



Dayana Ximenes dos Santos Frazão

**Regressão de Poisson para análise da incidência de
óbitos de COVID-19 nas cidades do Rio de Janeiro:
uma abordagem sócio-demográfica**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio

Orientadora: Prof. Paula Medina Maçaira Louro

Co-orientador: Prof Pedro Gomes Andrade

Rio de Janeiro

abril de 2022



Dayana Ximenes dos Santos Frazão

**Regressão de Poisson para análise da incidência de
óbitos de COVID-19 nas cidades do Rio de Janeiro:
uma abordagem sócio-demográfica**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Logística pelo Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Paula Medina Maçaira Louro

Presidente e Orientadora

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Pedro Gomes Andrade

Co-Orientador

ENANI

Prof. Fernanda Araújo Baião Amorim

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Leonardo dos Santos Lourenço Bastos

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de abril de 2022

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e da orientadora.

Dayana Ximenes dos Santos Frazão

Graduou-se em Engenharia Industrial, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e em técnico de telecomunicações, pelo CEFET-RJ. Concluiu pela UERJ um MBA em Gestão de Projetos. Atualmente participa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio para obtenção do título de mestre.

Ficha Catalográfica

Frazão, Dayana Ximenes dos Santos

Regressão de Poisson para análise da incidência de óbitos de COVID-19 nas cidades do Rio de Janeiro : uma abordagem sócio-demográfica / Dayana Ximenes dos Santos Frazão ; orientadora: Paula Medina Maçaira Louro ; co-orientador: Pedro Gomes Andrade. – 2022.

45 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 202.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Regressão de Poisson. 3. Epidemia. 4. Rio de Janeiro. 5. COVID-19. I. Louro, Paula Medina Maçaira. II. Andrade, Pedro Gomes. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus,

A minha mãe por estar ao meu lado sempre,

Agradeço ao meu esposo Emilio pelo apoio incondicional,

A minha filha que nasceu no meio da execução do mestrado me trazendo muita alegria,

A minha orientadora e o meu co-orientador pela compreensão e paciência nessa jornada,

Finalmente, à Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro pelo aprendizado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) -Código de Financiamento 001.

Resumo

Frazão, Dayana Ximenes dos Santos; Louro, Paula Medina Maçaira; Andrade, Pedro Gomes; **Regressão de Poisson para análise de incidência de óbitos de COVID-19 nas cidades do Rio de Janeiro: uma abordagem sócio-demográfica**; Rio de Janeiro, 2022. 45p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Desde fevereiro de 2020 a pandemia gerada pelo novo coronavírus Sars-CoV-2, vírus gerador da doença COVID-19, tem causado muitos óbitos, principalmente nos grandes centros urbanos. No Brasil, um dos estados mais afetados foi o Rio de Janeiro que, apesar de todas as ações feitas para mitigar o avanço da COVID-19, chegou em 01 de março de 2021 a uma taxa de mortalidade de 206,9%, que corresponde a aproximadamente 207 óbitos a cada mil habitantes. No entanto, os municípios do RJ foram atingidos de maneira distinta, onde a cidade menos afetada alcançou 9,7% e a mais afetada 331,3%. Estudos prévios da literatura especializada indicam que a principal razão desta discrepância pode ser associada à fatores relacionados a população, renda, educação, saúde, economia, território e ambiente. Portanto, esse trabalho tem como principal objetivo identificar os principais fatores socioeconômicos, sociodemográficos e de acesso a recursos hospitalares que estão associadas a taxa de mortalidade oriunda do Sars-CoV-2 nos noventa e dois municípios do estado do Rio de Janeiro com base no modelo de Regressão de Poisson, no período de 01 de março de 2020 a 01 de março de 2021, contabilizando 12 meses. A partir do modelo escolhido foi possível detectar que dez dos onze fatores analisados influenciam na taxa de mortalidade. Sendo os fatores, Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), Renda per capita (RDPC), Percentual de pobres (PMPOB), Produto interno bruto (PIB), Taxa de frequência bruta ao superior (T_FBSUPER), percentual de aglomerados subnormais (PER_AGSN), Densidade demográfica, Número de leitos hospitalares do SUS por habitante, Número de leitos hospitalares totais por habitante e Número de respiradores por habitante. Assim, os resultados obtidos com base nesses fatores analisados podem auxiliar na criação de ações mitigadoras mais direcionadas e eficientes, de acordo com as características dos municípios do estado do Rio de Janeiro.

Palavras-chave

Regressão de Poisson, Epidemia, Rio de Janeiro, COVID-19.

