entre os valores de renda e vacinados, para verificar, de forma objetiva, a sua relação. A divisão do estado em municípios é uma granularidade amplamente adotada, portanto, encontrar e agregar os dados de MG foi relativamente simples.

3.3 MAPAS DE BELO HORIZONTE

Optamos em dividir o município em setores censitários, por isso obtivemos os dados geográficos do estado de Minas segmentado em setores censitários, também do site do IEDE, e filtramos os referentes a BH. Encontramos os dados de renda dos domicílios particulares, divididos por setor censitário, do censo demográfico do IBGE de 2010.

Domicílios particulares são aqueles em que o relacionamento entre seus ocupantes é ditado por laços de parentesco, de dependência doméstica ou por normas de convivência. Em oposição aos domicílios coletivos, que são instituições onde a relação entre as pessoas, moradoras ou não, é restrita a normas de subordinação administrativa (IBGE, 2021). A Tabela 2 representa o dicionário dos dados obtidos.

Tabela 2: Dicionário de dados da renda domiciliar por setor censitário

NOME DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL
Cod_setor	Código do setor censitário
Situação_setor	Código de situação do setor censitário (ver planilha Básico UF.xls)
V001	Total de domicílios particulares improvisados
V002	Total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares
V003	Total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares permanentes
V004	Total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares improvisados
V005	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo
V006	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo
V007	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo
V008	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo
V009	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1 a 2 salários mínimos
V010	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 2 a 3 salários mínimos
V011	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 3 a 5 salários mínimos
V012	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 a 10 salários mínimos
V013	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 10 salários mínimos
V014	Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita

Somamos o número de domicílios de cada faixa de salário (v005 a v014) para obter o número total de domicílios particulares. Então, dividimos o valor total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares (v002) pela soma calculada, obtendo assim, a média do rendimento nominal mensal por domicílio particular por setor. Esse valor foi usado em conjunto com os dados geográficos, para desenhar o mapa da distribuição de renda do município por setor censitário.

O processo de mapear os dados da vacinação para os dados geográficos de Belo Horizonte foi complicado. A informação de localização de menor granularidade presente nos dados da vacinação é o CEP anonimizado do vacinado, que consiste nos cinco primeiros dígitos do CEP. Como nos dados geográficos está contida a informação de latitude e longitude, mapeamos os valores dos CEPs para essas coordenadas.

Para isso, foi necessário obter os valores de CEPs completos de BH, através do banco de dados CEPlá e usá-los para busca na API CEP Aberto, que fornece os dados de latitude e longitude a partir do CEP. Usamos essas coordenadas para mapear os CEPs completos para os setores censitários, com funções do GeoPandas. Então, separamos os cinco primeiros dígitos dos CEPs completos e somamos os vacinados correspondentes a cada setor. Com os dados do número de vacinados por setor censitário do município, desenhamos o mapa da distribuição e calculamos a correlação entre os valores.

3.4 RELAÇÃO DA RENDA COM A VACINAÇÃO AO LONGO DO TEMPO

Dados os resultados da etapa anterior, levantamos a hipótese de que o valor de correlação entre a renda e os vacinados varia com o tempo, sendo mais alto no início da vacinação, quando ocorria apenas nos grupos prioritários, e diminuindo ao longo de seu avanço.

Para investigar essa suposição, no dia 10 de novembro de 2021, baixamos uma versão mais recente dos dados da campanha de vacinação, filtrando as entradas para o nosso objetivo. Primeiramente, removemos registros cuja data de aplicação da dose é anterior à data oficial de início da aplicação da respectiva dose, segundo dados da Fiocruz (2022). Então, selecionamos as linhas cujo município era Belo Horizonte e mantivemos na base somente a primeira ocorrência de cada paciente, de acordo com seu identificador único.

Usamos o campo de data de aplicação da vacina para separar os dados por mês, de janeiro a outubro de 2021 e agregamos os vacinados por CEP, somando o número de identificadores

únicos. Como resultado, obtivemos uma base com a contagem de vacinados, na cidade de Belo Horizonte, por mês e CEP de residência anonimizado.

Nesse momento, revisitamos a metodologia utilizada anteriormente para mapear os CEPs para os setores censitários. Percebemos que diversos valores de CEP eram mapeados para as mesmas coordenadas de latitude e longitude. Utilizando a função de distribuição acumulada (Figura 2), verificamos que, enquanto 99% das coordenadas se relacionam a sete CEPs ou menos, existem valores absurdos como 301 e 406 CEPs. Por isso, removemos as coordenadas que correspondiam a mais do que sete CEPs, e refizemos o mapeamento para os setores censitários.

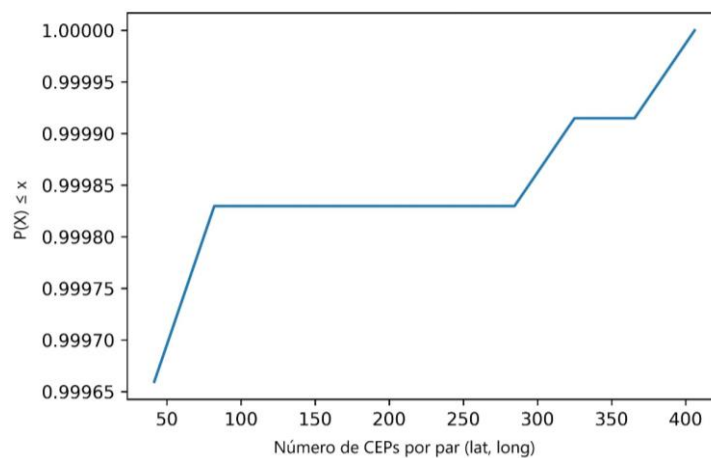


Figura 2: CDF do número de CEPs por coordenada

Também reexaminamos a forma usada para contabilizar os vacinados de cada setor. Anteriormente, estávamos somando o número de vacinados de cada CEP anonimizado nos setores para os quais esse CEP havia sido mapeado. Como um valor de CEP com cinco dígitos era mapeado para diversos setores, acreditamos que essa forma de somar os vacinados estava incorreta, gerando um número de vacinados por setor superior ao real. Então, passamos a distribuir os vacinados proporcionalmente à população residente em cada setor. Os dados de população residente por setor foram obtidos do censo demográfico do IBGE de 2010.

No entanto, mesmo depois dessas correções, ao usar os dados de população residente para calcular a porcentagem total de vacinados em cada setor, obtivemos valores muito discrepantes. Mais de 78% dos valores eram acima de 100% de residentes vacinados e o máximo foi de 33 vezes o total de residentes vacinados. Depois de investigar profundamente a metodologia, concluímos que, com as informações disponíveis, não havia uma maneira mais precisa de mapear os vacinados para os setores censitários de BH. Portanto, decidimos mudar a análise da

relação da renda com a vacinação ao longo do tempo para os municípios de Minas Gerais, a fim de garantir que a contagem seria exata.

Dessa forma, voltamos aos dados filtrados da campanha de vacinação em Minas Gerais. Alteramos a divisão de tempo para usar semanas epidemiológicas, ao invés de meses. Isso nos permite diminuir a granularidade dos dados e fazer análises mais detalhadas. Assim, adicionamos a informação de semana epidemiológica de acordo com a data de aplicação da vacina. Depois, agregamos os dados por município, semana e dose da vacina, contando o número de identificadores únicos.

Usando dados da população estimada por município (IBGE, 2021), calculamos a porcentagem de novos vacinados por semana e dose da vacina em cada cidade de MG, o que gerou resultados dentro da normalidade. Então, com a informação de renda média domiciliar per capita por município, calculamos os valores de correlação de Spearman entre a renda de cada município e a porcentagem de novos vacinados por semana epidemiológica para a primeira e segunda doses. Geramos um gráfico da evolução desses valores ao longo do tempo, além de mapas do estado para comparar a distribuição de novos vacinados com a de renda em algumas semanas.

3.5 A VACINAÇÃO PRIORIZOU REGIÕES COM MAIS ÓBITOS?

Outra hipótese que investigamos, também inspirada no estudo do Labcidade, foi que a campanha de vacinação não priorizou regiões mais acometidas pela doença, ou seja, onde houve mais óbitos por COVID-19. Inicialmente, essa análise seria feita em relação aos setores de BH, porém, dois empecilhos fizeram com que mudássemos o foco para os municípios de MG.

A primeira dificuldade foi que não são disponibilizados, publicamente, dados de óbitos por COVID-19 contendo o CEP do falecido, anonimizado ou não (Fórum de Direito de Acesso a Informações Públicas, 2020). Essa informação era usada para relacionar o cidadão ao seu setor de residência, portanto, sem ela, esse mapeamento não poderia ser feito. O segundo empecilho foram os resultados discrepantes obtidos pelo nosso método de mapeamento usando o CEP anonimizado do paciente disponível nos dados da vacinação.

Dessa forma, para contabilizar o número de óbitos, usamos dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) dos anos de 2020 e 2021, disponibilizados pelo OpenDataSUS e baixados no dia 23 de janeiro de 2022. Filtramos a base, selecionando apenas os dados de Minas

Gerais, e usamos os campos de classificação final e evolução do caso para obter as instâncias de SRAG causadas por COVID-19 e que resultaram em óbito.

Agregamos os dados por município, somando os identificadores únicos dos falecidos, e usamos os dados de população estimada para calcular a porcentagem de óbitos totais em cada cidade. Então, calculamos a correlação entre a porcentagem de novos vacinados com a primeira dose e a porcentagem de óbitos totais em cada município ao longo das semanas. Com os resultados, geramos um gráfico dessa evolução, além de um mapa da distribuição de óbitos no estado e mapas da vacinação em algumas semanas, para comparação.

