

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MATEUS RAGANHAN FIGÊNIO**

**ANÁLISE DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS DE VACINAÇÃO CONTRA  
COVID-19 EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

**CURITIBA**

**2022**

**MATEUS RAGANHAN FIGÊNIO**

**ANÁLISE DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS DE VACINAÇÃO CONTRA  
COVID-19 EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

**Analysis of the impact of vaccination strategies against Covid-19 in  
Brazilian municipalities**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Sistemas de Informação  
do Curso de Bacharelado em Sistemas de  
Informação da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Celso Gomes Jr.

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MATEUS RAGANHAN FIGÊNIO**

**ANÁLISE DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS DE VACINAÇÃO CONTRA  
COVID-19 EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Sistemas de Informação  
do Curso de Bacharelado em Sistemas de  
Informação da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná.

Data de aprovação: 22/junho/2022

---

Leyza Baldo Dorini  
Doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Luiz Celso Gomes Jr.  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ricardo Lüders  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA  
2022**

Dedico este trabalho em memória a minha tia  
Cláudia Alves Figênio, falecida em setembro de  
2021 em decorrência da Covid-19.  
Que esta seja a despedida, que não pude dar  
em vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família e a meus amigos por todo apoio e incentivo para a minha formação.

Ao meu orientador, professor Luiz Celso, pela disposição, pelos ensinamentos e pelas contribuições ao trabalho e a minha formação.

Aos professores Luders e Leyza por aceitarem o convite para participar da banca e aos demais professores por todos os ensinamentos recebidos durante o curso.

À Rede Análise, por me incentivar à pesquisa, me apoiar no desenvolvimento do trabalho e me ajudar com seus conhecimentos sobre o tema.

## RESUMO

Em 11 de março de 2020 a OMS declarou a pandemia de Covid-19. Nesse contexto, as vacinas contra a Covid-19 foram desenvolvidas em tempo recorde e têm se provado efetivas na diminuição de casos graves e óbitos, com a primeira vacina contra Covid-19 aplicada no Brasil no dia 17 de janeiro de 2021. Apesar do começo da vacinação, o Brasil atingiu a marca de 500 mil mortos em junho de 2021, com as estratégias de vacinação variando por estados e municípios, priorizando diferentes grupos e faixas etárias da população, e apresentando diversos problemas de logística e divulgação, afetando a eficiência da cobertura. O propósito deste trabalho é analisar o impacto das estratégias de vacinação sobre os números de óbitos nos municípios brasileiros no período inicial de vacinação. As análises usaram dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde quanto à pandemia e a vacinação contra Covid-19 sendo baseadas em modelos construídos para avaliar o impacto da vacinação por grupos de atendimento e da velocidade de vacinação da população idosa. Os resultados obtidos mostram que (I) não houve desvios significativos na priorização de grupos a ponto de afetar a eficiência da campanha de vacinação; e (II) que uma vacinação mais rápida e igualitária da população idosa levaria a uma redução significativa na mortalidade.

**Palavras-chave:** covid-19; vacinação; óbitos.

## ABSTRACT

On March 11, 2020, the WHO declared the Covid-19 pandemic. In this context, vaccines against Covid-19 were developed in record time and have proven effective in reducing serious cases and deaths, with the first vaccine against Covid-19 applied in Brazil on January 17, 2021. Despite the beginning of vaccination, Brazil reached the mark of 500,000 deaths in June 2021, with vaccination strategies varying by states and municipalities, prioritizing different groups and age groups of the population, and presenting several logistical and dissemination problems, affecting coverage efficiency. The purpose of this work is to analyze the impact of vaccination strategies on the numbers of deaths in Brazilian municipalities in the initial period of vaccination. The analyzes used data made available by the Ministry of Health regarding the pandemic and vaccination against Covid-19 and were based on models built to assess the impact of vaccination by groups of care and the speed of vaccination of the elderly population. The results obtained show that (I) there were no significant deviations in the prioritization of groups to the point of affecting the efficiency of the vaccination campaign; and (II) that faster and more equitable vaccination of the elderly population would lead to a significant reduction in mortality.

**Keywords:** covid-19; vaccination; deaths.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação da visualização da vacinação em números brutos e por média móvel . . . . .	21
Figura 2 – Vacinação por grupos de atendimento de janeiro a junho de 2021 no Brasil .	22
Figura 3 – Vacinação proporcional de grupos de atendimento de janeiro a junho de 2021 no Brasil . . . . .	23
Figura 4 – Vacinação por faixa etária de janeiro a junho de 2021 no Brasil . . . . .	23
Figura 5 – Vacinação proporcional de faixa etária de janeiro a junho de 2021 no Brasil .	24
Figura 6 – Registro de óbitos de janeiro à agosto de 2021 no Brasil de casos de SRAG	25
Figura 7 – Registro de óbitos com média móvel de janeiro à agosto de 2021 no Brasil de casos de SRAG . . . . .	25
Figura 8 – Progressão bruta da vacinação nos municípios . . . . .	26
Figura 9 – Progressão em log da vacinação nos municípios . . . . .	26
Figura 10 – Progressão normalizada da vacinação nos municípios . . . . .	27
Figura 11 – Histograma da distribuição do começo normalizado da vacinação . . . . .	28
Figura 12 – Proporção de vacinação por grupos e mortalidade de cada município . . . .	30
Figura 13 – Box plot das proporções de vacinação dos municípios . . . . .	31
Figura 14 – Box plot das proporções das mortalidades observada e da prevista . . . . .	35
Figura 15 – Scatter plot e histogramas das mortalidades observada e da prevista . . . .	35



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sumário da Regressão Linear Múltipla Sobre Grupos de Vacinação . . . . .	32
Tabela 2 – Sumário da Regressão Linear Múltipla Sobre Grupos de Vacinação . . . . .	34
Tabela 3 – Resultados da Predição de Óbitos . . . . .	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Siglas

Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Covid-19	Coronavirus Disease 2019
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNO	Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a Covid-19
SIVEP-Gripe	Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica da Gripe
SRAG	Síndrome Respiratória Aguda Grave

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
2	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	14
2.1	Impacto da vacinação na Covid-19	14
2.2	Impacto de outros domínios sobre a Covid-19	15
2.3	Outras análises de impacto de intervenções	15
3	<b>METODOLOGIA</b>	16
3.1	Dados	16
3.2	Modelagem	17
3.2.1	Modelo de Grupos de Atendimento	17
3.2.2	Modelo de Cobertura	18
3.3	Recursos e Ferramentas	19
4	<b>ANÁLISE EXPLORATÓRIA</b>	21
4.1	Base Vacinação	21
4.2	Base SRAG	24
4.3	Início da Vacinação	25
5	<b>ANÁLISE DE PRIORIZAÇÃO DE GRUPOS</b>	29
5.1	Tratamento dos Dados	29
5.2	Visualização em Coordenadas Paralelas	30
5.3	Modelagem Sobre os Grupos de Atendimento	31
5.4	Discussão	32
6	<b>ANÁLISE DO IMPACTO DE COBERTURA VACINAL</b>	33
6.1	Tratamento de Dados	33
6.2	Resultados	34
6.3	Modelo Contrafactual	34
6.4	Discussão	36
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	37
	<b>REFERÊNCIAS</b>	38

## 1 INTRODUÇÃO

A primeira dose de uma vacina contra a Covid-19 foi aplicada no Brasil no dia 17 de janeiro de 2021 seguida à sua aprovação pela Anvisa, uma dose da vacina Coronavac produzida em conjunto pelo laboratório chinês Sinovac e pelo Instituto Butantan (MACHADO *et al.*, 2021-01-17). Os esforços de vacinação aumentaram com a maior disponibilidade de vacinas chegando a quase 1,5 milhão de registros de pessoas vacinadas em um único dia, em julho de 2021. Apesar desses esforços, o Brasil teve em abril do mesmo ano um pico de quase 4 mil mortes diárias e em junho foi ultrapassada a marca dos 500 mil mortos pela Covid-19 no Brasil (PILAR; CASTRO, 2021-06-28).

No entanto, segundo Victora *et al.* (2021), é possível observar os impactos iniciais da vacinação contra Covid-19 na redução de morte da população idosa (maiores de 70 anos) do Brasil a partir das primeiras semanas de vacinação, em que o grupo teve sua cobertura priorizada e quase completa em pouco tempo.

A vacinação rápida e efetiva da população contra a Covid-19 e outras doenças é de interesse para, além de reduzir o número de óbitos evitáveis, proteger a população contra o surgimento de novas e preocupantes variantes, um risco apontado pela Fundação Oswaldo Cruz (2021-03-04). Essa questão é particularmente relevante considerando que o Brasil já foi epicentro global da pandemia com o surgimento da variante Gamma no estado do Amazonas no fim do ano de 2020 (CASTRO *et al.*, 2021) e com a chegada de outras variantes do exterior, como a Delta, originária da Índia, que causa extrema preocupação por ser muito mais transmissível que outras cepas da Covid-19 (SCHIAVON, 2021-07-13). Todos esses fatores reforçam a necessidade de uma vacinação efetiva no Brasil.

O problema que este trabalho abordou foi avaliar o impacto das diferentes estratégias da vacinação contra a Covid-19 no período inicial da campanha para orientar uma vacinação mais efetiva.

O estudo utiliza os dados disponibilizados em bases de dados abertas pelo Ministério da Saúde, *openDataSUS*, quanto ao combate da pandemia da Covid-19. Especificamente, foram trabalhadas as bases de dados: da "Campanha Nacional de Vacinação contra Covid-19"(Ministério da Saúde, 2021a) e do "Banco de Dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave - incluindo dados da COVID-19"(Ministério da Saúde, 2021b). Estes domínios foram selecionados por possibilitarem observar e analisar temporalmente a vacinação contra Covid-19 e os números de óbitos por Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) nos municípios do Brasil.

Para responder à questão central deste trabalho foram propostas duas hipóteses: (I) Que a vacinação de grupos não prioritários no começo da campanha está relacionada com o aumento da mortalidade; e (II) A vacinação mais efetiva da população idosa reduziria a mortalidade. Para as hipóteses formuladas foram construídos modelos de regressão, alimentados com os dados abertos, para analisar o cenário da vacinação em municípios do Brasil, o impacto da vacinação de grupos específicos e seu reflexo nos óbitos por SRAG. O trabalho também

realizou, para a segunda hipótese, uma análise contrafactual com um cenário de melhor caso de vacinação dos idosos para quantificar os óbitos evitáveis.