Abstract

Frazão, Dayana Ximenes dos Santos; Louro, Paula Medina Maçaira; Andrade, Pedro Gomes; **Poisson regression to analyze the incidence of deaths from in the cities of Rio de Janeiro: A socio-demographic approach**; Rio de Janeiro, 2022. 45p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Since February 2020 the pandemic generated by the new coronavirus Sars-CoV-2, the virus generating the disease COVID-19, has caused many deaths, mainly in large urban centers. In Brazil, one of the most affected states was Rio de Janeiro, which, despite all the actions taken to mitigate the progress of COVID-19, reached on March 1, 2021 a mortality rate of 206.9%, which corresponds to approximately 207 deaths per thousand inhabitants. However, the Rio de Janeiro municipalities were affected differently, where the least affected city reached 9.7% and the most affected 331.3%. Previous studies in the specialized literature indicate that the main reason for this discrepancy may be associated with factors related to population, income, education, health, economy, territory, and environment. Therefore, this work has as main objective to identify the main socioeconomic, socio-demographic factors and access to hospital resources that are associated with the mortality rate from Sars-CoV-2 in the ninety-two municipalities in the state of Rio de Janeiro based on the Poisson Regression model, in the period from March 01, 2020 to March 01, 2021, accounting for 12 months. From the model chosen it was possible to detect those ten of the eleven factors analyzed influence the mortality rate. The factors being, municipal human development index (IDHM), per capita income (RDPC), percentage of poor (PMPOB), gross domestic product (GDP), gross attendance rate to higher (T_FBSUPER), percentage of subnormal settlements (PER_AGSN), demographic density, number of SUS hospital beds per inhabitant, number of total hospital beds per inhabitant and number of respirators per inhabitant. Thus, the results obtained based on these analyzed factors can help in the creation of more targeted and efficient mitigating actions, according to the characteristics of the municipalities in the state of Rio de Janeiro.

Keywords

Regression of Poisson, Epidemic, Rio de Janeiro, COVID-19.

Sumário

1 Introdução	10
2 Contexto do problema	15
3 Materiais	19
4 Métodos	23
5 Resultados	27
6 Conclusão	37
7 Referências bibliográficas	39
APÊNDICE I – Equações do modelo escolhido no processo de modelagem.	45

Lista de figuras

Figura 1 – Método	23
Figura 2 – Histogramas	29
Figura 3 - Matriz de Correlação.....	31
Figura 4 - Gráficos dos resíduos	35

Lista de tabelas

Tabela 1 - Variáveis independentes	22
Tabela 2 – Intensidades de correlação entre duas variáveis (x e y)	24
Tabela 4 - Análise estatística das variáveis	30
Tabela 5 - Variáveis independentes ordenadas pela correlação com a variável dependente.	32
Tabela 6 - Tabela com os modelos da regressão de Poisson	33
Tabela 7 - Ajuste do Modelo 10	34
Tabela 8 – Razões de taxas	34
Tabela 9 - Valores do desvio D	35

1 Introdução

Em dezembro de 2019, houve um surto de pneumonia de causa inicialmente desconhecida na cidade de Wuhan, localizada na província de Hubei, na China, cujos casos estavam vinculados ao Mercado Atacadista de Frutos do Mar de Huanan (CAVALCANTE et al, 2020). Ainda segundo Cavalcante et al (2020), após esse surto pesquisadores chineses identificaram um novo coronavírus causador de uma síndrome respiratória aguda grave, que acabou nomeada por eles como SARS-CoV-2, gerador da doença COVID-19. Posteriormente, esse vírus chegou em mais de 196 países, dentre eles o Brasil e teve os primeiros epicentros na Europa (HASHIM; ALSUWAIDI; KHAN, 2020).

Diante da rapidez da disseminação do SARS-CoV-2, a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou em 30 de janeiro de 2020 que o surto da COVID-19 era uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPIII) e posteriormente classificada como pandemia (DE SOUSA MARTINS et al, 2020).

No Brasil, tendo o primeiro caso sido confirmado em 25 de fevereiro de 2020 na cidade de São Paulo (RIBEIRO; FABIANA, 2020), como nos demais países, a transmissão do vírus foi rápida. Uma hipótese da rapidez da disseminação é devido a cidade de São Paulo ser a cidade mais populosa da América do Sul e possuir o maior aeroporto do Brasil, segundo De Sousa Martins et al (2020), tendo em vista que o principal foco da disseminação é através de pessoas que foram infectadas em outros países e voltaram para os seus de origem transmitindo o vírus.

Outro grande centro urbano do Brasil afetado foi a cidade do Rio de Janeiro, que teve o seu primeiro caso registrado em 6 de março de 2020, apenas 11 dias após o primeiro caso do país (Painel Coronavírus do Governo Brasileiro, 2021)¹. Um ano depois, a cidade do Rio de Janeiro já era a segunda cidade do Brasil com maior número de óbitos por COVID-19, chegando em 01 de março de

¹ Painel Coronavírus do Governo Brasileiro, 2021. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em 24/07/21

2021 (Painel Coronavírus do Governo Brasileiro, 2021)² ao número de 33.093 óbitos. No entanto, esse número pode ser considerado ainda bem maior na realidade dos fatores, devido às subnotificações que podem ser causadas pela baixa testagem (RIBEIRO; BERNARDES, 2020). Segundo Prado et al (2020) a taxa de notificação no estado do Rio de Janeiro em abril de 2020 era de 7,2%.