3.6 ENCAIXANDO OS DADOS NO MODELO DE DIFUSÃO DE BASS

Ao observar os gráficos da evolução da porcentagem de vacinados no estado (Figura 3), percebemos que seu formato poderia ser encaixado em um modelo que explicasse os dados.

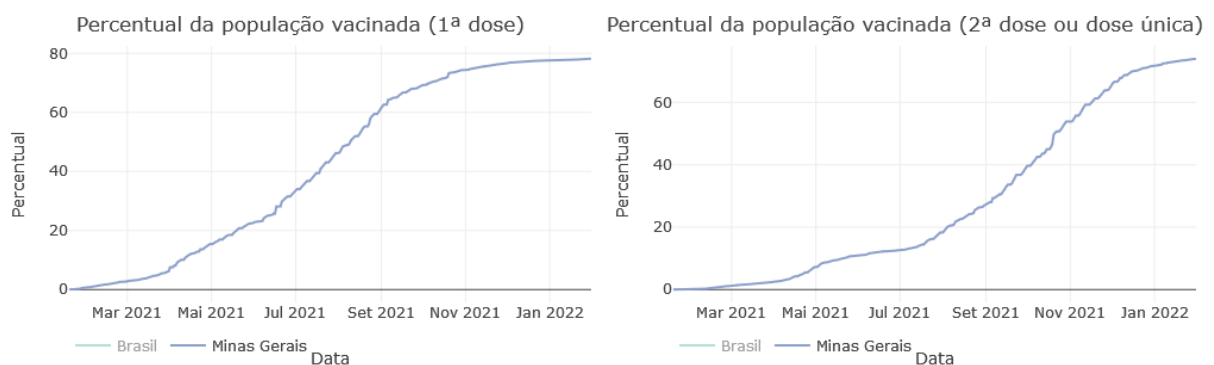


Figura 3: Gráficos da evolução do percentual de vacinados em MG (FIOCRUZ, 2022)

Escolhemos o Modelo de Difusão de Bass, que é usado para descrever o processo de adoção de novos produtos pela população. Neste caso, o produto seria a vacina. Usamos os percentuais de vacinados cumulativos por semana epidemiológica da primeira e segunda doses para fazer um encaixe do modelo para cada município. Foi necessário normalizar a porcentagem total de vacinados, que não chega a 100% dos residentes. Desenhamos gráficos comparando os dados reais com a curva gerada pelo encaixe em algumas cidades, e analisamos os coeficientes de inovação e imitação obtidos.

Também fizemos gráficos de dispersão, comparando os coeficientes de cada município com a porcentagem total de óbitos e de vacinados para as duas doses, a fim de verificar se essas grandezas tinham alguma relação. Por fim, criamos gráficos de dispersão comparando os coeficientes gerados pelo encaixe em ambas as doses, pela mesma razão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, vamos exibir os resultados gerados ao longo do desenvolvimento do trabalho, além de interpretá-los e comentar sua significância.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DE MINAS GERAIS

Em primeiro lugar, mostramos a seguir, os gráficos gerados durante a caracterização inicial dos dados da vacinação no estado de Minas Gerais. Cada linha da tabela representa uma dose de vacina aplicada. São 6 208 001 linhas no total

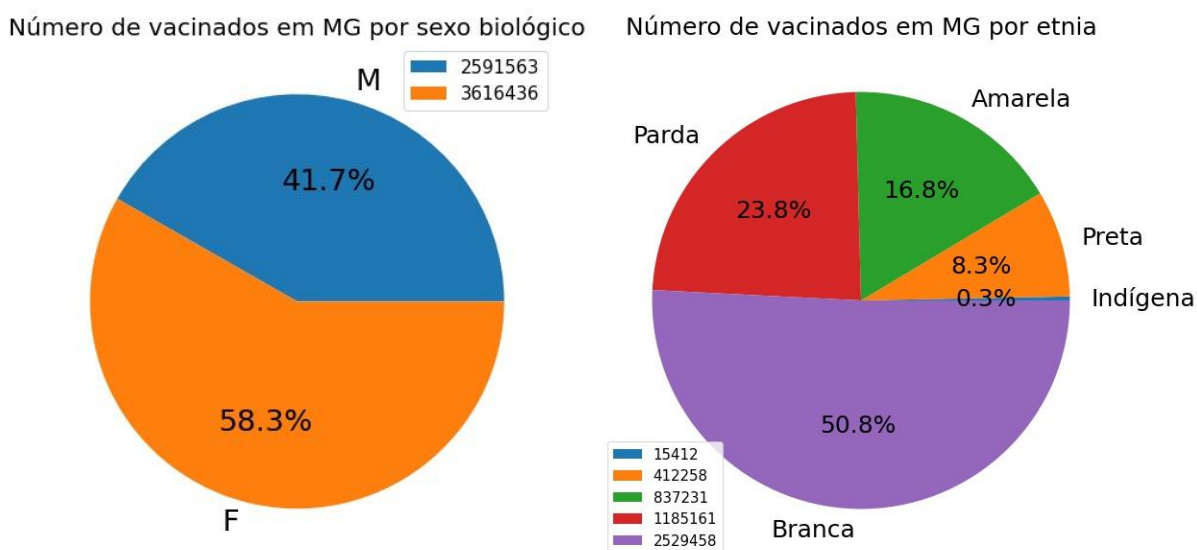


Figura 4: Número de vacinados em MG por sexo e por etnia

No gráfico referente ao sexo dos vacinados, os valores estão dentro do esperado. Segundo o IBGE (2012), a população do sexo feminino em MG corresponde a aproximadamente 51% do total. O número de mulheres vacinadas está um pouco acima disso, mas com o avanço da vacinação, é esperado que a porcentagem se aproxime mais desse valor.

Já no segundo gráfico, podemos ver uma diferença em relação ao perfil da população. Segundo o censo demográfico de 2010 do IBGE, a população de Minas se divide em, aproximadamente, 0,1% indígena, 0,9% amarela, 9,1% preta, 44,1% parda e 45,3% branca. Percebemos que os números são próximos, exceto nos grupos pardo e amarelo. A porcentagem de vacinados pardos é quase metade da porcentagem de sua população total, e a de vacinados amarelos é dezesseis vezes maior do que a total. Essa diferença pode ser causada pela priorização de certos grupos durante a vacinação.

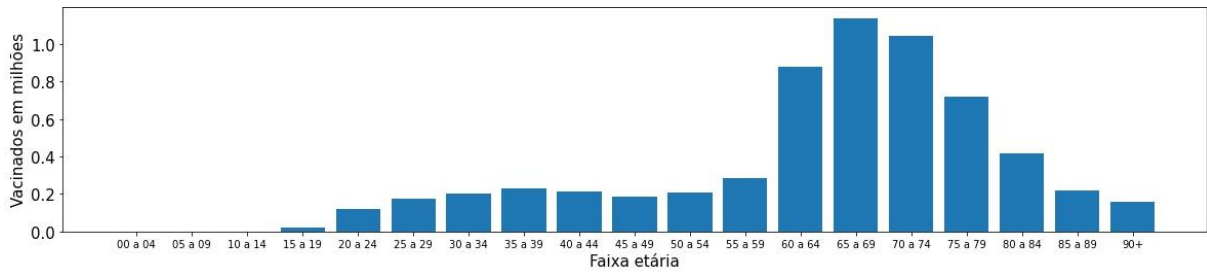


Figura 5: Número de vacinados em MG por faixa etária

Na Figura 5, temos uma concentração de vacinados com idades entre 60 e 84 anos. Isso é esperado, dado que a vacinação por faixa etária prioriza os mais velhos, e os vacinados cujo grupo de vacinação é “faixa etária” representam 68,7% do total. Os demais vacinados mais jovens fazem parte de algum dos outros grupos prioritários ilustrados na Figura 6.

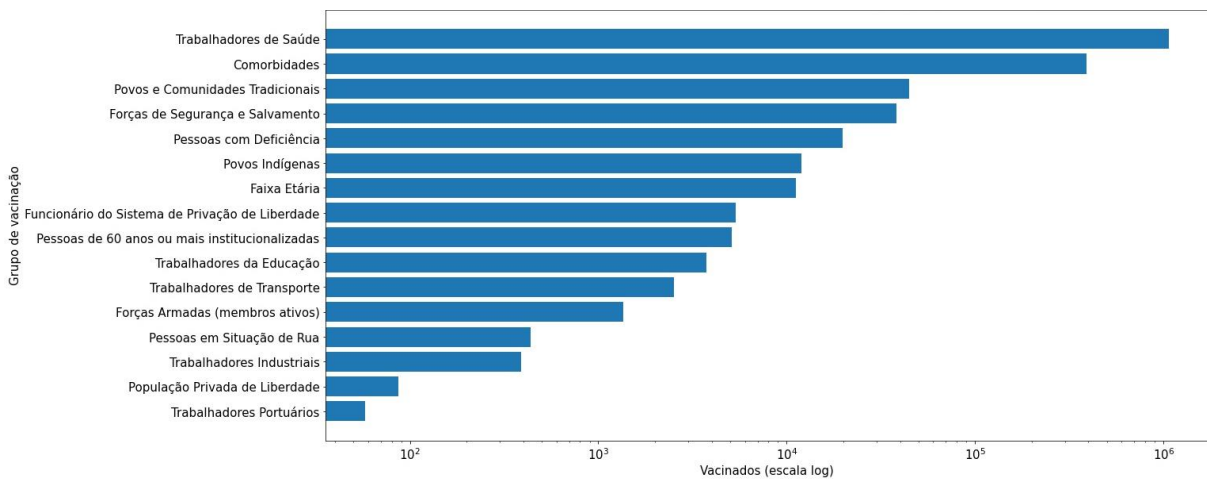


Figura 6: Número de vacinados em MG, menores de 60 anos, por grupo de vacinação

O gráfico mostra que a maior parte dos vacinados mais jovens se enquadram nos grupos de trabalhadores da saúde e pessoas com comorbidades, que estão bem à frente dos demais. O grupo faixa etária fica agora em sétimo lugar entre os mais vacinados.