Este trabalho está estruturado de modo a apresentar no Capítulo 2 uma revisão de trabalhos correlatos que meçam o impacto da vacinação em números da Covid-19, assim como o impacto de outros domínios sobre a Covid-19 e outros estudos de intervenção similares. No Capítulo 3 são descritas as bases de dados a partir das quais este trabalho realizou suas análises, os passos da modelagem proposta e recursos e ferramentas utilizados. O Capítulo 4 apresenta gráficos e observações obtidos da análise exploratória das bases de dados e a estipulação do início da vacinação nos municípios, essa última detalha o tratamento de dados sendo o ponto de partida das modelagens subsequentes. No Capítulo 5 é relatada a modelagem da vacinação por grupos de atendimento sobre dados de óbitos, enquanto no Capítulo 6 temos a modelagem da velocidade de vacinação da população com 65 anos ou mais sobre dados de óbitos. Este último conta também com a modelagem contrafactual que estima as mortes evitáveis a partir dos melhores cenários de vacinação dessa população. Por fim, no Capítulo 7, temos a considerações finais deste trabalho e os possíveis trabalhos futuros.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, será apresentada uma revisão de trabalhos relacionados ao tema e à proposta de pesquisa. Foram procurados trabalhos que analisam o impacto na vacinação contra Covid-19 em números de óbitos, mas também outros estudos que examinam o impacto das ações de outros domínios em números da Covid-19 e trabalhos que analisam impactos de um domínio sobre outro.

### 2.1 Impacto da vacinação na Covid-19

Em Victora *et al.* (2021), temos uma estimativa do impacto inicial da vacinação da população idosa do Brasil (acima de 70 anos) na redução da sua mortalidade proporcional por Covid-19, tendo como base dados de vacinação e óbitos do Ministério da Saúde e estimativas atualizadas da população brasileira por parte do IBGE.

Realizando uma análise com base nas proporções de mortalidade (por causas outras e por SRAG) e na proporção de cobertura vacinal de indivíduos dos grupos de idade com mais de 70 anos entre as semanas epidemiológicas 1 à 19 de 2021, observaram que a proporção de mortalidade por Covid-19 de indivíduos com mais de 80 anos, que estava em mais de 25% até a semana epidemiológica 6, foi reduzida para 12,4% na semana 19, enquanto a mortalidade por Covid-19 de pessoas de 70-79 anos passou a reduzir a partir da semana 15. Essas reduções de mortalidade nas faixas da população acima de 70 anos foram observadas apesar da disseminação da variante Gamma, acompanhada por um aumento no registro de óbitos a partir da semana 9 (início do mês de março) da população geral, cuja mortalidade pela Covid-19 é menor que a da população acima de 70 anos.

Já em Vasileiou *et al.* (2021) foi realizada uma análise da efetividade das vacinas contra Covid-19 (Pfizer-BioNTech e Oxford-AstraZeneca) em reduzir o risco relativo de admissões de casos severos de Covid-19 em hospitais na Escócia após a sua vacinação em comparação à população não vacinada.

Foi construída uma coorte observacional (grupo de sujeitos semelhantes observados antes, durante e após uma exposição) com cobertura ao nível nacional na Escócia usando um conjunto de dados exclusivo consistindo de vacinação, atenção primária, testes laboratoriais, hospitalização e dados de mortalidade (VASILEIOU *et al.*, 2021). Sobre esta coorte foram aplicadas análises estatísticas, avaliando o efeito de uma dose de qualquer vacina contra admissões hospitalares relacionadas à infecção por Covid-19 para grupos vacinados e não vacinados. Após 28-34 dias da aplicação da primeira dose da vacina foi observada uma redução de 85% e 94% do risco relativo de admissão em hospitais de casos severos de Covid-19 para as vacinas da Pfizer-BioNTech e da Oxford-AstraZeneca, respectivamente.

## 2.2 Impacto de outros domínios sobre a Covid-19

Buscando por análises do impacto de outros domínios em números da Covid-19, temos em Neelon *et al.* (2021) uma análise longitudinal das diferenças em números de testagem, casos e mortes de Covid-19 em estados dos Estados Unidos e sua associação com orientação política dos governadores desses estados, no período de março à dezembro de 2020. O modelo foi ajustado para dados estaduais de densidade populacional, ruralidade, região do censo, idade, raça, etnia, pobreza, número de médicos, obesidade, doenças cardiovasculares, asma, tabagismo e votação presidencial em 2020 (NEELON *et al.*, 2021).

Com isso, foi observado que de março à junho os estados democratas tinham maior incidência de casos que estados republicanos, mas a tendência se reverteu a partir de junho e persistiu até dezembro, em que estes passaram a liderar não só incidência de casos, mas também as proporções de mortes e positividade de testes, enquanto realizavam menos testes que estados democratas.

## 2.3 Outras análises de impacto de intervenções

Buscando por análises de impactos em outros domínios temos em Calderon-Anyosa e Kaufman (2021) uma análise inicial do impacto que políticas de *lockdown* contra a Covid-19 tiveram em números de homicídios, suicídios e morte por veículo motor no Peru, baseando-se em dados do SINADEF (*Sistema Informático Nacional de Defunciones*), Sistema Nacional de Informação de Óbitos peruano.

Aplicando uma análise estatística de série temporal interrompida sobre os dados do SINADEF (sendo a interrupção o período de efetivação do *lockdown*) foram observados, além do efeito direto das medidas de *lockdown* em reduzir a transmissão da doença, impactos em números de mortes violentas e acidentais, como a redução de 12,22 mortes por milhão de homens por mês em acidentes de trânsito e de 3,55 mortes por milhão de mulheres por mês. Homicídios e suicídios de homens e mulheres também diminuíram significativamente após a implementação do *lockdown*, apesar de que os números de mortes violentas voltam a aumentar gradualmente no período posterior às medidas de isolamento.

### 3 METODOLOGIA

A Seção 3.1 a seguir descreve e detalha as bases de dados utilizadas neste trabalho, assim como adversidades de sua utilização e informações de destaque. Na Seção 3.2 temos uma descrição das modelagens propostas para testar as hipóteses deste trabalho e a Seção 3.3 descreve brevemente os recursos e ferramentas utilizadas.

#### 3.1 Dados

A principal base empregada é a base de microdados da "Campanha Nacional de Vacinação contra Covid-19"(Ministério da Saúde, 2021a), que neste texto será referida como Base Vacinação, e a qual é disponibilizada pelo DataSUS na sua plataforma de dados abertos. Nela, se encontram os registros individuais e anonimizados de cada dose de vacina aplicada na campanha contra a Covid-19 desde o seu início. A base é atualizada diariamente e disponibiliza arquivos *.csv* (*Comma-separated values*) por estado e um arquivo completo com dados de todos os estados. Os dados da campanha de vacinação incluem informações do paciente (idade, sexo biológico, raça, grupo de atendimento, município de endereço, etc), dados do estabelecimento em que a vacina foi aplicada (CEP, unidade federativa, município, nome fantasia, etc) e dados da vacina (código, fabricante, lote, data de aplicação, etc). Das informações do paciente, o dado de grupo de atendimento é o que caracteriza a qual grupo prioritário de vacinação a pessoa pertence. Esse é o dado que este trabalho utiliza para determinar como se deu a priorização da vacinação em cada município.

Outra base de dados utilizada é a "SRAG 2021 (e 2020) - Banco de Dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave - incluindo dados da COVID-19"(Ministério da Saúde, 2021b), a qual será referida neste texto como Base SRAG. A base herdou seu formato (e alguns dados) da "Vigilância de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG)"(Ministério da Saúde, 2020) e tem seus dados disponibilizados na página do *openDataSus* sendo dividida em uma base para dados de 2020 e outra para dados de 2021. Os dados dessa base com maior relevância para este trabalho se referem a informações quanto a localidade, evolução e data de conclusão de caso de SRAG (se concluiu em óbito).

Por serem bases de microdados, ou seja, com os registros individuais de cada vacina ou caso clínico, as bases não requerem trabalho com ferramentas probabilísticas e de amostragem para serem usadas. Porém, como consequência disso, as bases são grandes e exigem cuidado no seu uso, principalmente a Base Vacinação em que foi necessário o emprego de um banco de dados para conseguir trabalhar com sua extensão e detalhamento.

Além disso, dado a seu escopo ao nível nacional, as bases são sujeitas a falhas, erros e inconsistência de dados e preenchimento, seja pela falta de preparo e treinamento dos trabalhadores responsáveis por alimentar as bases ou pela própria variabilidade esperada que municípios com populações menores têm em apresentar *outliers*. Por isso, para evitar proble-



mas de inconsistência, erros e *outliers*, as análises aqui propostas foram limitadas a observar apenas os municípios com mais de 50 mil habitantes, reduzindo dos mais de 5.000 municípios do Brasil para cerca de 670 os analisados.

Um dos riscos ao qual este trabalho esteve sujeito foi a possibilidade de mudanças de políticas de registros de óbitos por Covid-19 pelo Ministério da Saúde, algo que quase foi realizado no início de 2021, mas que não ocorreu pela resistência à tal mudança por parte de especialistas e da população (COLETTA; CANCIAN, 2021-03-24). Se implantada essa medida, fariam necessários reajustes das métricas de impacto utilizada, caso não inviabilizasse por completo a análise contínua de dados da pandemia pela mudança de métricas. Outro risco, até mais grave, é de que os dados abertos deixassem de ser disponibilizados pelo Ministério da Saúde, seja por instabilidades dos sistemas ou falhas de segurança, como ocorreu no fim de dezembro de 2021 em que vários sites do governo com dados da Covid-19 ficaram fora do ar devido a um ataque cibernético (AMADO, 2021-12-30); seja pela própria iniciativa do governo, como ocorreu com o portal de dados da Covid-19, tirado do ar em junho de 2020 pelo próprio ministério (IstoÉ, 2020-06-06).

## 3.2 Modelagem

A modelagem foi precedida por uma análise exploratória dos dados, descrita no Capítulo 4, visando observar tendências ou correlações iniciais entre estratégias de vacinação e número de óbitos em municípios, também servindo para explorar por limitações e desafios dos dados à proposta de pesquisa. Ambas as modelagens utilizaram modelos de regressão linear, pois este modelo estima o coeficiente do impacto cada variável de entrada na variável de resposta e também fornece a significância estatística desse impacto com base na amostra fornecida.