Esse alto índice de casos e óbitos na cidade do Rio de Janeiro afetou as outras cidades do estado, devido a conexão econômica e da necessidade da população dos demais municípios de buscarem serviços de saúde com mais estrutura na capital (FORTES; OLIVEIRA; SOUSA, 2020).

Nas capitais segundo Wong e Carvalho (2006), essa procura ao serviço de saúde foi feita principalmente pela população acima de 60 anos e que possui problemas crônicos. No estado do Rio de Janeiro a proporção da população com mais de 60 anos está acima da média nacional (COSTA et al, 2020) e com base nestas características da população, esta região era mais predisposta a ter casos graves (CODEÇO et al, 2020). Isto porque, segundo Oliveira et al (2021), como a idade é um fator que aparece em vários estudos sobre fatores associados a taxa de mortalidade pela COVID-19, os idosos possuem normalmente uma maior probabilidade de contrair doenças infecciosas de forma grave. Além disso, os idosos possuem uma tendência a ter imunidade baixa, além de maior frequência de comorbidades, como doenças cardiovasculares, diabetes e doenças pulmonares crônicas (OLIVEIRA et al, 2021).

Para mitigar a proliferação da COVID-19, o governo federal implementou algumas medidas, sendo uma das primeiras: o isolamento social (COSTA et al, 2020). Para a adesão ao isolamento social, alguns decretos foram publicados e adaptados de acordo com o número de óbitos em cada estado. No Rio de Janeiro, o primeiro decreto foi o de Nº 46.966 de 11 de março de 2020, descrevia algumas das medidas que poderiam ser adotadas para o enfrentamento da emergência de saúde ocasionada pela pandemia: isolamento; quarentena; exames médicos; testes laboratoriais; coleta de amostras clínicas; vacinação e outras medidas profiláticas; tratamentos médicos específicos; estudo ou investigação epidemiológica; exumação, necropsia, cremação e manejo de cadáver; requisições de bens e

² Painel Coronavírus do Governo Brasileiro, 2021. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em 24/07/21

serviços de pessoas naturais e jurídicas, hipótese em que será garantido o pagamento posterior de indenização justa. Com o decorrer da pandemia outros decretos foram criados impondo algumas obrigadoriedades como: uso de máscaras; suspensão de shows e eventos; suspensão de visitas às unidades prisionais, inclusive aquelas de natureza íntima; proibição de visita aos pacientes diagnosticados com a COVID-19 e aos internados na rede pública ou privada de saúde. Além dos decretos, em 18 de janeiro de 2021, os municípios iniciaram, quase um ano após o registro do primeiro caso, a vacinação das suas populações, com base na aprovação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (CNN Brasil, 2021)³. De acordo com o ministério da saúde até o dia 01 de março de 2021, 627.588 doses foram aplicadas, sendo 499.853 de 1ª dose e 127.735 de 2ª dose (G1, 2021)⁴. Considerando a população fluminense de 17.463.349 habitantes (IBGE, 2021)⁵, 2,86% dos habitantes já haviam tomado a primeira dose e 0,73% deles já teriam também a 2ª dose e se encontrava imunizada nesta data.

Apesar das ações mitigadoras, algumas características das cidades do estado do Rio de Janeiro influenciaram na proliferação do vírus, como os assentamentos precários e os aglomerados subnormais (AGSN). Segundo Rodrigues (2020) as regiões metropolitanas das capitais, como o estado do Rio de Janeiro, possuem mais de 80% dos assentamentos precários do país e no estado do Rio de Janeiro, se comparados aos do estado de São Paulo, que possui a maior taxa de mortalidade, estão em menor quantidade (DIALOGOSPOLITIVOS, 2011)⁶. Porém, possuem as maiores comunidades e com uma alta densidade, tendo em algumas mais de mil habitantes (DIALOGOSPOLITIVOS, 2011)⁷.

³ CNN Brasil, 2021. Vacinação contra Covid-19 pelo Brasil e mais notícias de 18 de janeiro. CNN Brasil, 18/01/21. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/vacinacao-contracovid-19-pelo-brasil-e-mais-noticias-de-18-de-janeiro/>. Acesso em 28/12/21).