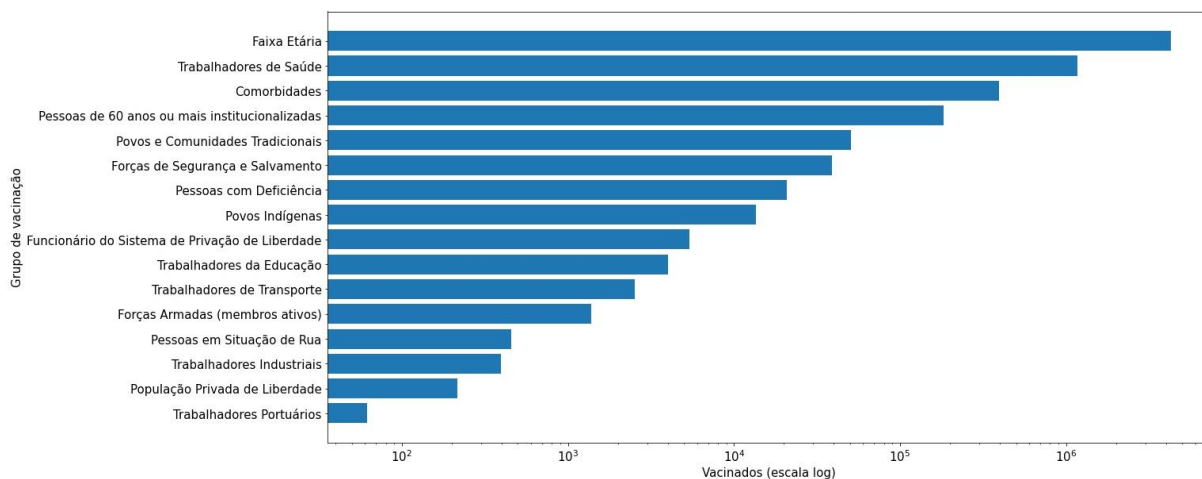


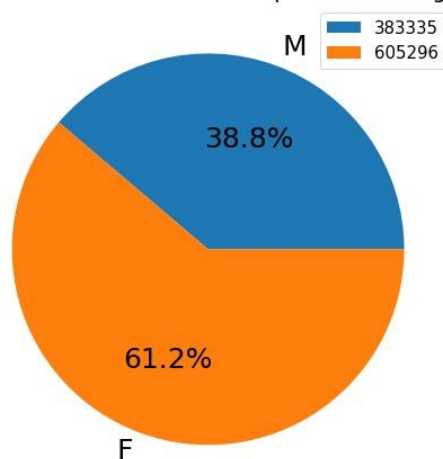
Figura 7: Número de vacinados em MG por grupo de vacinação

Podemos ver que, no total, o grupo com o maior número de vacinados foi por faixa etária, o que também pode ser visto na Figura 5. Isso se deve à maior quantidade de membros desses grupos presentes na população. Em seguida, estão os trabalhadores da saúde, que representam 18,9% do total de vacinados e 65,2% dos vacinados menores de 60 anos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DE BELO HORIZONTE

Agora, vamos apresentar os resultados da caracterização da capital, comparando com o estado. O número total de linhas da tabela de BH foi de 988 631, 15,9% do total de MG.

Número de vacinados em BH por sexo biológico



Número de vacinados em BH por etnia

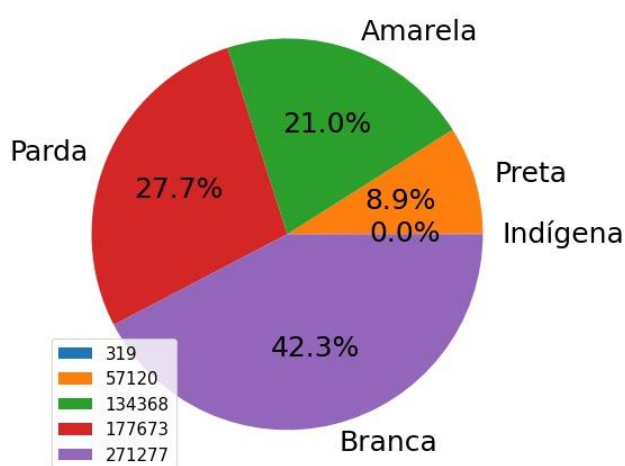


Figura 8: Número de vacinados em BH por sexo e por etnia

Na divisão de vacinados por sexo em Belo Horizonte, notamos uma diferença maior ainda entre homens e mulheres. A porcentagem total de mulheres na cidade é ligeiramente maior do que no estado, representando 53,1% (IBGE, 2012).

Em relação à divisão por etnia, temos uma situação análoga à do estado. A população do município se divide em 0,1% indígena, 1% amarela, 10,1% preta, 41,8% parda e 46,6% branca (IBGE, 2010). Mais uma vez, podemos ver um número maior do que o esperado de vacinados amarelos e uma quantidade menor do que a porcentagem total de pardos.

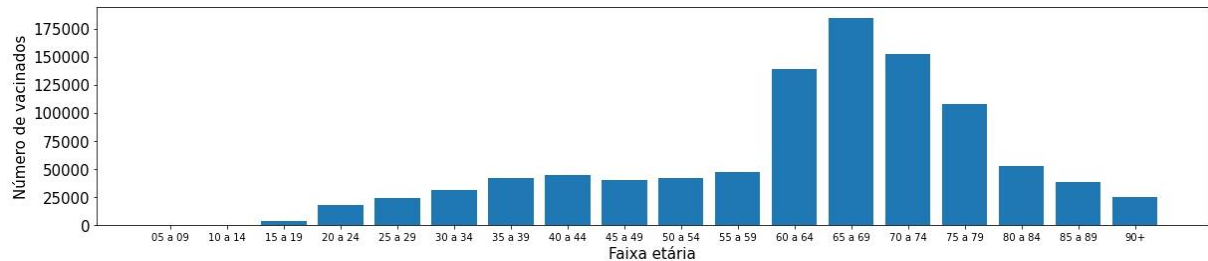


Figura 9: Número de vacinados em BH por faixa etária

No gráfico por idade, novamente temos uma situação muito similar ao estado. Os vacinados entre 60 e 84 anos representam 64,2% do total. Já dentre os menores de 60 anos, 66,1% pertencem ao grupo de trabalhadores da saúde e 28,3% ao de pessoas com comorbidades.

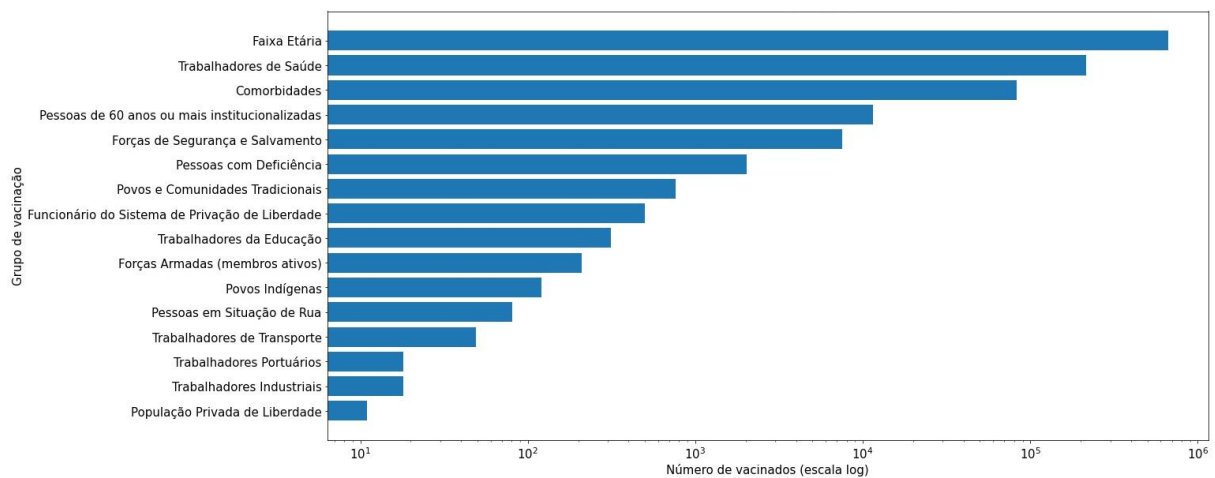


Figura 10: Número de vacinados em BH por grupo de vacinação

Em Belo Horizonte, o grupo de “forças de segurança e salvamento” recebeu mais destaque do que em Minas, passando do sexto para o quinto lugar. Já “povos e comunidades tradicionais” caiu do quinto para o sétimo lugar. Os três primeiros grupos destoam dos demais com números muito maiores.

4.3 MAPAS DE MINAS GERAIS

Nesta seção, vamos analisar os mapas da distribuição de vacinados e de renda por município de Minas Gerais. É necessário esclarecer que as regiões em branco foram aquelas sobre as quais não conseguimos obter informação.