### 3.2.1 Modelo de Grupos de Atendimento

Para testar a hipótese "que a vacinação de grupos não prioritários no começo da campanha está relacionada com o aumento da mortalidade", foi definido um modelo de regressão linear múltipla que recebe como valores de entrada a proporção de vacinas dedicadas a grupos de atendimento prioritários e não prioritários e tem como valor de resposta a diferença de mortalidade observada em cada município. Os grupos prioritários e não prioritários nesse momento da campanha foram definidos com base no Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a Covid-19 - PNO do Ministério da Saúde (2022-02-25). A fórmula que descreve este modelo está expressa na Fórmula (1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 Z_3 + \beta_4 Z_4 + \varepsilon \quad (1)$$

onde,

- $Y$  é a diferença entre a mortalidade *per capita* entre o período anterior e posterior à vacinação;
- $X_1$  é a proporção de vacinas que o grupo "Comorbidades" recebeu;
- $X_2$  é a proporção de vacinas que o grupo "Acima de 65 anos" recebeu;
- $Z_3$  é a variável de controle que representa a Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>) do município;
- $Z_4$  é a variável de controle que representa o PIB *per capita* do município;

O período de vacinação analisado foi o do primeiro mês de vacinação efetiva, ou seja, as quatro primeiras semanas a partir do dia 0 normalizado de início da campanha. Foram definidas como variáveis independentes  $X$  as proporções de vacinas dedicadas a cada grupo de atendimento analisado do total de vacinas aplicadas pelo município e, como variável dependente  $Y$ , a diferença entre a mortalidade *per capita* dos períodos anterior e posterior ao período de vacinação observado. Os períodos de mortalidade também tem durações de 4 semanas sendo intervalados para ficarem o mais próximo um do outro sem, ainda, terem sobreposição sobre o efeito que observam (o da vacinação).

Para analisar a vacinação de grupos prioritários e não prioritários foram selecionados os grupos de atendimento de: "Pessoas com 65 anos ou mais" como grupo prioritário e de "Comorbidades" como grupo não prioritário, por serem os grupos com maior presença no período analisado e serem classificados nessa ordem de prioridades pelo PNO neste momento da campanha.

Também foram adicionadas como variáveis independentes dados socioeconômicos dos municípios, para atuarem como variáveis de controle para variações sociais e históricas entre localidades. Foram escolhidas as variáveis de Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>), para representar a concentração populacional, e o PIB *per capita*, para representar o nível de desenvolvimento, qualidade de vida e renda.

### 3.2.2 Modelo de Cobertura

Para testar a hipótese que "a vacinação mais efetiva da população idosa reduziria a mortalidade", foi definido um modelo de regressão linear que recebe a cobertura vacinal da população com 65 anos e calcula sua influência na diferença da mortalidade no período observado e, posteriormente, para gerar a estimativa de óbitos evitáveis para o melhor caso de vacinação quando comparado com o cenário real. A fórmula que descreve este modelo está expressa na Fórmula (2):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad (2)$$

onde,

- $Y$  é a diferença entre a mortalidade *per capita* entre o período anterior e posterior à vacinação;
- $X_1$  é a proporção da população idosa vacinada no período analisado;

A variável dependente  $Y$  representa a diferença da mortalidade total entre os períodos anterior e posterior à vacinação como calculada no Modelo de Grupos e a variável independente  $X$  representa o percentual da população com 65 anos ou mais do município que tomou a primeira dose da vacina contra Covid-19 no período observado.

Para gerar a previsão da mortalidade no melhor caso de vacinação, foram selecionados os valores do nono decil da cobertura de vacinação da população idosa (a maior cobertura vacinal é o melhor caso) para serem utilizados como amostra a ser atribuída aos municípios. O modelo treinado com o caso real de vacinação e mortalidade é, então, alimentado com a vacinação de melhor caso para gerar a previsão da mortalidade para este cenário. Por fim, são calculados os óbitos esperados em cada município para a mortalidade real e para a mortalidade de melhor caso, sendo tirada a diferença desses valores para obter os óbitos evitáveis.

Neste modelo não foram incluídas variáveis de controle, pois estas têm influência sobre a capacidade de vacinação do município e ofuscam o efeito da cobertura de vacinação. Esta não é apenas dependente da estratégia adotada pelo município, mas também das condições socioeconômicas de cada localidade.

### 3.3 Recursos e Ferramentas

Por estarem sendo trabalhadas bases de dados com registro individuais de cada vacina ou caso de SRAG, há um grande volume de dados a ser manuseado. Esse é o caso, particularmente, da base da Campanha da Vacinação, em que na última data de acesso (dia 29/08/2021) o arquivo de Dados Completos apresentava 87GB de tamanho e continha o registro de mais de 180 milhões de aplicações de doses de vacinas contra a Covid-19. Portanto, dado ao grande volume de dados, é empregado um sistema gerenciador de banco de dados objeto relacional *PostgreSQL* para gravar os registros da vacinação, limpar os registros de erros de preenchimento ou formatação e então executar operações de agrupamento e seleção de dados que alimentam a análise e modelagem deste trabalho. Para visualizar e monitorar esse sistema de banco de dados, é feito o uso de um software cliente SQL e ferramenta de administração de bancos de dados denominado *DBeaver*.

Para manter o banco atualizado, foram escritos scripts *Python* para: (1) baixar automaticamente os dados disponibilizados pelo DataSUS; (2) configurar tabelas para carregar os registros; (3) carregar os registros no banco e então (4) filtrar erros e validar o preenchimento retornando uma tabela de vacinação limpa.

Já a análise exploratória e modelagem foram executadas em *Jupyter Notebooks* com implementação na linguagem *Python*, sendo feito o uso de uma biblioteca de mapeamento objeto-relacional SQL chamada *SQLAlchemy* para fazer consultas ao banco e de uma biblioteca de gráficos interativos para *Python* chamada *Plotly* para a visualização dos dados e análises.

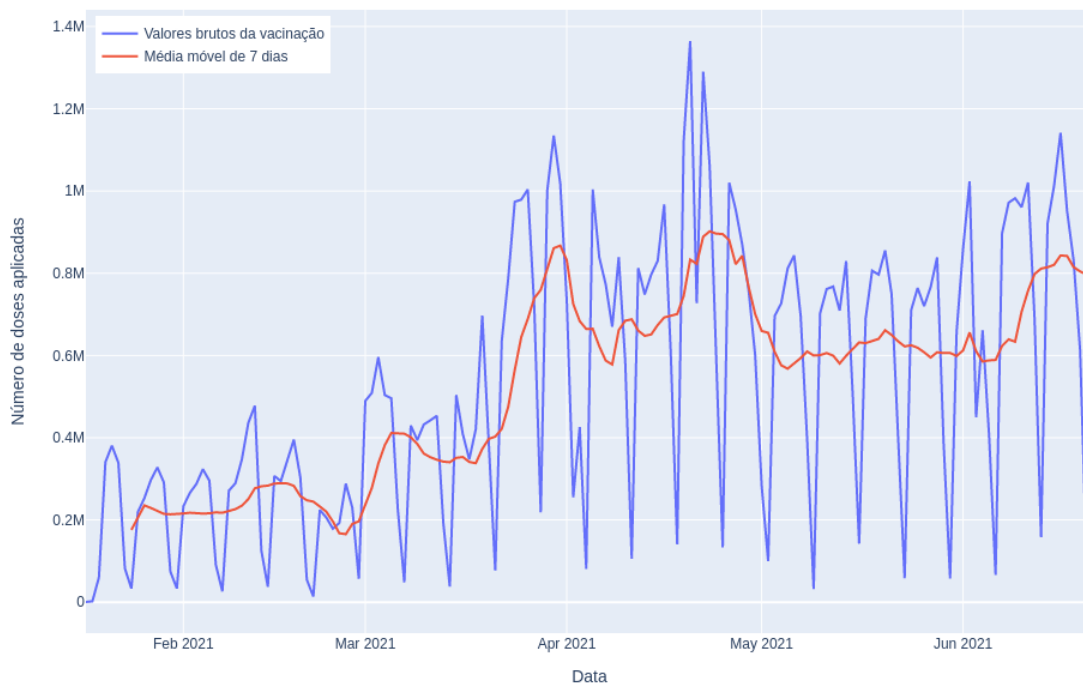
## 4 ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Este capítulo apresenta visualizações e gráficos advindos da análise exploratória da Base Vacinação e da Base SRAG. A Seção 4.1 expõe gráficos referentes à campanha de vacinação e a Seção 4.2 gráficos referentes às datas de conclusão de casos de SRAG cuja evolução resultaram em óbitos. Na Seção 4.3 temos a análise do começo da vacinação dos municípios, a qual concebe, como resultado, o tratamento de dados do qual partem as modelagens subsequentes.

### 4.1 Base Vacinação

Aqui são apresentados dados de vacinação desde o início da campanha, em 17 de janeiro, até o dia 21 de junho de 2021. Os gráficos exibidos são referentes à visão nacional da campanha de vacinação.

**Figura 1 – Comparação da visualização da vacinação em números brutos e por média móvel**



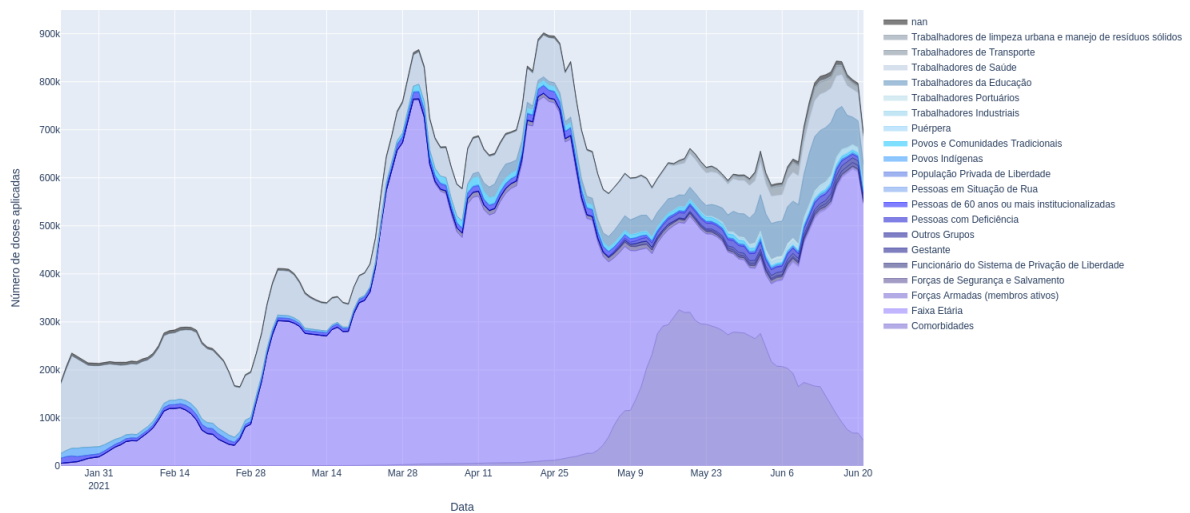
**Fonte: Autoria própria.**

A Figura 1 ilustra a série temporal da aplicação diária das vacinas a partir dos dados brutos da vacinação, em azul, e como os dados se comportam com a aplicação da média móvel, em vermelho.