⁴ Site G1, 2021. Brasil já aplicou ao menos uma dose de vacina em 6,77 milhões, aponta consórcio de veículos de imprensa. Site do G1, 01/03/21. Disponível em <https://g1.globo.com/bemestar/vacina/noticia/2021/03/01/brasil-ja-aplicou-ao-menos-uma-dose-de-vacina-em-677-milhoes-aponta-consorcio-de-veiculos-de-imprensa.ghtml>, Acesso em 28/12/21

⁵ Site IBGE, 2021. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>, Acesso em 28/12/21

⁶ Site Diálogos Políticos, 2011. Disponível em: <https://dialogospoliticos.wordpress.com/2011/12/21/rio-de-janeiro-x-sao-paulo-conheca-as-principais-diferencas-das-favelas/>. Acesso em 23/01/22

⁷ Site Diálogos Políticos, 2011. Disponível em: <https://dialogospoliticos.wordpress.com/2011/12/21/rio-de-janeiro-x-sao-paulo-conheca-as-principais-diferencas-das-favelas/>. Acesso em 23/01/22

Segundo Vilani, Machado e Da Silva Rocha (2014) os aglomerados subnormais são espaços urbanos periféricos, com população de baixa renda e falta de infraestrutura básica e acesso a saúde, com construções feitas em áreas irregulares e que não seguem as leis de parcelamento e uso do solo, ambientais, entre outras. Esses fatores contribuem para que a qualidade de vida da população seja prejudicada, e que haja um aumento da proliferação do vírus, devido à falta de infraestrutura e das construções irregulares (PIRES; PINHO; MACHADO, 2020). Segundo Costa et al (2020) alguns fatores associados as condições de vida aumentam a taxa de contaminação como: saneamento básico, acesso à água, educação e renda. Sendo assim, verifica-se que apesar de toda a população ser afetada, as pessoas com menos recursos ficam mais vulneráveis, devido à dificuldade de lidar com o isolamento social, o não acesso ao saneamento básico, serviços de saúde, entre outros serviços de prevenção social (VILLELA; MARQUES, 2020).

Com base nas características do estado do Rio de Janeiro, principalmente relacionadas aos aglomerados subnormais (AGSN), este trabalho tem como principal objetivo definir quais fatores socioeconômicos, sociodemográficos e de acesso a recursos hospitalares influenciam na taxa de mortalidade por COVID-19 nos noventa e dois municípios do estado do Rio de Janeiro.

Para identificar quais fatores socioeconômicos, sociodemográficos e de acesso a recursos hospitalares estão associados a taxa de mortalidade por COVID-19 da população dos noventa e dois municípios do estado do Rio de Janeiro, será realizada neste trabalho uma revisão da literatura sobre a COVID-19, as características do estado do Rio de Janeiro e dos onze fatores estudados, trazendo também a correlação com a taxa de mortalidade por COVID-19. Após a identificação dos fatores será feita uma análise através do modelo de regressão de Poisson, que permitirá o estudo dos fatores associados a taxa de mortalidade por COVID-19 no período de 01 de março de 2020 a 01 de março de 2021.

Após essas análises, este estudo auxiliará na compreensão das características da população dos municípios do estado do Rio de Janeiro e no entendimento de quais fatores influenciam na taxa de mortalidade por COVID-19.

Podendo, assim, ser utilizado pelo governo estadual na criação de ações de mitigação e de prevenção do avanço do vírus no estado.

2 Contexto do problema

Segundo o ministério da saúde⁸ a SARS-CoV-2 é um novo tipo de vírus da família de coronavírus, conhecida desde 1960. O coronavírus SARS-CoV-2 é o causador da COVID-19 que é uma infecção respiratória aguda. Este coronavírus tem uma transmissibilidade alta. Foi identificado pela primeira vez em dezembro de 2019 em Wuhan na China e rapidamente se espalhou para os demais países (ZHANG et al, 2021).

No entanto, o nível de casos e a taxa de letalidade do vírus variam de acordo com o país. Isso, segundo Hashim, Alsuwaidi e Khan (2020), ocorre devido as diferenças no percentual da população testada, medidas de mitigação, acesso à saúde, demografia populacional, desenvolvimento socioeconômico e percentual da população com comorbidades.

Segundo Cifuentes et al (2021), os países latino-americanos têm as maiores taxas de mortalidade por COVID-19 e são os que possuem as regiões mais desiguais. Como por exemplo o Brasil que apesar de ter tido uma redução na taxa de pobreza, em 2009 esta taxa ainda estava em 11,60 (ANDRADE et al, 2013). Apesar dessa redução no percentual de pobreza, a desigualdade social continua existindo e é tema de muitos estudos sobre a pandemia de COVID-19. Com o estudo do Pires, Pinho e Machado (2020), é buscada uma compreensão de como os aglomerados subnormais contribuem na disseminação da COVID-19. Essa análise é feita para entendimento de toda a população afetada, pois as pessoas com menos recurso ficam mais vulneráveis devido à dificuldade de lidar com o isolamento social, ao não acesso ao saneamento básico, serviços de saúde, entre outros serviços de prevenção social (VILLELA; MARQUES, 2020).