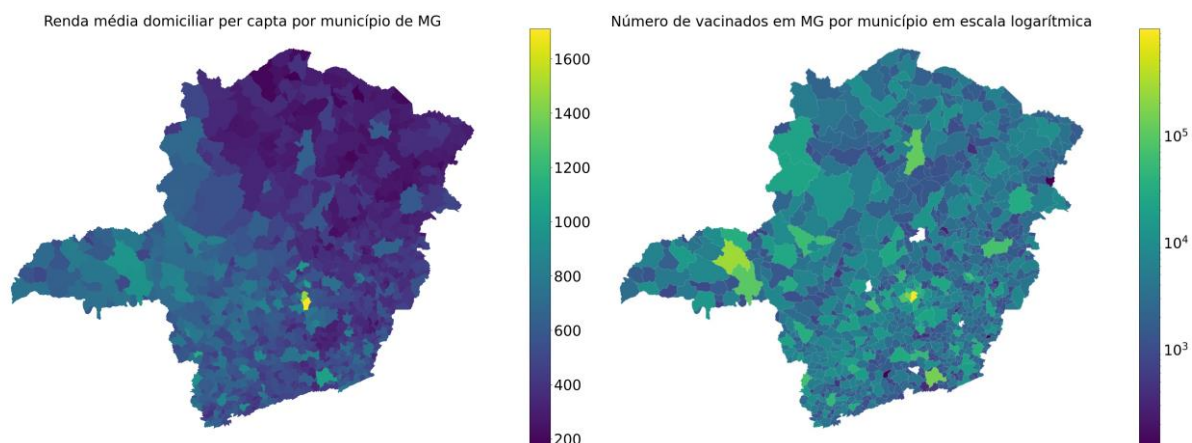


Figura 11: Comparação da distribuição de renda e vacinados nos municípios de MG

No primeiro mapa da Figura 11, podemos ver uma grande desigualdade na distribuição de renda entre as regiões do estado. Desde o noroeste de Minas até o sul, incluindo o triângulo mineiro, vemos um tom mais claro, indicando uma renda maior. Enquanto isso, as regiões norte e do Jequitinhonha têm um tom notavelmente mais escuro. A capital e a cidade de Nova Lima se destacam na região central, sendo a segunda, o município com a maior renda média domiciliar per capita do estado, que corresponde a, aproximadamente, R\$1700,00.

Já o mapa da distribuição de vacinados não segue uma tendência similar. As cores no mapa estão muito mais espalhadas. A única cidade a se destacar é Belo Horizonte, com 988 631 vacinados, enquanto Uberlândia (no triângulo), que vem em seguida, tem 270 288, uma diferença de mais de 700 000 pessoas.

A fim de medir a correlação entre esses dois valores de forma objetiva, calculamos o coeficiente de Spearman entre eles. O resultado foi de aproximadamente 0,44 o que indica que há uma correlação positiva fraca entre o número de vacinados e a renda média nos municípios de Minas Gerais. Podemos dizer isso pois o valor do coeficiente é maior do que 0, mas ainda é mais próximo desse número do que de 1.

4.4 MAPAS DE BELO HORIZONTE

Faremos agora a análise dos mapas da distribuição de renda e vacinados na capital.

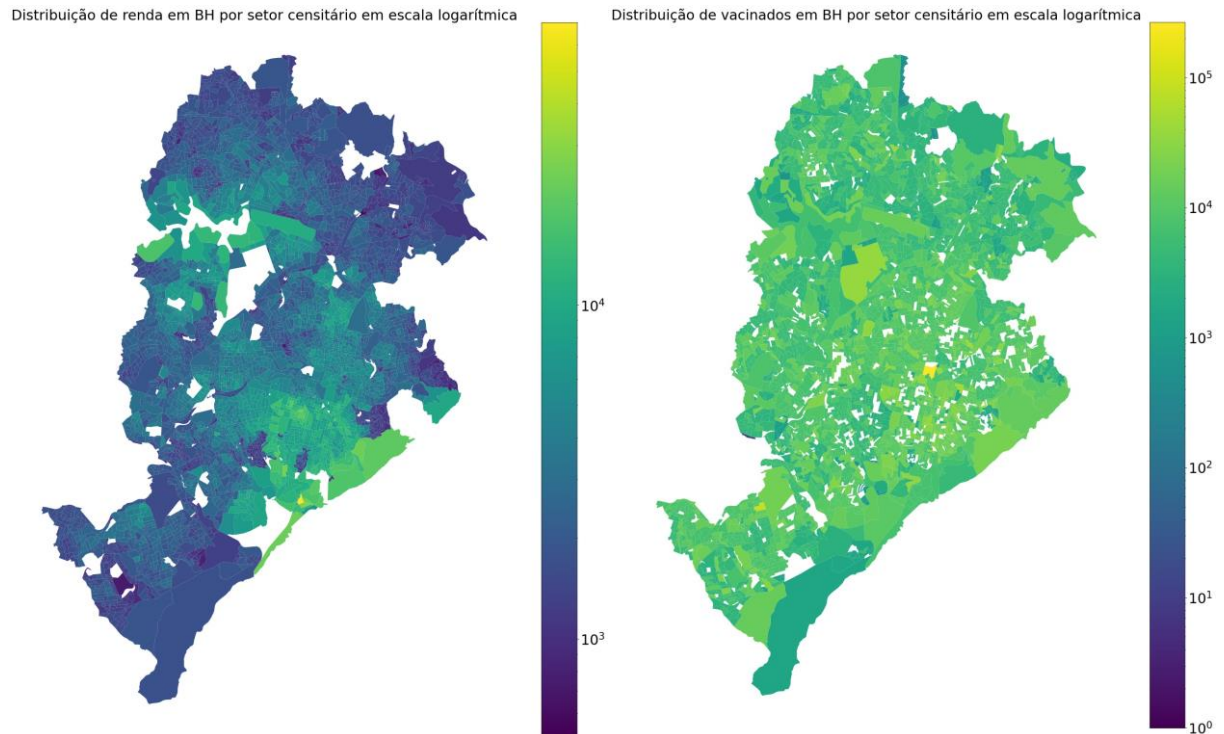


Figura 12: Comparação da distribuição de renda e vacinados nos setores de BH

Assim como em Minas Gerais, é visível uma grande desigualdade na distribuição de renda entre as regiões de sua capital. Há uma concentração de renda nas regiões centro-sul e da Pampulha, enquanto as demais apresentam um tom bem mais escuro.

No segundo mapa, porém, temos uma situação muito diferente. A vacinação na cidade está distribuída de maneira bastante uniforme entre os setores censitários. Apenas um setor, na região centro-sul, tem um valor superior aos demais. O mapa da vacinação no município difere do mapa correspondente do estado, que tem grandes diferenças de vacinados, porém distribuídos pelo seu território.

O coeficiente de Spearman obtido foi de cerca de 0,19. Menos da metade daquele obtido em Minas. Dessa forma, podemos dizer que também há uma relação positiva entre o número de vacinados e a renda na cidade, porém ela é ainda mais fraca do que no estado.

4.5 RELAÇÃO DA RENDA COM A VACINAÇÃO AO LONGO DO TEMPO

Como os valores de correlação obtidos para o estado e sua capital foram muito próximos de zero, fizemos uma análise de como ele varia ao longo do processo de vacinação. A Figura 13 apresenta os resultados, separados por dose da vacina.

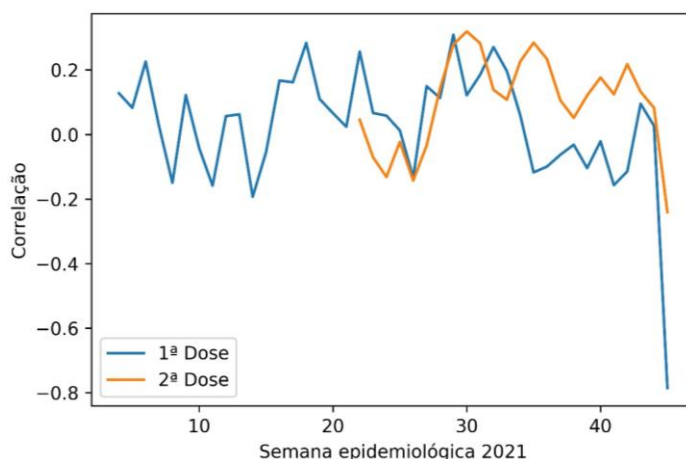


Figura 13: Correlação entre renda e porcentagem de novos vacinados nos municípios de MG ao longo do tempo

Podemos ver que os valores ficaram próximos de zero, o que indica uma falta de correlação. A queda no valor da primeira dose no final do período analisado, que corresponde ao início de novembro, pode ser explicada pelo fato de que muitos municípios já haviam encerrado a vacinação com a primeira dose, por isso não há novos vacinados e o cálculo da correlação fica enviesado.

O comportamento esperado, que era uma maior correlação no início da vacinação, com queda gradual, não foi observado na primeira ou segunda doses. Na realidade, os valores oscilam em torno do zero. O maior valor de correlação obtido para a primeira dose foi de 0,31 e ocorreu na 29ª semana epidemiológica, no final de julho. Já o menor valor, foi de -0,19 e aconteceu na 14ª semana, no início de abril.

A seguir, apresentamos os mapas da distribuição de renda e vacinados em algumas das semanas analisadas, a fim de comparar visualmente suas semelhanças e diferenças.