Ao visualizar diretamente os dados brutos de vacinação, das vacinas aplicadas por dia, há dificuldade em observar as tendências de vacinação, pois os valores diários variam muito numa mesma semana e em determinados dias (como domingos) a vacinação cai drasticamente por não ser um dia efetivo da campanha. Disso advém as recorrentes e extremas baixas periódicas na vacinação diária. Portanto, é utilizada a média móvel simples, com uma janela de 7 dias, para suavizar os dados da vacinação e assim melhor observar tendências.

Na Figura 2 temos uma visualização em números absolutos da vacinação contra Covid-19 no Brasil dividida por grupos de atendimento como trabalhadores da saúde, trabalhadores da educação, por faixa etária e vários outros (*nan* são aqueles sem registro de grupo de atendimento). Nela é possível observar que certos grupos tiveram prioridade inicial, como trabalhadores da saúde, e outros grupos tiveram prioridade em outros momentos, como comorbidades tomando destaque em maio e início de junho.

**Figura 2 – Vacinação por grupos de atendimento de janeiro a junho de 2021 no Brasil**



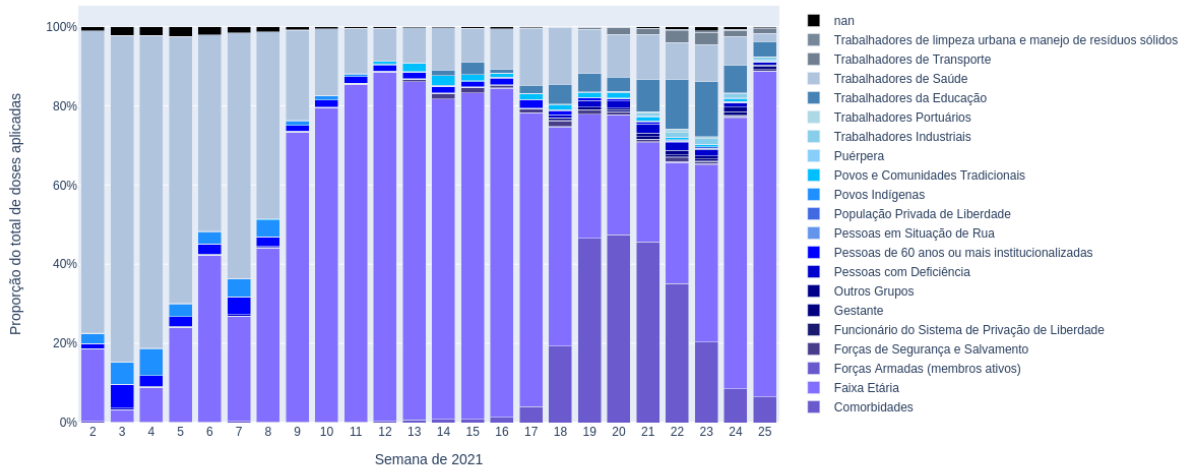
Fonte: Autoria própria.

Mas, para ter uma visão mais clara da priorização da vacinação de cada grupo temporalmente, temos, na Figura 3, uma visualização em barras da proporção de vacinas que cada grupo de atendimento recebeu em cada semana da campanha de vacinação.

Um problema dos gráficos anteriores é que a vacinação por idade é agrupada inteiramente sob o rótulo de "Faixa Etária", sem fazer diferenciação entre a população idosa, adulta e infantil sendo que cada uma teve uma priorização diferente (a primeira destas sendo uma das mais prioritárias para receber a vacina). Dessa forma, também foram geradas visualizações apenas por faixas etárias. Na Figura 4 temos a visualização dos números absolutos da vacinação por faixas etárias normalizados por uma média móvel e na Figura 5 a visualização proporcional da vacinação dessas faixas de idade.

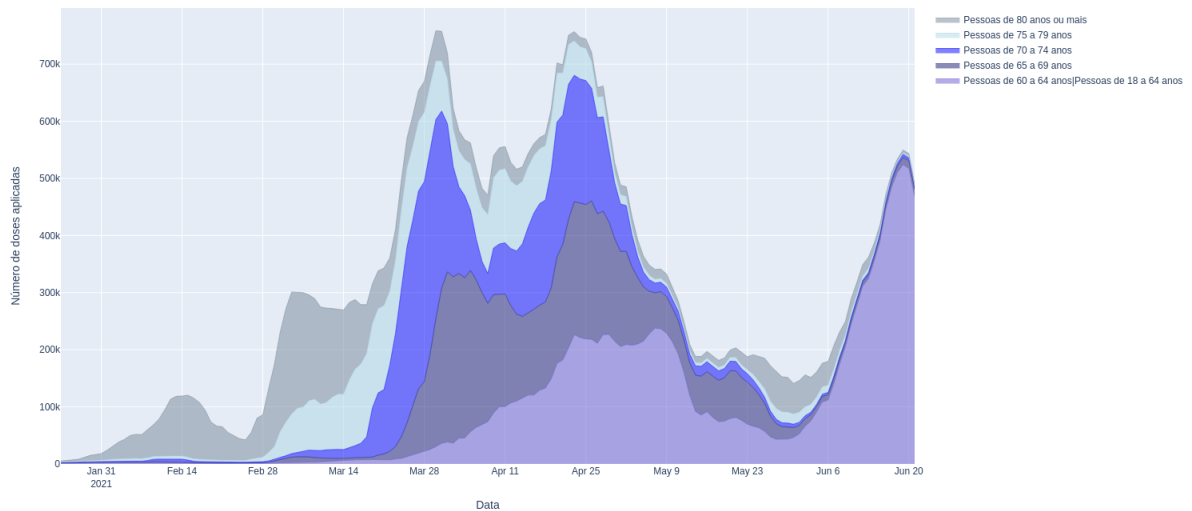
Assim, observa-se que o grupo de atendimento que teve a maior prioridade no início da vacinação foi de trabalhadores da área da saúde. Estes foram acompanhados, em menor me-

**Figura 3 – Vacinação proporcional de grupos de atendimento de janeiro a junho de 2021 no Brasil**



Fonte: Autoria própria.

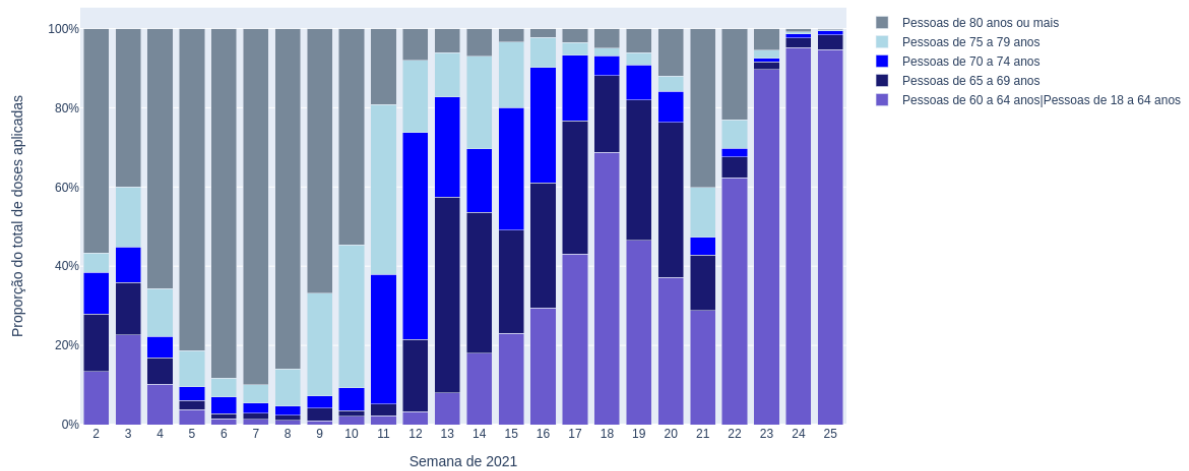
**Figura 4 – Vacinação por faixa etária de janeiro a junho de 2021 no Brasil**



Fonte: Autoria própria.

vida, pela vacinação de povos indígenas e de pessoas com mais de 60 anos de idade institucionalizadas. A seguir, observando vacinação por faixa de idade nas Figuras 4 e 5, é constatado o predomínio da vacinação da população acima de 69 anos, que então foi seguida pelo grupo de comorbidades. Por fim, após a vacinação dos grupos anteriores, começou a vacinação da população com menos de 60 anos que passou a ser o grupo mais predominante na continuação da campanha.

**Figura 5 – Vacinação proporcional de faixa etária de janeiro a junho de 2021 no Brasil**



Fonte: Autoria própria.

#### 4.2 Base SRAG

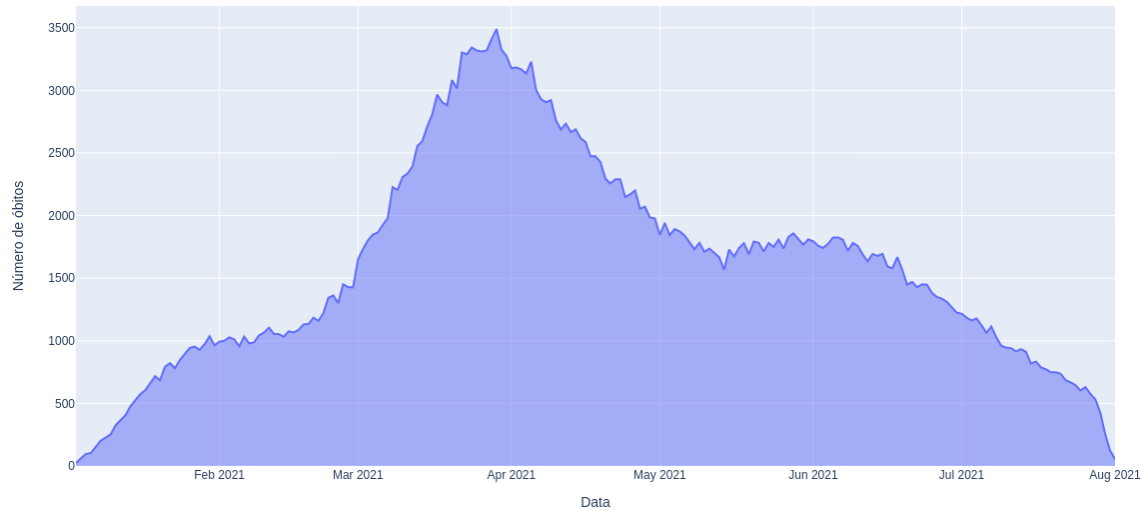
Aqui são apresentados dados desde o início do ano, 3 de janeiro, até o dia 1 de agosto. Os gráficos aqui exibidos são referentes à visão nacional de casos de SRAG, sendo contabilizadas a data de conclusão de casos cuja evolução foi o óbito do paciente por sintomas relacionados à SRAG.