O Brasil é dividido em cinco regiões com grandes diferenças culturais e desigualdade social (ANDRADE et al, 2013). Ainda segundo Andrade et al (2013) a região Sudeste, apesar de não possuir o maior percentual de pobreza se comparada às demais regiões do país, dispõe de um dos maiores centros urbanos, o estado do Rio de Janeiro (CODEÇO et al, 2020). Segundo o autor, além desse

⁸ Site do Ministério da Saúde. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/o-que-e-o-coronavirus>>. Acessado em: 23/01/2022.

estado ter uma alta vulnerabilidade social, também possui a população mais envelhecida comparando com os demais estados do sudeste (CENSO, 2010), que são fatores que aumentam a probabilidade de óbito por COVID-19 (OLIVEIRA et al 2021). A vulnerabilidade social está diretamente relacionada ao fato de o estado possuir as maiores comunidades do Brasil e quase a metade dos municípios possuírem aglomerados subnormais (AGSN) (DIALOGOSPOLITICOS, 2011)⁹.

Os aglomerados subnormais no estado do Rio de Janeiro são compostos de mais de mil domicílios, proporcionando uma alta densidade demográfica (DIALOGOSPOLITICOS, 2011)¹⁰. Essa aglomeração faz com que a população dessas comunidades não consiga seguir as orientações da Organização Mundial da Saúde (OMS) de distanciamento social de 1 metro entre pessoas, facilitando a proliferação da COVID-19 (GALSTER et al, 2001).

Além dos aglomerados subnormais (AGSN), outros fatores também influenciam na disseminação e no aumento da taxa de mortalidade. Como no estudo de Cifuentes et al (2021), onde é apresentada a faixa etária acima de 60 anos como um dos principais fatores que influenciam no aumento da taxa de mortalidade. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) em torno de 20% dos pacientes que desenvolvem sintomas graves da COVID-19, são de idosos. A pirâmide etária do Rio de Janeiro, com base no Censo de 2010, mostra que este é o estado mais velho da região sudeste com 13% da sua população com idade acima de 60 anos, dessa forma se torna mais propício a casos graves.

Outro fator que influencia na disseminação e no aumento da taxa de mortalidade é a renda, impactada diretamente pela pandemia devido ao aumento do desemprego, afetando também o produto interno bruto (PIB) do estado (EIGENSTUHLER et al, 2021). Segundo Magalhães (2007) este fator pode impactar a população, levando-a a ficar debilitada e morrer precocemente, mas precisa estar associada a outras variáveis para explicar certos perfis epidemiológicos, como por exemplo a falta de acesso a um serviço de saúde

⁹ Site Diálogos Políticos, 2011. Disponível em: <<https://dialogospoliticos.wordpress.com/2011/12/21/rio-de-janeiro-x-sao-paulo-conheca-as-principais-diferencas-das-favelas/>>. Acesso em 23/01/22

¹⁰ Site Diálogos Políticos, 2011. Disponível em: <<https://dialogospoliticos.wordpress.com/2011/12/21/rio-de-janeiro-x-sao-paulo-conheca-as-principais-diferencas-das-favelas/>>. Acesso em 23/01/22

básico de qualidade, onde no Sudeste 40,4% da população depende do SUS (RACHE et al, 2020) e a baixa escolaridade.

A baixa escolaridade pode ocasionar o aumento de óbitos, pois possui um profundo impacto nas condições das famílias, afetando diretamente as decisões relacionadas às questões de alimentação, cuidados com o corpo e prevenção de doenças (MAGALHÃES, 2007). Se a população não seguir as orientações da OMS e tomar as precauções, como praticar a higiene das mãos, manter a distância de pelo menos 1 metro, conscientização do uso de máscara, entre outras ações, aumentará a probabilidade de a pessoa ser contaminada e chegar ao óbito.

Com relação a variável relacionada território e ambiente, segundo Costa (2020), os estudos feitos sobre epidemias mostram que existe uma crise sanitária no Brasil que deixa as áreas periféricas e pobres dos grandes centros urbanos vulneráveis e suscetíveis a proliferação de doenças transmissíveis e contagiosas. Essas áreas também não possuem um número considerável de serviços de saúde aptos a responderem a epidemias. Segundo Lodder e De Roda Husman (2020) os estudos sobre as águas com resíduos humanos têm apresentado resultados positivos para a contaminação pelo Sars-CoV-2, possibilitando as pessoas serem contaminadas através do contato com esses resíduos.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) também é um fator importante a ser considerado para a compreensão da relação entre as condições de pobreza e a desigualdade social com a incidência de contaminação de um vírus. Conforme afirmado nos estudos de Johansen, Carmo e Alves (2014) e Lesser e Kitron (2016), feitos sobre a correlação do índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) e a proliferação de vírus a taxa de contaminação é maior onde se concentram as piores condições socioeconômicas e de acesso a recurso e serviços urbanos.

Por fim, se o fator estrutura hospitalar não for satisfatório, principalmente com relação a estabelecimento de saúde do SUS, espera-se que o aumento de óbitos seja considerável. Pois segundo Rache et al (2020) os locais mais afetados geram um aumento na demanda por serviços de saúde, principalmente por Unidades de Terapia Intensiva (UTI) nos casos de síndrome respiratório aguda, que necessitam de suporte ventilatório mecânico.