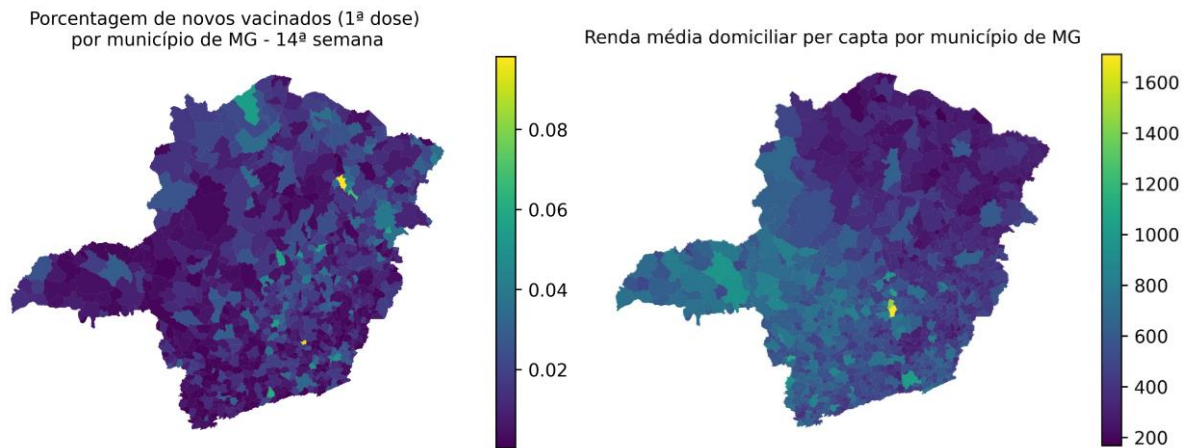


Figura 14: Comparação da distribuição de vacinados e renda na 14ª semana epidemiológica

Na 14ª semana epidemiológica, houve o maior valor de correlação negativa registrado, igual a -0,19. Uma correlação negativa indica uma tendência oposta de crescimento, ou seja, quanto menor a renda, mais vacinados. Porém, o valor ainda é bastante próximo de zero, portanto não é uma relação significativa. No mapa da vacinação é possível ver um tom mais claro no norte do estado, e um tom mais escuro no restante, diferente do mapa de renda, mas não é uma tendência claramente oposta.

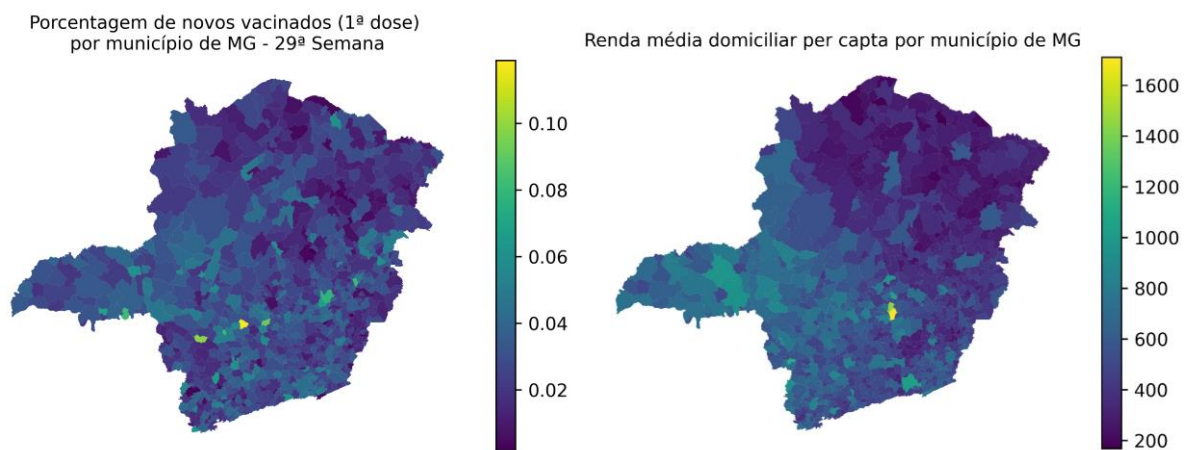


Figura 15: Comparação da distribuição de vacinados e renda na 29ª semana epidemiológica

A 29ª semana foi a que apresentou o maior valor de correlação positiva, de 0,31. Isso indica uma tendência similar no crescimento da renda e da porcentagem de vacinados. Porém, não é possível ver uma distribuição muito parecida nos mapas.

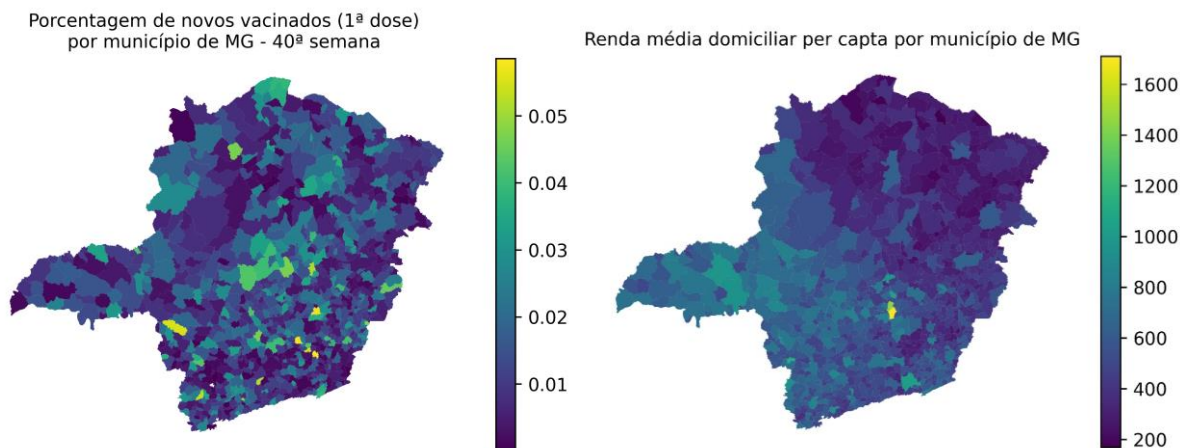


Figura 16: Comparação da distribuição de vacinados e renda na 40ª semana epidemiológica

A 40ª semana foi uma das últimas que apresentou novos vacinados com a primeira dose em todos os municípios. Não é possível ver tendência parecida ou oposta entre os mapas, já que o de vacinados tem uma distribuição irregular, enquanto o de renda apresenta regiões próximas com valores similares. Isso reforça a falta de relação entre vacinação e renda nessa semana, que resultou em uma correlação de $-0,02$.

4.6 A VACINAÇÃO PRIORIZOU REGIÕES COM MAIS ÓBITOS?

O gráfico na Figura 17 foi gerado a fim de investigar a hipótese de que a vacinação não teria priorizado regiões com mais óbitos por COVID-19. Ele apresenta a correlação entre a porcentagem de novos vacinados com a primeira dose e a porcentagem total de óbitos em cada município de Minas Gerais, ao longo do tempo. Caso houvesse priorização, essa correlação seria inicialmente alta, e poderia decair com o tempo.

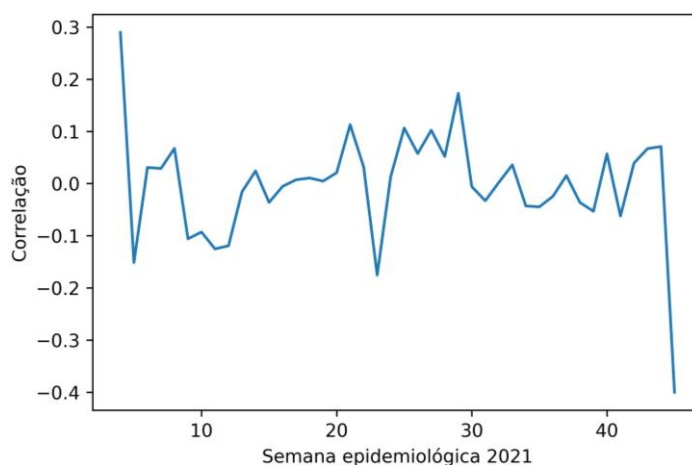


Figura 17: Correlação entre porcentagem de óbitos totais e porcentagem de novos vacinados (1ª dose) nos municípios de MG ao longo do tempo

Apesar de o maior valor de correlação obtido ter sido na primeira semana de vacinação, esse valor foi próximo de zero, portanto não podemos dizer que ela foi alta. Além disso, na semana seguinte a correlação decaiu de forma extrema, chegando a um valor negativo. Por isso, podemos dizer que a vacinação não priorizou regiões com mais mortes.

No geral, da mesma forma que ocorreu com o gráfico da renda (Figura 13), os valores de correlação oscilam em torno do zero, se mantendo em uma margem de -0,2 a 0,3. A queda brusca no final, novamente é explicada pela falta de novos vacinados com a primeira dose nessa semana.

A seguir, faremos a comparação dos mapas gerados para a distribuição de vacinados e de óbitos no estado, a fim de interpretar os resultados. É importante ressaltar que há uma notável falta de dados relativos a óbitos em diversos municípios do estado. Enquanto, na base de dados de SRAG, temos 381 cidades sem informações de óbitos, no dia 9 de novembro de 2021, apenas 10 municípios mineiros permaneciam sem nenhuma morte pela doença (G1 MINAS, 2021).

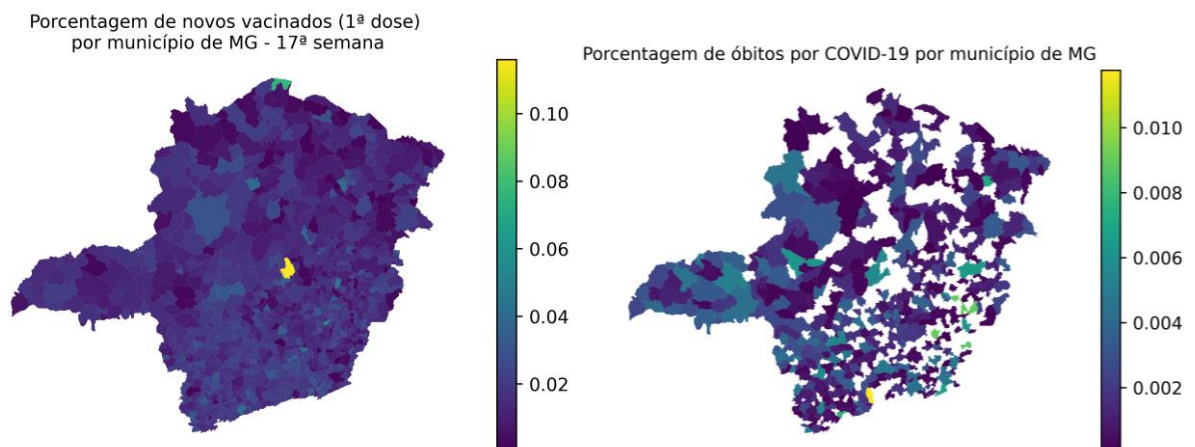


Figura 18: Comparação da distribuição de vacinados e óbitos na 17ª semana epidemiológica

A semana mostrada na Figura 18 teve uma correlação de 0,01 entre os óbitos e a vacinação. É um valor muito próximo de zero, indicando nenhuma relação entre os valores. É possível ver que não há tendências similares ou opostas entre as regiões, já que o mapa de vacinados é quase uniforme e o de óbitos tem valores mais irregulares.