Na Figura 6 temos a representação dos dados brutos da Base SRAG, a curva de óbitos, e a Figura 7 apresenta a curva de registros sob a suavização por média móvel com uma janela de 7 dias. No caso da observação do registro de casos de óbito a média móvel não agrega tanto para a visualização de tendências quanto agregou para a da vacinação, apesar de suavizar a curva observada, pois os registros contabilizados da Base SRAG são feitos com base da data de fim do caso, cuja precisão não é afetada por represamento ou outros fatores de registro mais imediatos, porque o óbito do paciente não é dependente do dia da semana, como no caso da vacinação.

Por fim, em ambas as bases foi observado um atraso de registros nas semanas mais próximas de sua divulgação. Nos gráficos totais de vacinação e óbitos, sejam de dados brutos ou com média móvel, observa-se uma súbita queda de registros, mesmo no caso da diminuição dos registros de óbitos a queda da última semana é maior que a esperada pela tendência. Contudo, isto não afeta este trabalho, pois, a proposta é de analisar o período inicial da vacinação, período já muito além do impacto do represamento

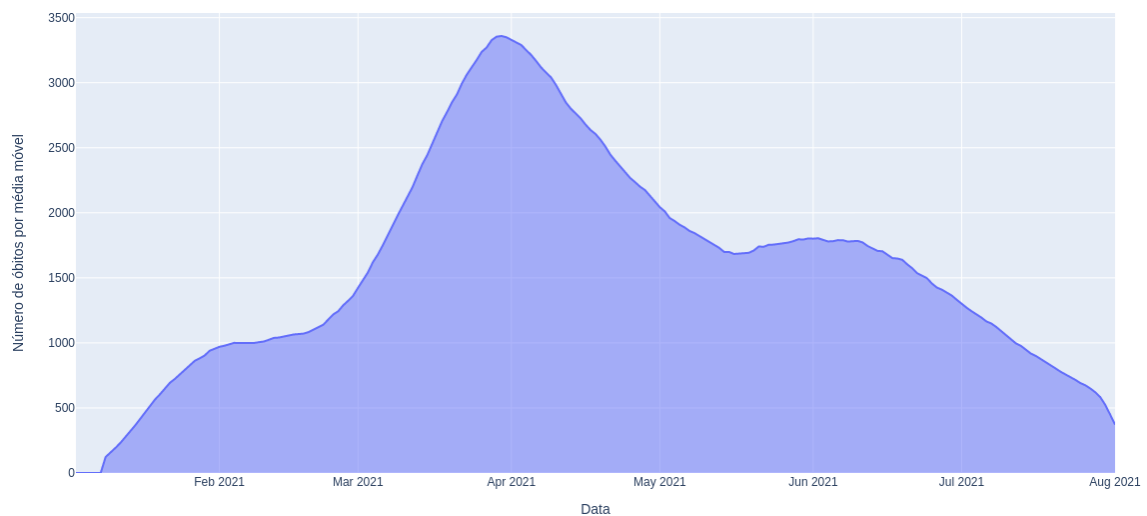


**Figura 6 – Registro de óbitos de janeiro à agosto de 2021 no Brasil de casos de SRAG**



**Fonte: Autoria própria.**

**Figura 7 – Registro de óbitos com média móvel de janeiro à agosto de 2021 no Brasil de casos de SRAG**



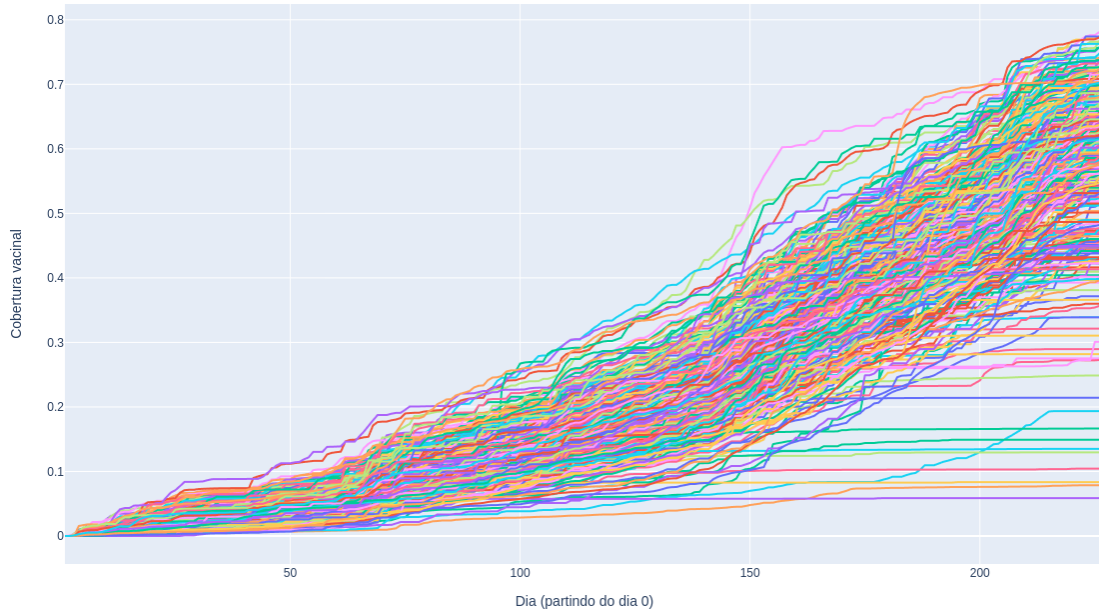
**Fonte: Autoria própria.**

### 4.3 Início da Vacinação

Como o problema central deste trabalho é de analisar o início da vacinação nos municípios e considerando que alguns municípios demoraram mais para receber e aplicar suas primeiras doses da vacina, é necessário normalizar o período de vacinação para poder comparar, com efeito, o progresso da campanha entre as localidades. Para tal, foi gerada uma visualização do progresso da vacinação de cada um dos municípios, na Figura 8, para observar como a vacinação evoluiu em cada localidade. Para essa visualização, tomamos como dia 0 o primeiro

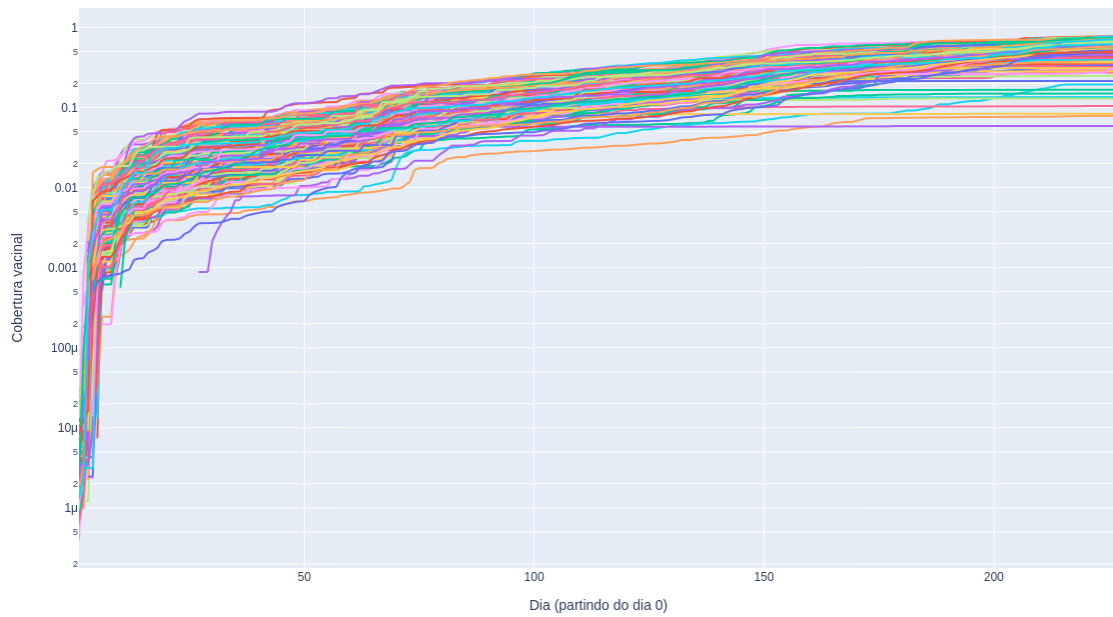
dia em que uma vacina foi aplicada no município e exibimos a série temporal, tendo no eixo y a proporção do total da população do município que recebeu a primeira dose da vacina.

**Figura 8 – Progressão bruta da vacinação nos municípios**



**Fonte: Autoria própria.**

**Figura 9 – Progressão em log da vacinação nos municípios**



**Fonte: Autoria própria.**

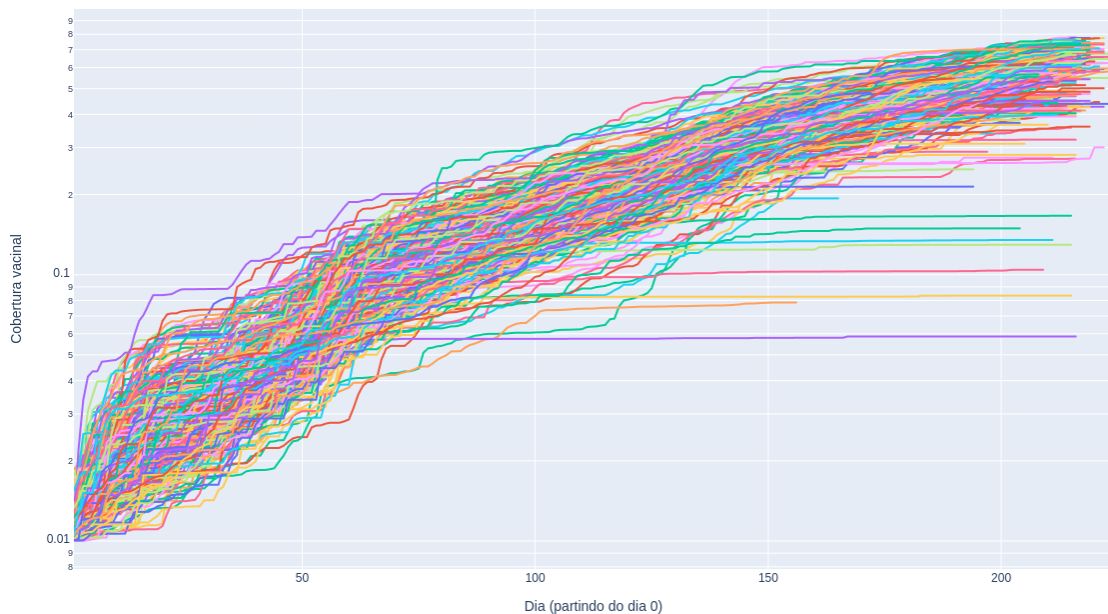
A figura mostra que vários municípios demoraram para começar efetivamente a vacinação (aplicar em larga escala). Esse problema fica mais evidente ao mudar a escala do eixo y

da Figura 8 de linear para logarítmica. Na Figura 9, assumindo essa escala para os mesmos dados, observa-se uma curva acentuada nos primeiros 30 dias, que evidencia a estagnação da vacinação nos municípios no início da campanha.