Todos os fatores citados acima podem ou não contribuir para o aumento da taxa de mortalidade por COVID-19, dependendo do seu valor em cada município. Com isso, neste trabalho foram analisados onze fatores no total, sendo eles socioeconômicos, sociodemográficos e de acesso a recursos hospitalares, dos noventa e dois municípios do estado do Rio de Janeiro.

3 Materiais

Para entender quais fatores influenciam na taxa de mortalidade pela COVID-19 nos 92 municípios do Rio de Janeiro, foram analisadas onze variáveis independentes contínuas, como pode ser visto na Tabela 1, sendo elas:

Índice de desenvolvimento humano do município (IDHM), é um índice que agrega a oportunidade de viver uma vida longa e saudável, de ter acesso ao conhecimento e ter um padrão de vida que garanta as necessidades básicas, representadas pela saúde, educação e renda. Essa variável mostra quais são os percentuais de desenvolvimento de cada município, podendo mostrar como o município está economicamente e socialmente (PINTO; COSTA; MARQUES, 2013).

Produto interno bruto (PIB), o principal indicador macroeconômico de um país. Sua importância para o estudo é que os municípios com maior produto interno bruto (PIB) são os mais favorecidos pelos governos nas tomadas de decisão, por exemplo, quanto à adoção de políticas econômicas, definição de investimentos e outros aspectos semelhantes. Se um município possui um produto interno bruto (PIB) baixo, possivelmente não será um candidato a ganhar investimentos do governo (BAIÃO; DA CUNHA; DE SOUZA, 2017).

Percentual da estimativa do Número de Domicílios Ocupados em aglomerados subnormais sobre o total de domicílios (%) no município, utilizada para entender qual parcela da população de cada município vive nessas condições desfavoráveis (IBGE, 2020)¹¹.

Número de leitos hospitalares, que mostra a quantidade de leitos existentes para atender a pacientes da COVID-19 e das demais doenças (DATASUS, 2021)¹².

¹¹ Site IBGE. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?=&t=acesso-ao-produto> > Acessado em: 26/01/2022.

¹² Site DATASUS. Disponível em: < <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?cnes/cnv/leiiintrj.def> >. Acessado em: 26/01/2022.

Número de leitos hospitalares do SUS, mostra a quantidade de leitos existentes no SUS para atender a pacientes, que não tem acesso a hospitais particulares, da COVID-19 e das demais doenças (DATASUS, 2021)¹³.

Número de respiradores, que evidencia a quantidade de respiradores existentes para atender todos os pacientes, incluindo os de COVID-19. Este equipamento é imprescindível para pacientes em casos mais graves (DATASUS, 2021)¹⁴.

Densidade demográfica, que representa o número de habitantes por quilômetro quadrado e que pode ser utilizada para identificar regiões com aglomeração (IBGE)¹⁵.

Taxa de envelhecimento, razão entre a população de 65 anos ou mais de idade e a população total multiplicado por 100, é apresentada como principal fator relacionado a taxa de mortalidade. Municípios com mais idosos tendem a ter mais casos de óbitos (HASHIM; ALSUWAIDI; KHAN, 2020).

Percentual de pobreza que apresenta a proporção dos indivíduos com renda domiciliar per capita igual ou inferior a R\$ 140,00 mensais (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2010)¹⁶, revelando que quanto mais pobre é uma população, menos acesso as necessidades básicas possuem (JOHANSEN; CARMO; ALVES, 2014).

Renda per capita, que é a razão entre o somatório da renda de todos os indivíduos residentes em domicílios particulares permanentes e o número total desses indivíduos (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento,

¹³ Site DATASUS. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?cnes/cnv/leintrj.def>>. Acessado em: 26/01/2022.

¹⁴ Site DATASUS. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?cnes/cnv/leintrj.def>>. Acessado em: 26/01/2022.

¹⁵ IBGE. Disponível em: <<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP117#:~:text=25.-,Informa%C3%A7%C3%B5es%20Demogr%C3%A1ficas%20e,IBGE%2C%202009.&text=A%20densidade%20demogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20uma,popula%C3%A7%C3%A3o%20no%20espa%C3%A7o%20geogr%C3%A1fico%20considerado.>>. Acessado em: 26/01/2022.

¹⁶ Site DATASUS, Disponível em: <<https://www.br.undp.org/>>, Acesso em 28/12/21.

2010)¹⁷. Quando menor a renda da população, menor acesso as necessidades básicas (JOHANSEN; CARMO; ALVES, 2014).

Taxa de frequência bruta ao superior é a razão entre o número total de pessoas de qualquer idade frequentando o ensino superior e a população na faixa etária de 18 a 24 anos (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2010)¹⁸.