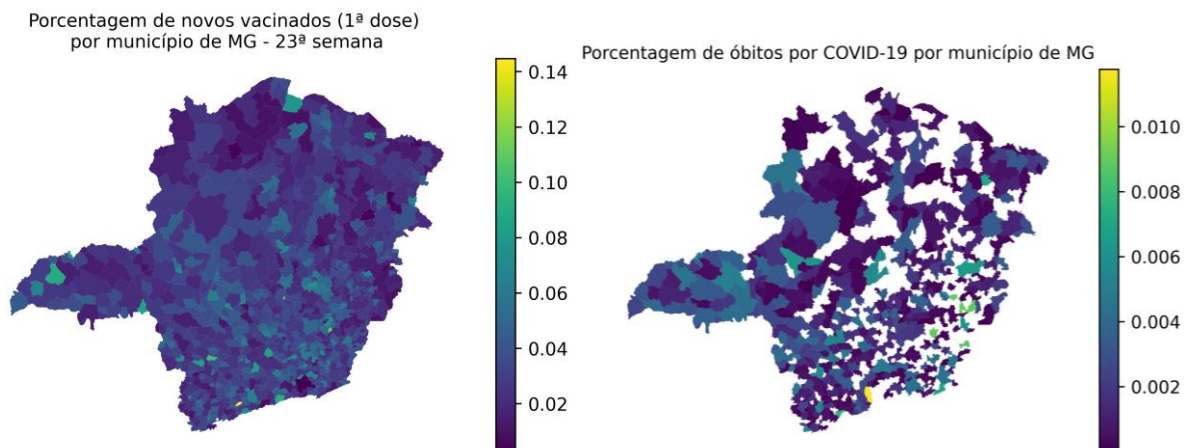


Figura 19: Comparação da distribuição de vacinados e óbitos na 23ª semana epidemiológica

Já a 28ª semana teve um valor de correlação de $-0,18$, indicando uma tendência oposta. Porém, o valor próximo de zero indica uma relação fraca, que é comprovada pelos mapas, nos quais não é possível ver uma coloração inversa.

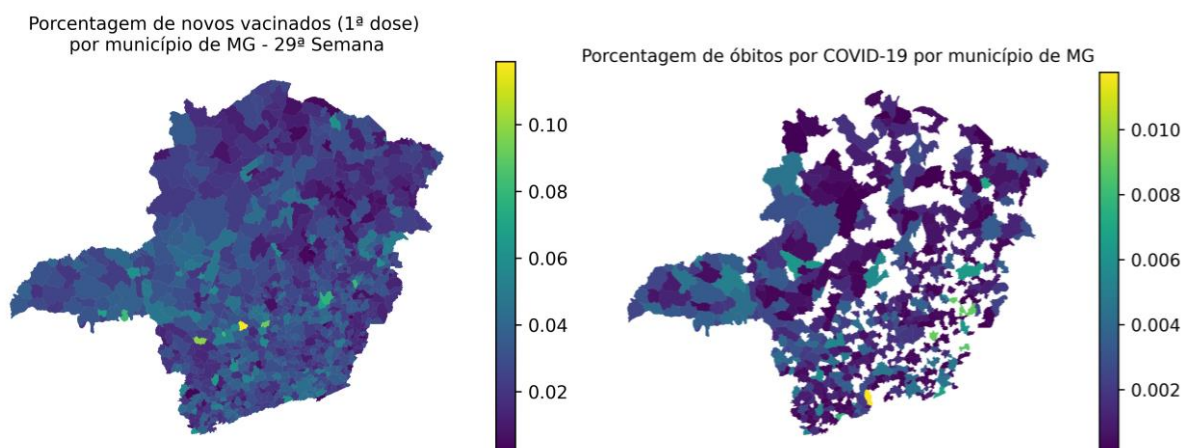


Figura 20: Comparação da distribuição de vacinados e óbitos na 29ª semana epidemiológica

Uma correlação de $0,17$ foi obtida para a semana número 29, que também foi mostrada na Figura 15, com um valor positivo de correlação com a renda. Nos mapas, é possível ver um tom mais claro na região central e um mais escuro ao norte do estado, mas não é o suficiente para apontar uma relação significativa.

4.7 ENCAIXANDO OS DADOS NO MODELO DE DIFUSÃO DE BASS

Selecionamos alguns municípios para mostrar os resultados gerados pelo encaixe do modelo de Bass nos dados de evolução da porcentagem de vacinados. Além disso, vamos comentar os valores obtidos para os coeficientes de inovação (p) e imitação (q) nas cidades. Os gráficos

mostram o tempo a partir do início da aplicação da respectiva dose, portanto a primeira semana retratada na primeira dose é a 4ª semana epidemiológica, e na segunda dose é a 22ª semana.

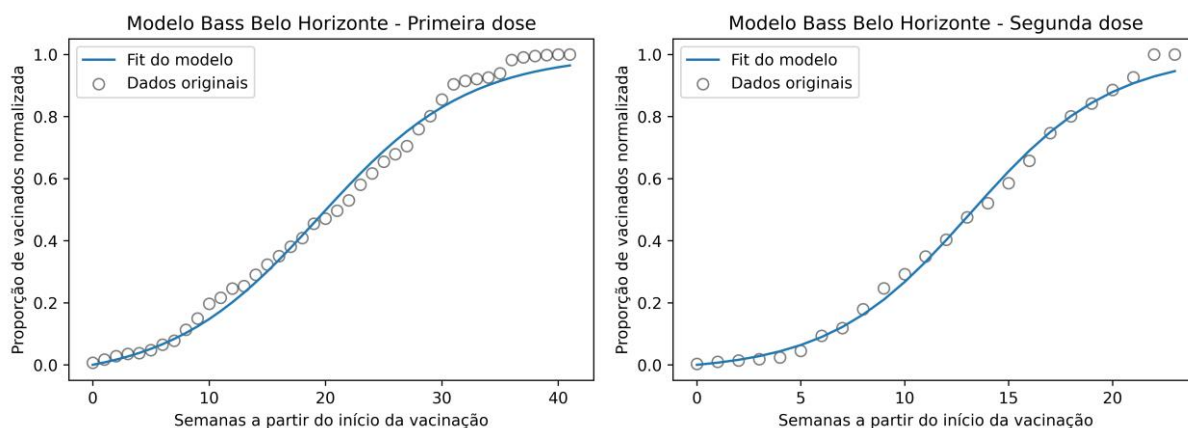


Figura 21: Resultados do encaixe do Modelo de Bass em Belo Horizonte

O encaixe nos dados da cidade de Belo Horizonte em ambas as doses foi bom. A primeira dose obteve um coeficiente de inovação de 0,148 e imitação de 0,007. Já a segunda teve um p de 0,288 e um q de 0,006. Ao comparar com os valores típicos quando o tempo é medido em anos, $p = 0,03$ e $q = 0,38$ (MAHAJAN et al, 1995), notamos que os valores obtidos para p são maiores, e os para q são muito menores, o oposto do resultado teórico.

Isso pode indicar que a vacina é fundamentalmente diferente de um bem durável que será comercializado no mercado. Também pode ser que o marketing feito para a vacina foi mais efetivo do que aquele usado para produtos comuns. Essa estratégia levaria mais pessoas a optarem por se vacinar apenas em decorrência da propaganda. Da mesma forma, o valor baixo de q sugere que as pessoas, no geral, não estão sendo convencidas a se vacinar pelo exemplo de outras.

Na segunda dose, a discrepância entre os coeficientes aumentou: o valor de p quase dobrou enquanto q praticamente permaneceu constante. É interessante observar que, segundo a secretaria de estado de saúde de MG, em 11 de fevereiro de 2022, quase 2,4 milhões de mineiros ainda não haviam retornado para tomar a segunda dose da vacina. Portanto, o aumento no valor de p pode indicar que aqueles que de fato voltaram, não o fizeram porque outros cidadãos estavam se vacinando, e sim por causa da campanha de vacinação, ou por consciência própria de completar a imunização.