Portanto, para a normalizar o começo da vacinação nos municípios é importante considerar, também, o tempo necessário para a vacinação atingir uma velocidade representativa.

A heurística tomada para decidir quando a vacinação em uma localidade passou a ser efetiva se baseia na observação do logaritmo da cobertura vacinal, buscando o recorte em que este se nivela, mas, também, evitando perder muitos dados do período inicial (a lentidão é esperada e não de todo descartável). Portanto, foi considerado como recorte mínimo para considerar o começo da vacinação efetiva um município passar de 1% da sua população ser vacinada. O resultado dessa operação é representado na Figura 10.

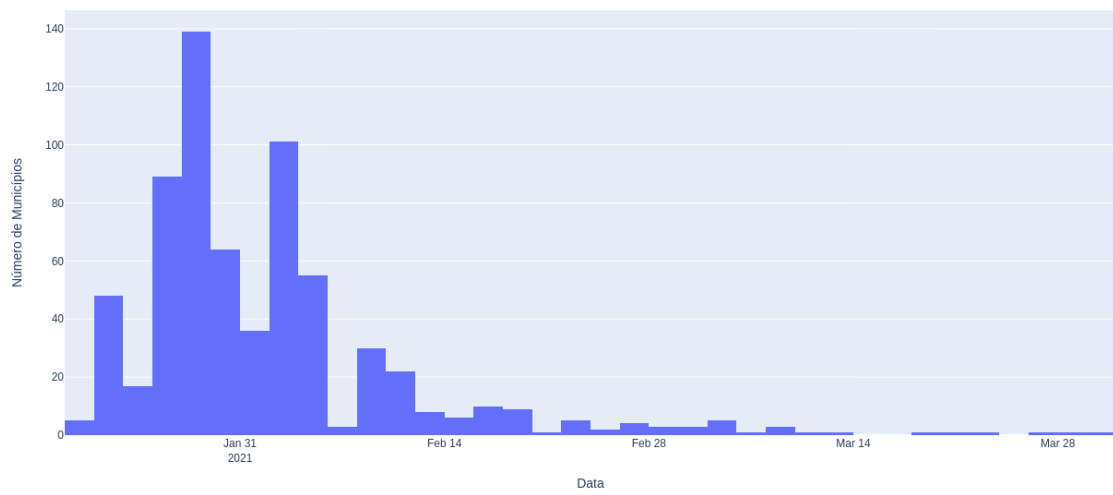
**Figura 10 – Progressão normalizada da vacinação nos municípios**



**Fonte: Autoria própria.**

Com a normalização do começo da vacinação para os municípios, considerando o começo efetivo, é possível observar a distribuição do início da vacinação temporalmente com a Figura 11. Mesmo considerando os municípios com mais de 50 mil habitantes, alguns destes passaram a ter uma vacinação efetiva apenas ao fim de março de 2021, mais de 2 meses depois da aplicação da primeira vacina contra Covid-19 no Brasil.

**Figura 11 – Histograma da distribuição do começo normalizado da vacinação**



**Fonte: Autoria própria.**

## 5 ANÁLISE DE PRIORIZAÇÃO DE GRUPOS

Neste capítulo são apresentados tratamentos de dados, visualizações e modelagens realizadas sobre os dados de vacinação e de óbitos no período inicial de vacinação visando testar a hipótese de que municípios que não seguiram as diretrizes do PNO no primeiro mês de campanha, de priorizar idosos e trabalhadores da saúde, tiveram maiores aumentos das taxas de mortalidade do que aqueles que se alinharam ao plano.

### 5.1 Tratamento dos Dados

Para analisar o impacto das estratégias de vacinação, foram realizadas as seguintes operações: (I) observar a vacinação dos grupos de atendimento; (II) estabelecer um período anterior à vacinação como referência para observar a mortalidade anterior à campanha; (III) estabelecer um período de observação da mortalidade posterior ao fim da vacinação observada, para comparar com o período de referência; e, assim, (IV) calcular a alteração da mortalidade.

Partindo da normalização do começo da vacinação nos municípios, apresentada na Seção 4.3, definimos como o período de início da vacinação a ser analisado as primeiras 4 semanas da campanha em cada localidade, partindo do dia 0 normalizado. Neste intervalo, todas as doses de vacinas aplicadas foram somadas por grupo de atendimento, para cada município, e convertidas de dados absolutos para dados percentuais do total aplicado, modelando, assim, a estratégia de vacinação adotada pelo município (das vacinas recebidas qual proporção foi dedicada a qual grupo).

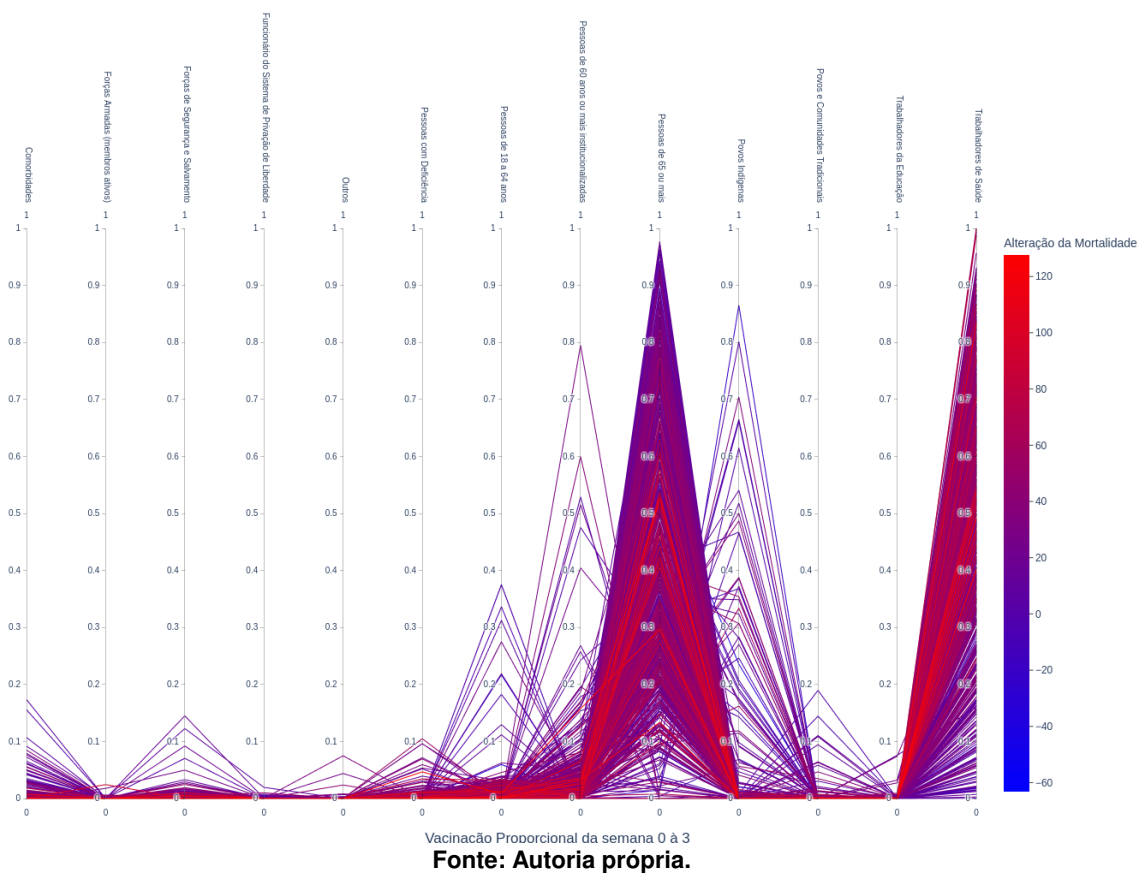
A estipulação do período de referência da mortalidade se deu determinando o período mais próximo à vacinação sem estar sujeito aos seus efeitos, enquanto o período posterior foi determinado como o período mais próximo do fim da vacinação que consiga captar os seus efeitos. Como o período observado de vacinação é de um mês, um intervalo suficiente para não observar, ainda, os efeitos da vacinação nos óbitos, foi determinado que o período de referência da mortalidade coincida com o de vacinação. Já para o período posterior da mortalidade, foi estipulado para iniciar duas semanas após o fim da observação para contar com o completo desenvolvimento da imunidade dos vacinados.

Para ambos os períodos de mortalidade, de referência e de efeito, foram somados os óbitos neles registrados que, então, foram normalizados pela população do município, obtendo assim a mortalidade de cada período. Já a alteração na mortalidade de um município é calculada como a diferença da mortalidade posterior à vacinação para a de referência (anterior à vacinação).

## 5.2 Visualização em Coordenadas Paralelas

Para visualizar conjuntamente a vacinação dos grupos de atendimento e a variação da mortalidade em cada município, foi elaborada uma visualização em coordenadas paralelas (Figura 12). Cada linha da figura representa um município e cada eixo representa um grupo de atendimento. O encontro entre as linhas e eixos representa a proporção de vacinas dedicadas ao respectivo grupo no período analisado. A cor das linhas representa a variação da mortalidade no município entre os períodos anteriores e posteriores ao período da vacinação, cujos valores são representados na legenda.

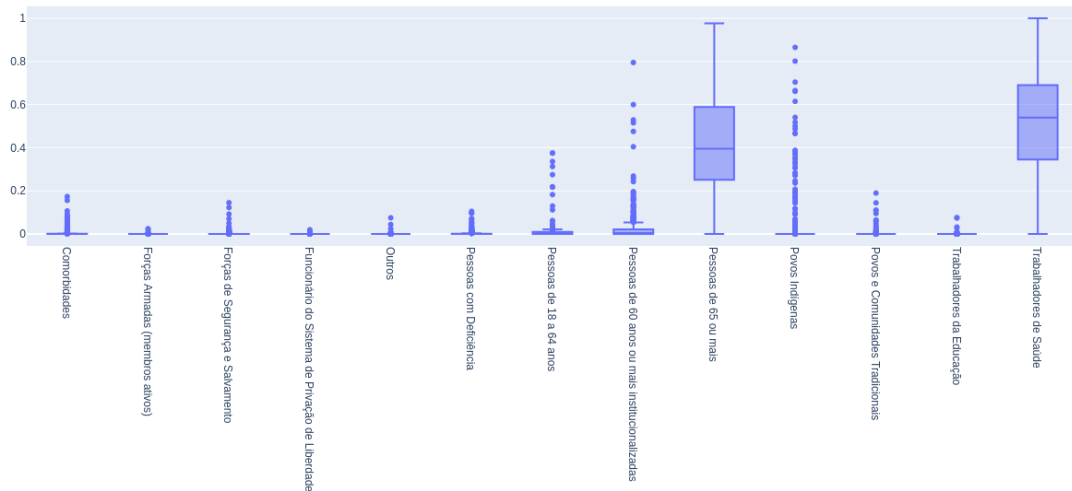
**Figura 12 – Proporção de vacinação por grupos e mortalidade de cada município**



Complementar a essa visualização, temos na Figura 13 a visualização em Box Plot da vacinação de cada grupo de atendimento pelos municípios nesse mesmo período, que permite observar as tendências e a variação da vacinação de maneira mais clara.