Além das variáveis independentes foi também analisada a variável dependente taxa de mortalidade por cem mil habitantes, do período de 01 de março de 2020 a 01 de março de 2021, totalizando doze meses. Os dados da variável dependente, referentes aos municípios do estado do Rio de Janeiro, foram coletados do Painel Coronavírus do Governo Brasileiro¹⁹.

Neste estudo a variável vacinação não foi considerada, pois apenas 0,73%²⁰ da população brasileira havia sido vacinada com a segunda dose até dia 01 de março de 2021, o que não se mostrou relevante em testes prévios que foram realizados.

¹⁷ Site DATASUS, Disponível em: <<https://www.br.undp.org/>>, Acesso em 28/12/21.

¹⁸ Site DATASUS, Disponível em: <<https://www.br.undp.org/>>, Acesso em 28/12/21.

¹⁹ Painel Coronavírus do Governo Brasileiro, 2021. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em 24/07/21.

²⁰ Brasil já aplicou ao menos uma dose de vacina em 6,77 milhões, aponta consórcio de veículos de imprensa. Site do G1, 01/03/21. Disponível em <https://g1.globo.com/bemestar/vacina/noticia/2021/03/01/brasil-ja-aplicou-ao-menos-uma-dose-de-vacina-em-677-milhoes-aponta-consorcio-de-veiculos-de-imprensa.ghtml>, Acesso em 28/12/21.

Tabela 1 - Variáveis independentes

Nome da variável	Código	Fonte	Ano	Descrição
<i>Índice de desenvolvimento humano do município</i>	IDHM	IBGE	2010	Média geométrica dos índices das dimensões Renda, Educação e Longevidade, com pesos iguais.
<i>Produto interno bruto</i>	PIB	IBGE (Repositório SIDRA)	2018	Representa a soma (em valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região (quer sejam países, estados ou cidades), durante um período determinado (mês, trimestre, ano, etc.).
<i>Percentual de aglomerados subnormais</i>	PER_AGSN	IBGE - Aglomerados	2019	Percentual da estimativa do Número de Domicílios Ocupados em aglomerados subnormais sobre o total de domicílios (%) no município
<i>Número de leitos hospitalares</i>	N_Leitos_total	Datasus	2021	
<i>Número de leitos hospitalares</i>	N_Leitos_SUS	Datasus	2021	
<i>Número de respiradores</i>	N_resp	Datasus	2021	
<i>Densidade demográfica</i>	Dens_dem	IBGE (Repositório SIDRA)	2010	É a medida expressa pela relação entre a população e a superfície do território (habitantes por quilômetro quadrado).
<i>Taxa de envelhecimento</i>	T_ENV	PNUD	2010	Razão entre a população de 65 anos ou mais de idade e a população total multiplicado por 100.
<i>% de pobres</i>	PMPOB	PNUD	2010	Proporção dos indivíduos com renda domiciliar per capita igual ou inferior a R\$ 140,00 mensais, em reais de agosto de 2010. O universo de indivíduos é limitado àqueles que vivem em domicílios particulares permanentes.
<i>Renda per capita</i>	RDPC	PNUD	2010	Razão entre o somatório da renda de todos os indivíduos residentes em domicílios particulares permanentes e o número total desses indivíduos. Valores em reais de 01/agosto de 2010.
<i>Taxa de frequência bruta ao superior</i>	T_FBUPER	PNUD	2010	Razão entre o número total de pessoas de qualquer idade frequentando o ensino superior (graduação, especialização, mestrado ou doutorado) e a população na faixa etária de 18 a 24 anos multiplicado por 100.

Fonte: dados da pesquisa (2021)

4 Métodos

Para atingir o objetivo de identificação dos fatores que são associados a taxa mortalidade por COVID-19, realizou-se um estudo sobre as características dos noventa e dois municípios do Rio de Janeiro e das onze variáveis mencionadas anteriormente. O método utilizado está apresentado na Figura 1 e descrito neste capítulo.



Figura 1 – Método
Fonte: O autor (2021)

Primeiro foi feita uma pesquisa descritiva e qualitativa sobre as características dos noventa e dois municípios do Rio de Janeiro. Este estudo buscou entender quais fatores são característicos dos municípios e quais podem ajudar no aumento da taxa de mortalidade por contaminação de vírus. Com essa análise, foram escolhidos vinte fatores para a segunda parte.

A segunda parte foi a coleta de fontes fidedignas e depois o tratamento dos dados. No tratamento de dados foi feito o pré-processamento, limpeza dos dados, normalização e foram retirados os outliers. Após o tratamento dos dados foram

escolhidos os onze fatores. Com os fatores escolhidos pode-se fazer a análise descritiva utilizando métodos estatísticos e a montagem da matriz de correlação.

A matriz de correlação tem o objetivo de identificar as relações entre as variáveis estudadas, podendo variar entre -1 (sentido linear negativo) e +1 (sentido linear positivo), como apresentado na Tabela 2 (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2007).