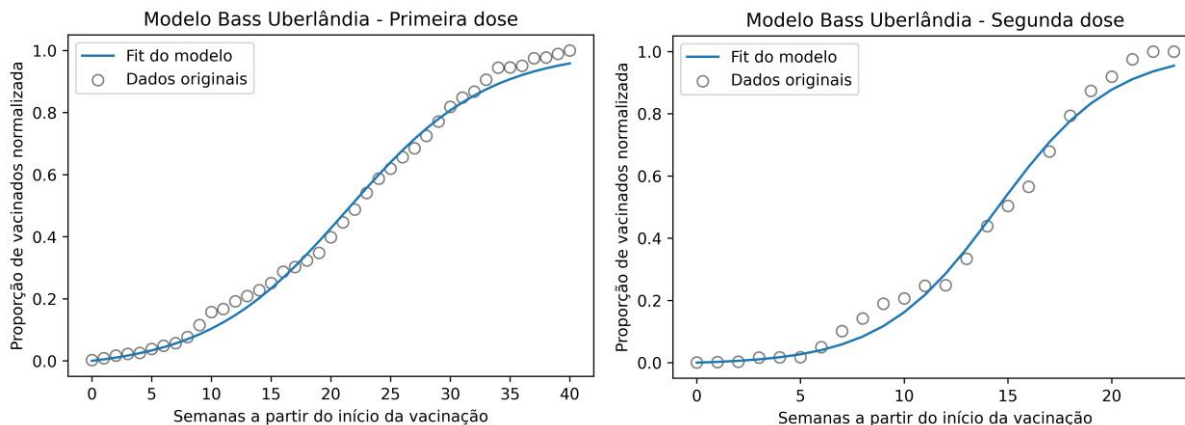


Figura 22: Resultados do encaixe do Modelo de Bass em Uberlândia

Uberlândia teve um bom encaixe no modelo na primeira dose, mas teve alguns desvios na segunda. A primeira curva gerou um coeficiente de inovação de 0,165 e imitação de 0,004. Já a segunda gerou $p = 0,356$ e $q = 0,002$. A inovação foi maior do que em BH, e a imitação foi menor nas duas doses da vacina, provavelmente porque uma cidade com menos habitantes precisaria de menos marketing para convencer seus cidadãos a se vacinarem.

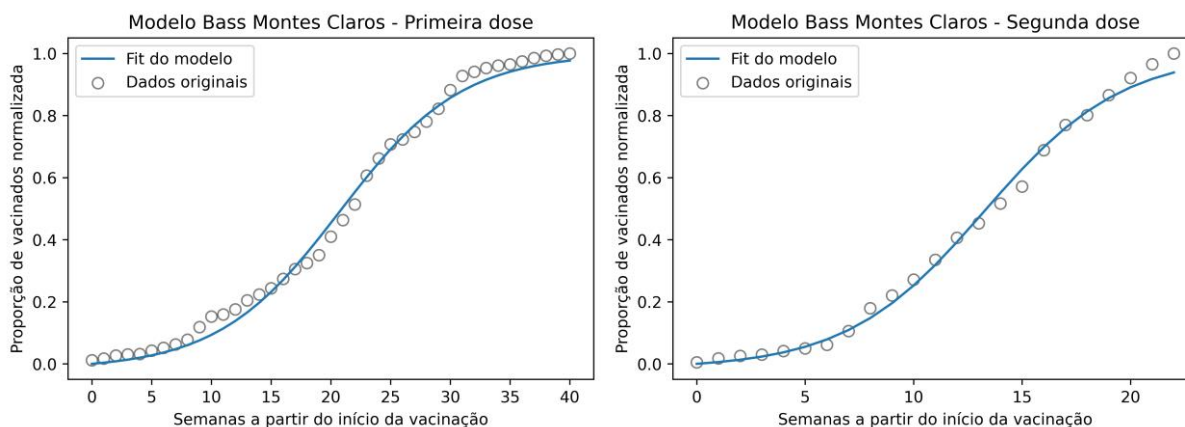


Figura 23: Resultados do encaixe do Modelo de Bass em Montes Claros

Por último, a Figura 23 mostra os gráficos gerados para a cidade de Montes Claros. O primeiro encaixe teve alguns desvios, e gerou coeficientes de inovação e imitação de 0,192 e 0,003, respectivamente. A inovação foi ainda maior do que a obtida para a primeira dose em Uberlândia. Já o segundo encaixe foi mais suave e obteve $p = 0,309$ e $q = 0,005$.

Dados os valores dos coeficientes gerados para cada município de Minas Gerais, verificamos se eles apresentavam alguma relação com os demais fatores estudados. Isso foi feito por meio de gráficos de dispersão, mostrados a seguir.

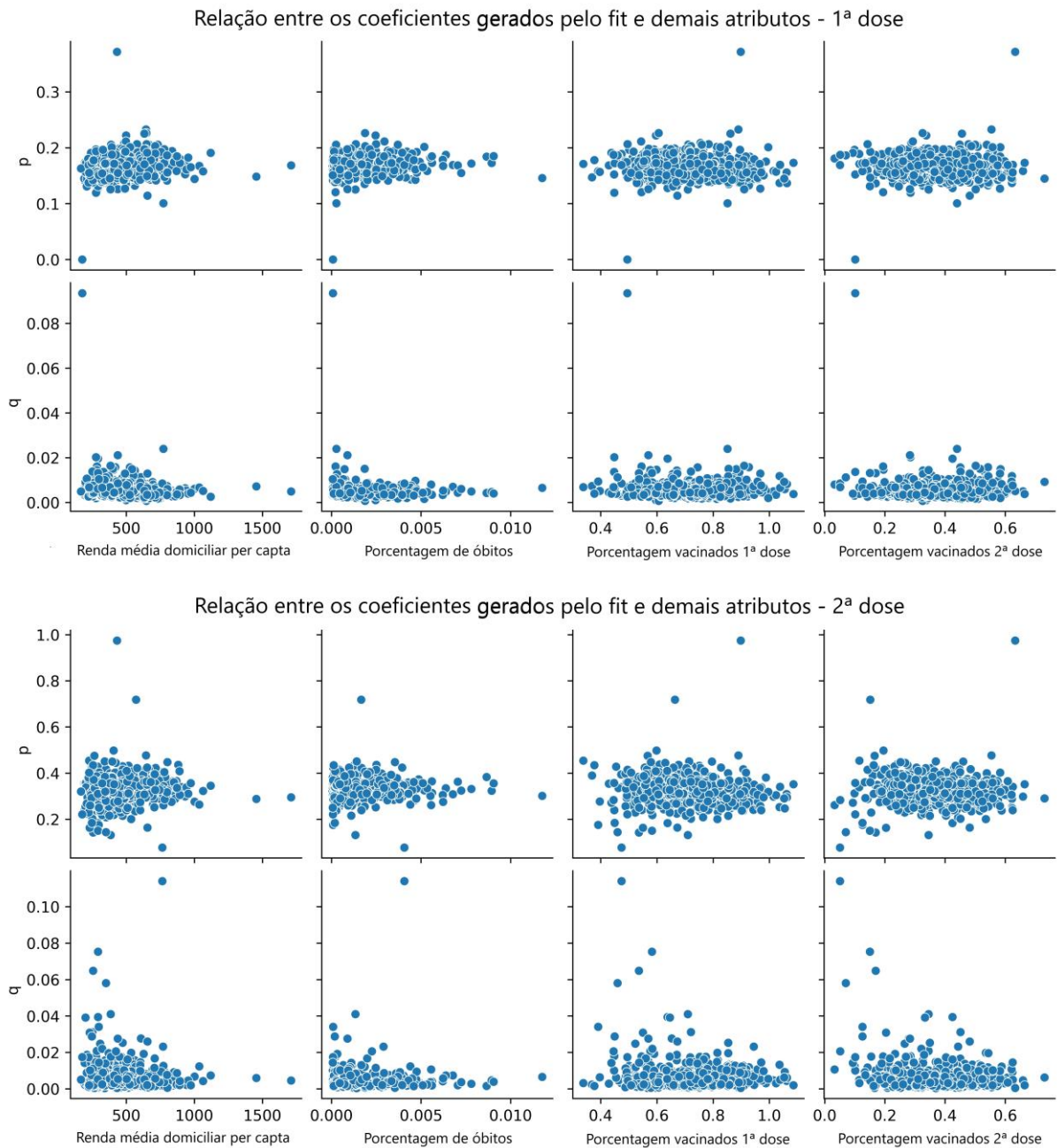


Figura 24: Relação entre os coeficientes de Bass e as demais grandezas estudadas

Analisando os gráficos, percebemos que os valores dos coeficientes permanecem relativamente constantes, independentemente da variação das outras grandezas. Isso resulta em um agrupamento da maioria dos pontos em torno de uma linha horizontal. Dessa forma, podemos concluir que não há relação entre nenhum dos valores comparados.

Verificamos, também, a relação entre os coeficientes p e q gerados para cada município em ambas as doses. Os resultados são mostrados a seguir.

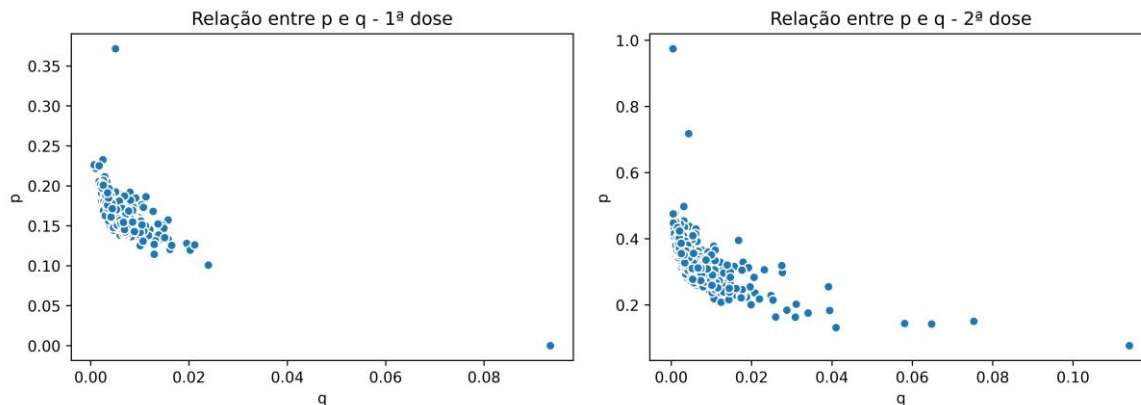


Figura 25: Relação entre os coeficientes do modelo de Bass

Ao contrário dos gráficos na Figura 24, estes apresentam uma relação claramente inversa. Notamos que, para cada ponto, quanto maior o valor de p , menor o de q . Para confirmar essa relação, calculamos a correlação de Spearman entre os valores em cada dose. Obtivemos $-0,76$ para a primeira e $-0,72$ para a segunda. Esses resultados comprovam uma forte relação inversa entre as p e q . Dessa forma, podemos dizer que, quanto maior a inovação na adoção da vacina, menor a imitação.