Em conjunto, essas visualizações nos permitem constatar que, primeiro, não é imediata a relação entre a vacinação de determinados grupos de atendimento e a variação na mortalidade. Se muito, a maior vacinação de trabalhadores da saúde aparenta estar relacionada ao aumento de mortalidade, o que deve estar mais associado à observação da mortalidade utilizada na visualização ser limitada a óbitos por casos de SRAG e não a mortalidade geral, já

**Figura 13 – Box plot das proporções de vacinação dos municípios**



Fonte: Autoria própria.

que a diminuição da capacidade hospitalar pela falta de trabalhadores acarreta o aumento da mortalidade geral.

Segundo, a maioria dos municípios seguiu o PNO e se encontravam no intervalo de transição da vacinação de trabalhadores da saúde para a vacinação de pessoas com 65 anos ou mais. Os municípios que desviaram dessa tendência, vacinando a população com comorbidades, se encontram em pouquíssima quantidade, sendo mais adequado identificá-los como *outliers* do que representantes de processos paralelos ou diferentes tendências de vacinação.

### 5.3 Modelagem Sobre os Grupos de Atendimento

Para analisar se a vacinação em grupos não prioritários afetou a mortalidade, construímos um modelo para medir o efeito da vacinação do grupo de comorbidades. A hipótese é que municípios sem intenção de seguir as diretrizes o PNO poderiam priorizar o grupo de comorbidades. Com os dados tratados foi aplicado um modelo de regressão linear múltipla como determinado na Seção 3.2.1.

Como variáveis independentes para investigar nossa hipótese temos a proporção de vacinas dos grupos de atendimento de "65 anos ou mais" como grupo prioritário, "comorbidades" como não prioritário e o PIB per Capita e a Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>) de cada município como variáveis de controle. A Densidade Demográfica foi escolhida por condensar variáveis como Área e População, esta última extremamente relevante para um cenário de pandemia, e o PIB per capita é utilizado por representar fatores como desenvolvimento, qualidade de vida e renda no município. Como variável dependente, temos a diferença da mortalidade após o início da campanha quando comparada com o período de referência. Na Tabela 1, são apresentados os resultados da regressão linear múltipla.

Tabela 1 – Sumário da Regressão Linear Múltipla Sobre Grupos de Vacinação

<b>Dep. Variable:</b>	Diferença na Mortalidade	<b>R-squared:</b>	0.078
<b>Model:</b>	OLS	<b>Adj. R-squared:</b>	0.072
	<b>coef</b>	<b>std err</b>	<b>P &gt;  t </b>
<b>Intercept</b>	23.9240	4.238	0.000
<b>Comorbidades</b>	-151.6047	65.379	0.021
<b>Pessoas de 65 ou mais</b>	-20.1417	3.993	0.000
<b>Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>)</b>	1.5671	0.376	0.000
<b>PIB per Capita</b>	-0.2065	0.362	0.569

O modelo aponta haver uma associação negativa entre a vacinação de comorbidades e a mortalidade observada, indicado pelo coeficiente negativo atribuído à variável pela regressão. Porém, com uma significância estatística menor do que a da vacinação de 65 anos ou mais, que também apresenta uma associação negativa com a mortalidade observada, além de um erro três vezes maior do que a proporção entre os coeficientes das duas variáveis.

Quanto às variáveis de controle, a densidade demográfica apresentou uma relação positiva com o coeficiente de mortalidade com significância estatística. Já o *PIB per Capita* não apresentou uma relação confiável, sendo a única variável não estatisticamente relevante como indicado pelo seu *P-value*.

#### 5.4 Discussão

O modelo tem uma explicabilidade baixa do cenário de vacinação, apontado pelo valor baixo do *R-squared*, o que é esperado dada a complexidade do tema e os vários fatores que nele influenciam. Além disso, ele contraria a hipótese proposta de que a vacinação de grupos não prioritários no início da campanha de vacinação está relacionado com o aumento da mortalidade. As visualizações das Figuras 12 e 13 ilustram que o desvio das estratégias de vacinação para o que foi delineado no PNO foi mínimo, de forma que atribuímos esse resultado mais à limitada vacinação das comorbidades e a baixa captura do cenário pelo modelo do que a um efeito expressivo da vacinação desse grupo em reduzir a mortalidade.



## 6 ANÁLISE DO IMPACTO DE COBERTURA VACINAL

Neste capítulo são apresentados tratamentos de dados, visualizações e modelagens realizadas sobre os dados de vacinação por idade e de óbitos no período inicial da campanha, com o objetivo testar a hipótese de que a vacinação mais ampla da população idosa reduziria a mortalidade observada. Para complementar a análise, também foi realizada uma análise contrafactual, utilizando o modelo de cobertura treinado com os dados reais para gerar um cenário de melhor caso e comparar o efeito de uma vacinação mais rápida e igualitária.

### 6.1 Tratamento de Dados

Para analisar o impacto da cobertura vacinal da população com 65 anos ou mais, foram realizadas as seguintes operações: (I) averiguar a cobertura da vacinação dessa população; (II) estabelecer um período anterior à vacinação para observar a mortalidade anterior à campanha, como referência; (III) estabelecer um período de observação da mortalidade posterior ao fim da vacinação observada, para comparar com o período de referência; e, assim, (IV) calcular a alteração da mortalidade.

O tratamento de dados para o modelo de cobertura vacinal utiliza dos mesmos períodos de observação, para vacinação e mortalidade, determinados no tratamento de dados do modelo de grupos. Mas, diferente daquele, aqui se busca observar a cobertura vacinal da população com 65 anos ou mais. A cobertura é calculada dividindo as vacinas aplicadas nesse grupo pelas estimativas dessa faixa etária da população, segundo o IBGE. Já o cálculo da mortalidade para os períodos anterior e posterior da vacinação e a diferença entre eles foi realizada da mesma forma que do Modelo de Grupos (descrito na Seção 5.1).

Para estimar o número de óbitos evitáveis em um melhor caso de vacinação, foram realizadas as seguintes operações: (I) selecionar os valores de melhor caso de cobertura vacinal da população idosa de municípios brasileiros para uma amostragem; (II) atribuir valores aleatórios para todos os outros municípios com base nessa amostra de melhor caso; (III) alimentar o modelo com esse novo cenário para gerar estimativas de mortalidade esperadas; e, assim, (IV) calcular a diferença de óbitos do caso real para os de melhor caso de vacinação da população idosa, resultando nos óbitos evitáveis.

Partido dos valores de cobertura vacinal, os melhores casos são selecionados do nono decil dos municípios analisados, ou seja, os 10% dos municípios que mais vacinaram o grupo de interesse. Com base nessa amostra, são atribuídos aleatoriamente valores de vacinação para outros municípios e calculada a mortalidade esperada caso todos eles tivessem seguido um melhor cenário de vacinação. As estimativas de melhor caso foram estimadas a partir de casos reais de vacinação para manter viabilidade desse cenário e não partir apenas de cenários hipotéticos. Tendo os valores de mortalidade de melhor caso para cada município, esses valores são convertidos de mortalidade para óbitos e somados os óbitos esperados de todas

as localidades para, enfim, calcular a diferença entre os totais de óbitos reais e estimados para obter os óbitos evitáveis.

## 6.2 Resultados

Com os dados tratados, foi aplicado um modelo de regressão linear como determinado na Seção 3.2.2 para testar a hipótese de que "a vacinação mais efetiva da população idosa reduziria a mortalidade observada".

Como variável independente para investigar nossa hipótese temos a proporção do total da população com 65 anos ou mais do município que recebeu a primeira dose da vacina. Na Tabela 2, são apresentados os resultados dessa regressão.

**Tabela 2 – Sumário da Regressão Linear Múltipla Sobre Grupos de Vacinação**

<b>Dep. Variable:</b>	Diferença na Mortalidade	<b>R-squared:</b>	0.042
<b>Model:</b>	OLS	<b>Adj. R-squared:</b>	0.041
	<b>coef</b>	<b>std err</b>	<b>P&gt;  t </b>
<b>Intercept</b>	32.0965	1.353	0.000
<b>Velocidade da Vacinação 65+ anos</b>	-52.7668	9.688	0.000

O modelo avalia que a cobertura vacinal da população idosa tem uma relação negativa com a mortalidade observada, como aponta o seu coeficiente, e com boa significância estatística, como aponta o seu *P-value*. Apesar de esse modelo também demonstrar uma explicabilidade baixa do cenário, como ilustrado pelo *R-squared*.

## 6.3 Modelo Contrafactual

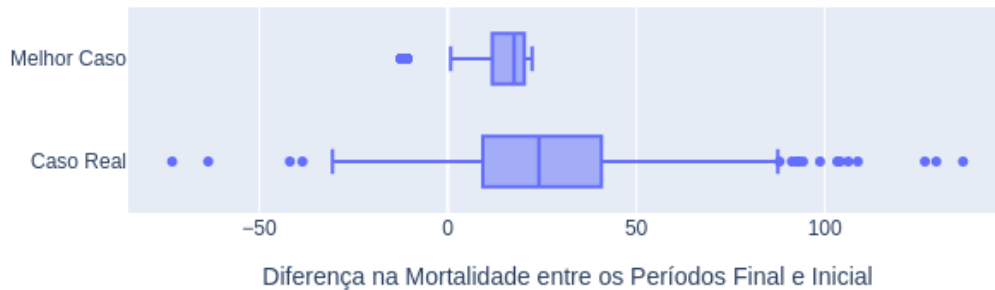
Com o modelo de cobertura treinado com os dados de vacinação e mortalidade reais, passamos para uma análise contrafactual com um cenário de melhor caso de vacinação para comparar a mortalidade esperada para esse caso com a observada.

Para tal, foram selecionados os municípios do nono decil da cobertura vacinal (maior cobertura equivale ao melhor cenário) como amostra a partir da qual é obtido um novo cenário para a vacinação de todos os municípios. Os dados deste novo cenário são alimentados no modelo, que retorna sua predição para a mortalidade nesse cenário de melhor caso.

Temos na Figura 14 uma comparação entre a distribuição dos valores de diferença de mortalidade para a predição do melhor caso e para a da realidade. Essa figura, ilustra que a mortalidade real tem uma média mais alta que a prevista, assim como um desvio muitas vezes maior. Com a Figura 15, observamos a distribuição entre a diferença da mortalidade prevista e a observada para cada município, com sua distribuição em histograma, que mostra que a mortalidade real apresenta uma curva próxima da binomial com uma curvatura mais suave

**Figura 14 – Box plot das proporções das mortalidades observada e da prevista**

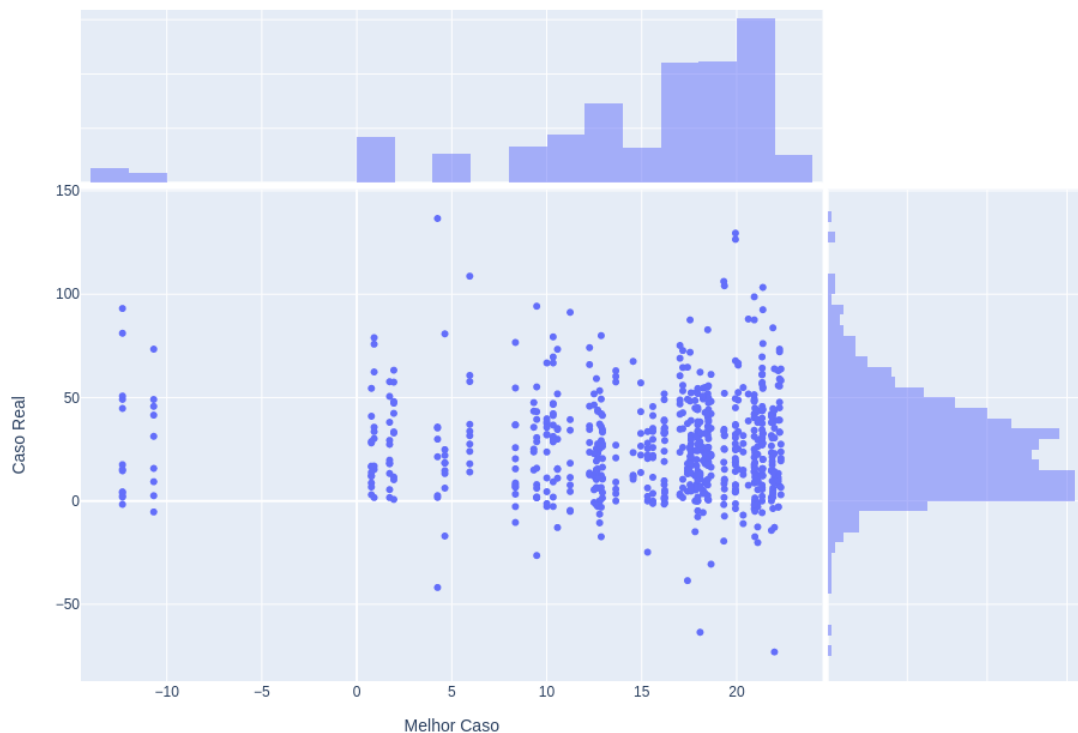
Box Plot da Predição e Caso Real



Fonte: Autoria própria.

em seu segundo e primeiros quadrantes, enquanto a curva da prevista apresenta um caso extremado desse mesmo padrão.

**Figura 15 – Scatter plot e histogramas das mortalidades observada e da prevista**



Fonte: Autoria própria.

Por fim, para estimar os óbitos evitáveis em um melhor caso de vacinação, calculamos quantos óbitos as mortalidades prevista e real estimam para os municípios e tiramos a diferença entre elas. O resultado é apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resultados da Predição de Óbitos**

<b>Caso</b>	<b>Óbitos Estimados</b>
Melhor caso	20.187
Caso Real	42.539
Diferença entre os casos	22.341

#### **6.4 Discussão**

O modelo tem uma explicabilidade baixa do cenário mas ele apoia a hipótese de que a maior cobertura vacinal da população com 65 anos ou mais reduziria a mortalidade. Apesar de ainda prever um aumento na mortalidade no período posterior a vacinação observada, já que paralelamente ao processo de vacinação analisado o Brasil sofria da onda de casos e óbitos ocasionados pela variante Gamma da Covid-19, a previsão de melhor caso esperava um crescimento 53% menor do que o registrado, um valor que equivale a 22.341 óbitos evitáveis.

O cálculo do início da vacinação nos município, detalhado na Seção 4.3, já apontava que apesar do começo nominal da vacinação no Brasil houve um atraso para o começo efetivo e em escala da imunização da população. O modelo aqui apresentado reforça que se a vacinação tivesse sido mais rápida e igualitária, a mortalidade observada da pandemia seria menor.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscando orientar estratégias de vacinação mais efetivas, neste trabalho analisamos o impacto das estratégias de vacinação contra Covid-19 nos municípios brasileiros sobre os óbitos por SRAG a partir de duas hipóteses: (I) Que a vacinação de grupos não prioritários no começo da campanha está relacionada com o aumento da mortalidade, e (II) A vacinação mais efetiva e igualitária da população idosa reduziria a mortalidade. Foram aplicados modelos estatísticos para avaliar as hipóteses e obter o impacto da vacinação de determinados grupos na mortalidade. Também foi possível gerar um modelo contrafactual para comparar o cenário real com um cenário de melhor caso da vacinação.

As análises apontam que no início da campanha de vacinação não houve desvios significativos das estratégias de vacinação a ponto de afetar sua eficiência. A vacinação de grupos não prioritários foi restrita a raras exceções e, ainda assim, está relacionada com a redução na mortalidade onde ocorreu. As análises ainda apontam, com maior grau de confiança, que a vacinação de pessoas com 65 anos ou mais também está associada com a redução de mortalidade nos municípios.

Quanto a velocidade de vacinação da população idosa, o modelo contrafactual de melhor cenário baseado nos municípios que propiciaram uma maior cobertura da faixa etária aponta que, se esse cenário tivesse sido replicado em outros municípios, a mortalidade esperada seria 53% menor do que a observada, chegando ao total de 22.341 óbitos evitáveis contabilizando todas localidades analisadas.

Trabalhos futuros podem explorar com mais profundidade pontos simplificados na pesquisa atual, como a determinação do início efetivo da vacinação nos municípios. Apesar de seguir uma heurística que aproxima ao resultado desejado, outras abordagens que considerem valores absolutos de vacinas e da população vacinada poderiam determinar com maior precisão o começo da vacinação nos municípios analisados. Outra análise interessante seria avaliar os fatores socioeconômicos e estruturais que influenciam na desigualdade da capacidade de vacinação nos municípios.

## REFERÊNCIAS

AMADO, G. **Dados de Covid do Ministério da Saúde estão fora do ar há 20 dias.** 2021–12–30. Disponível em: <https://www.metropoles.com/colunas/guilherme-amado/dados-de-covid-do-ministerio-da-saude-estao-fora-do-ar-ha-20-dias>.

CALDERON-ANYOSA, R. J.; KAUFMAN, J. S. Impact of covid-19 lockdown policy on homicide, suicide, and motor vehicle deaths in peru. **Preventive Medicine**, v. 143, p. 106331, 2021. ISSN 0091-7435. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091743520303625>.

CASTRO, M. C. *et al.* Spatiotemporal pattern of covid-19 spread in brazil. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 372, n. 6544, p. 821–826, 2021. ISSN 0036-8075. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/372/6544/821>.

COLETTA, R. D.; CANCIAN, N. **Após críticas, Ministério da Saúde suspende mudanças no registro de mortes por Covid-19.** 2021–03–24. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2021/03/apos-criticas-ministerio-da-saude-suspende-mudancas-no-registro-de-mortes-por-covid-19.shtml>.

Fundação Oswaldo Cruz. **Fiocruz detecta mutação associada a variantes de preocupação no país.** 2021–03–04. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/fiocruz-detecta-mutacao-associada-variantes-de-preocupacao-no-pais>.

IstoÉ. **Ministério da Saúde tira portal com dados sobre Covid do ar.** 2020–06–06. Disponível em: <https://istoe.com.br/ministerio-da-saude-tira-portal-com-dados-sobre-covid-do-ar/>.

MACHADO, L. *et al.* **Logo após aprovação da Anvisa, governo de SP aplica em enfermeira a 1ª dose de vacina contra Covid-19 no Brasil.** 2021–01–17. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/01/17/apos-aprovacao-da-anvisa-governo-de-sp-aplica-1a-dose-da-coronavac-antes-do-inicio-do-plano-nacional-de-operacionalizacao-da-vacina-contr-a-covid-19.html>.

Ministério da Saúde. **SRAG 2021 - Banco de Dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave - incluindo dados da COVID-19.** 2020. Disponível em: <http://plataforma.saude.gov.br/coronavirus/dados-abertos/>.

Ministério da Saúde. **Campanha Nacional de Vacinação contra Covid-19.** 2021. Disponível em: <https://opendatusus.saude.gov.br/dataset/covid-19-vacinacao>.

Ministério da Saúde. **SRAG 2021 - Banco de Dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave - incluindo dados da COVID-19.** 2021. Disponível em: <https://opendatusus.saude.gov.br/dataset/bd-srag-2021>.

Ministério da Saúde. **Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a Covid-19 - PNO.** 2022–02–25. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/vacinas/plano-nacional-de-operacionalizacao-da-vacina-contr-a-covid-19>.

NEELON, B. *et al.* Associations between governor political affiliation and covid-19 cases, deaths, and testing in the u.s. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 61, n. 1, p. 115–119, 2021. ISSN 0749-3797. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749379721001355>.

PILAR, A. F.; CASTRO, R. **Boletim destaca marco de 500 mil mortes por Covid-19 no Brasil**. 2021-06-28. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/boletim-destaca-marco-de-500-mil-mortes-por-covid-19-no-brasil>.

SCHIAVON, F. **Variante Delta pode levar a aumento de casos de Covid-19 no Brasil**. 2021-07-13. Disponível em: <https://saude.abril.com.br/medicina/variante-delta-pode-levar-a-aumento-de-casos-de-covid-19-no-brasil/>.

VASILEIOU, E. *et al.* Effectiveness of first dose of covid-19 vaccines against hospital admissions in scotland: National prospective cohort study of 5.4 million people. **The Lancet**, 2021.

VICTORA, C. *et al.* Estimating the early impact of vaccination against covid-19 on deaths among elderly people in brazil: analyses of routinely-collected data on vaccine coverage and mortality. **medRxiv**, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2021. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/06/19/2021.04.27.21256187>.