5 CONCLUSÕES

Durante este trabalho exploramos dados demográficos e da vacinação no estado de Minas Gerais e sua capital, Belo Horizonte, coletados até o dia 23 de janeiro de 2022. Procuramos identificar padrões e tendências nos dados, além de relacionar as características demográficas com a vacinação e entender seu significado social dada a política de vacinação estabelecida.

Depois das análises feitas, é evidente que a priorização dos grupos definidos pelo Ministério da Saúde favorece parcelas da população de forma desigual. Um dos exemplos vistos foi o das pessoas de etnia amarela e parda, que foram vacinadas em proporções muito diferentes de seus números totais.

Apesar disso, durante todo o período analisado, não houve uma correlação expressiva entre o valor de renda e a porcentagem de vacinados nos territórios contemplados. Os resultados de correlação obtidos para ambas as doses em todas as semanas epidemiológicas estudadas, oscilaram de forma irregular em torno de zero, permanecendo entre $-0,2$ e $0,3$. A proximidade de zero indica falta de relação, e o fato de assumir tanto valores positivos como negativos, em alternância, confirma essa conclusão.

De forma semelhante, o estudo da porcentagem de óbitos e da porcentagem de vacinados com a primeira dose ao longo do tempo indicou uma falta de relação entre esses valores. A correlação oscilou em torno do zero, assumindo valores entre -0,2 e 0,3. Portanto, confirmamos a hipótese de que a vacinação não priorizou regiões onde ocorreram mais óbitos por COVID-19.

O Modelo de Difusão de Bass apresentou um bom encaixe nos dados de vacinação em ambas as doses. Ele nos permitiu fazer análises interessantes a respeito dos coeficientes gerados para os municípios de MG. Vimos que os valores de inovação para a vacina são bem mais elevados do que os valores teóricos de referência. Como os coeficientes têm uma forte relação inversa, isso implica em números bem menores do que o esperado para os coeficientes de imitação.

Por fim, é necessário chamar a atenção para a mudança de foco deste estudo, dos setores censitários de Belo Horizonte para os municípios de Minas Gerais. As análises poderiam ser mais interessantes se feitas nas regiões da cidade, porém não foi possível realizá-las, em razão da falta de informações das bases de dados publicamente disponibilizadas pelo Ministério da Saúde. Como é explicado na nota do Fórum de Direito de Acesso a Informações Públicas (2020), há uma omissão deliberada das informações que permitiriam uma análise de menor granularidade da pandemia de COVID-19.

A informação de localização do paciente dentro de seu município é essencial para fazer esse tipo de exploração, e o valor do CEP poderia servir a esse propósito. O CEP não é considerado um dado pessoal, portanto não precisa ser anonimizado. Porém, no caso da opção de anonimizar esse valor, deveria ser fornecida uma informação equivalente, como o setor censitário. Na prática, nenhuma informação desse tipo é fornecida, assim, não é possível fazer análises de menor granularidade, o que é uma grande perda em termos de estudo da pandemia no Brasil.

6 REFERÊNCIAS

ADHIKARI, A; DENERO, J. **Computational and Inferential Thinking**. Chapter 1 What is Data Science, 2020. Disponível em: <<https://inferentialthinking.com/chapters/01/what-is-data-science.html>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

CEP ABERTO. abr. de 2021. Disponível em: <<https://www.cepaberto.com/>>. Acesso em: 18 de fev. de 2022.

CEP LÁ. **Base de dados CEP**. 2018. Disponível em: <<http://cep.la/baixar>>. Acesso em: 18 de fev. de 2022.

CRUZ, E. P. **Enfermeira de São Paulo é primeira brasileira vacinada contra covid-19**. Agência Brasil, 17 de jan. de 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-01/enfermeira-de-sao-paulo-e-primeira-brasileira-vacinada-contracovid-19>>. Acesso em: 6 de set. de 2021.

DIAS, L. C. **Vacinação lenta preocupa**. Jornal da UNICAMP, 24 de mai. de 2021. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-carlos-dias/vacinacao-lenta-preocupa>>. Acesso em: 6 de set. de 2021.

FIOCRUZ. **MonitoraCovid-19**. 13 de fev. de 2022. Disponível em: <<https://bigdata-covid19.icict.fiocruz.br/>>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.

Fórum de Direito de Acesso a Informações Públicas. **Nota Técnica - Opacidade no Ministério da Saúde**. 9 de dez. de 2020. Disponível em: <https://www.transparencia.org.br/downloads/publicacoes/NotaTecnica_Opacidade_no_Ministerio_da_Saude.pdf>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

G1 MINAS. **Somente 10 cidades de Minas Gerais seguem livres de mortes causadas pela Covid; veja quais**. 9 de nov. de 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/11/09/somente-10-cidades-de-minas-gerais-seguem-livres-de-mortes-causadas-pela-covid-veja-quais.ghtml>>. Acesso em: 16 de fev. de 2022.

GeoPandas developers. **GeoPandas 0.9.0**, 2021. Disponível em: <<https://geopandas.org/>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

IBGE. **Censo Demográfico.** Base dos Dados. Disponível em: <<https://basedosdados.org/dataset/br-ibge-censo-demografico>>. Acesso em: 6 de set. de 2021.

IBGE. **Estatísticas de Gênero.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/notas_metodologicas.html?loc=0>. Acesso em: 7 de set. de 2021.

IBGE. **Estimativas da População.** 1 de jul. de 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.

IBGE. **População Residente - Minas Gerais.** Tabnet Datasus, 2012. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?ibge/cnv/popmg.def>>. Acesso em: 9 de set. de 2021.

IBGE. **Renda média domiciliar per capita - Minas Gerais.** Tabnet openDataSUS. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?ibge/censo/cnv/rendamg.def>>. Acesso em: 6 de set. de 2021.

Imperial College COVID-19 response team. **Report 22: Equity in response to the COVID-19 pandemic: an assessment of the direct and indirect impacts on disadvantaged and vulnerable populations in low-and lower middle-income countries.** 12 de maio de 2020. Disponível em: <<https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/mrc-gida/2020-05-12-COVID19-Report-22.pdf>>. Acesso em: 6 de set. de 2021.

Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais. **Downloads.** Disponível em: <<http://iede.fjp.mg.gov.br/downloads.html>>. Acesso em: 17 de fev. de 2022.

Mahajan, Vijay; Eitan Muller; Bass, Frank (1995). "**Diffusion of new products: Empirical generalizations and managerial uses**". Marketing Science. 14 (3): G79–G88. doi:10.1287/mksc.14.3.G79 .

MARINO, Aluízio. et al. **Prioridade na vacinação negligencia a geografia da Covid-19 em São Paulo.** Labcidade, 26 de maio de 2021. Disponível em: <<http://www.labcidade.fau.usp.br/prioridade-na-vacinacao-negligencia-a-geografia-da-covid-19-em-sao-paulo/>>. Acesso em: 6 de set. de 2021

PAGNO, M. **Entenda a ordem de vacinação contra a Covid-19 entre os grupos prioritários.** Ministério da Saúde - Governo Federal, 28 de jan. de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/entenda-a-ordem-de-vacinacao-contra-a-covid-19-entre-os-grupos-prioritarios>>. Acesso em: 6 de set. de 2021.

Pandas. **About pandas.** 15 de ago. de 2021. Disponível em: <<https://pandas.pydata.org/about/index.html>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

Project Jupyter, 5 de ago. de 2021. Disponível em: <<https://jupyter.org/>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE, MG. **Em Minas, 2,4 milhões não voltaram para receber a segunda dose.** 11 de fev. de 2022. Disponível em: <<https://www.saude.mg.gov.br/component/gmg/story/16348-em-minas-2-4-milhoes-nao-voltaram-para-receber-a-segunda-dose>>. Acesso em 16 de fev. de 2022.

SINAN. **Calendário Epidemiológico 2021.** 4 de jan. de 2021. Disponível em: <<http://portalsinan.saude.gov.br/calendario-epidemiologico-2020/43-institucional/171-calendario-epidemiologico-2021>>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.

SUS. **Campanha Nacional de Vacinação contra Covid-19.** openDataSUS. Disponível em: <<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/covid-19-vacinacao>>. Acesso em: 6 de set. de 2021.

SUS. **SRAG 2020 - Banco de Dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave - incluindo dados da COVID-19.** openDataSUS. Disponível em: <<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/srag-2020>>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.

SUS. **SRAG 2021 e 2022 - Banco de Dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave - incluindo dados da COVID-19.** openDataSUS. Disponível em: <<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/srag-2021-e-2022>>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.

The Matplotlib development team. **Matplotlib: Visualization with Python.** 13 de ago. de 2021. Disponível em: <<https://matplotlib.org/stable/index.html>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

The NumPy Community. **What is NumPy**, 22 de jun. de 2021. Disponível em: <<https://numpy.org/doc/stable/user/whatisnumpy.html>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

UNIMED. **Vacinas contra a COVID-19: o que você precisa saber**. 13 de jan, de 2021. Disponível em: <<https://www.unimed.coop.br/viver-bem/coronavirus/vacinas-contra-a-covid-19-o-que-voce-precisa-sab-1>>. Acesso em: 6 de set. de 2021

WIKIPEDIA. **Bass diffusion model**. 16 de out. de 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bass_diffusion_model>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.

WIKIPEDIA. **Spearman's rank correlation coefficient**. 2 de ago. de 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Spearman%27s_rank_correlation_coefficient>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.