Tabela 2 – Intensidades de correlação entre duas variáveis (x e y)

Correlação	Interpretação
r = 0,00	Não há relacionamento entre x e y
r = ±0,20	Baixo, relacionamento entre x e y
r = ±0,40	Moderado relacionamento entre x e y
r = ±0,70	Alto relacionamento entre x e y
r = ±1,00	Perfeita correspondência entre x e y

Fonte: MAÇAIRA (2020)

Com a matriz de correlação montada foi possível ordenar de forma decrescente, por valor de correlação sem considerar o sinal, as variáveis independentes e construir os modelos estudados. A estratégia utilizada para a construção dos modelos foi acrescentar uma variável independente em cada modelo, sendo que o primeiro modelo é composto de uma única variável e o último de todas as variáveis. Na estratégia não foi considerada a multicolinearidade como métrica de corte de variável.

Após a construção dos modelos foi iniciado o processo de modelagem, no software R (www.r-project.org; versão 4.0.5; 2021) utilizando o modelo de regressão linear de Poisson (FAUL et al, 2009).

O modelo de regressão de Poisson é da família de Modelos Lineares Generalizados (GLM) (FAUL et al, 2009), que englobam os modelos não lineares com distribuição de Poisson, binomial, gama, normal invertida e modelos lineares tradicionais com erros com distribuição normal (SCHMIDT, 2003). Este modelo é utilizado para modelagem de variáveis que utilizem dados de contagem ou taxas. Ele é composto por coeficientes de regressão β_0 , β_1 e β_m , como mostrado na Equação 1 (FAUL et al, 2009).

$$\ln(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_m X_m \quad (1)$$

Como neste estudo usamos dados agregados, que são associados aos pacientes e aos fatores, utilizamos o modelo de Poisson generalizado, onde sua equação está apresentada na Equação 2 e os seus parâmetros descritos na Tabela 2.

$$E(Y_i) = \lambda_i = n_i e^{x_i^T \beta}; Y_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i) \quad (2)$$

Tabela 2 – Parâmetros da equação do modelo de Poisson

Y_i	Variável dependente
λ_i	Número esperado da contagem de eventos
n_i	População exposta ao risco de ocorrência dos eventos
β	Vetor de parâmetros a serem estimados
x_i^T	Conjunto de variáveis independentes
i	Observações

Fonte: O autor (2021)

Porém, λ_i não poder assumir valores negativos e com isso é necessário reescrever a Equação 2 aplicando o logaritmo neperiano nos dois lados da igualdade, transformando-a em uma função logarítmica, como mostrado na Equação 3 (DOBSON; BARNETT, 2018). Ainda segundo Dobson e Barnett (2018) o termo $\ln(n_i)$ faz com que a equação se diferencie da especificação usual do componente linear e este termo é chamado de offset. O offset é uma constante conhecida e deve ser incorporada na modelagem da estimativa do modelo.

$$\ln(\lambda_i) = \ln(n_i) + x_i^T \beta \quad (3)$$

Para estimar os parâmetros β é utilizada a razão das taxas e interpretadas na escala exponencial, como mostrado na Equação 4 (DOBSON e BARNETT, 2018).

$$RR = \frac{E(Y_i | present)}{E(Y_i | absent)} = e^{\beta_j} \quad (4)$$

Com os parâmetros β estimados é construir as equações dos modelos e fazer os testes de hipóteses utilizando os métodos do Wald ou razão de verossimilhanças ou escore (DOBSON e BARNETT, 2018) e analisar os resíduos.

Os resíduos são calculados através da Equação 5, onde o_i é o valor observado de Y_i e e_i são as estimativas dos valores esperados. Com os resíduos calculados é possível fazer uma correlação com o qui-quadrado e calcular o desvio adaptado para o modelo de Poisson, como apresentado na Equação 6. Considerando que na maioria dos modelos $\sum o_i = \sum e_i$ a equação do desvio se apresenta como mostrado na Equação 7 (DOBSON e BARNETT, 2018). Ainda segundo o autor, utilizando expansão em séries de Taylor é possível fazer uma aproximação entre o desvio e a estatística X^2 , fazendo com que $D = X^2$ pois são intimamente relacionados.

$$r_i = \frac{o_i - e_i}{\sqrt{e_i}} \quad (5)$$

$$X^2 = \sum r_i^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (6)$$

$$D = 2 \sum o_i \log \left[\left(\frac{o_i}{e_i} \right) \right] \quad (7)$$

Por fim, são analisados os modelos para determinar o melhor entre eles. Nessa fase da análise dos modelos é feita verificação dos valores de AIC (Akaike Information Criterion). O Akaike Information Criterion (AIC) é a métrica que mensura a qualidade de um modelo, sendo que quanto menor o AIC melhor é o modelo (BOZDOGAN, 1987).

5 Resultados

Com a análise descritiva verificamos que a população do estado do Rio de Janeiro é de 17.463.349 habitantes (IBGE, 2021)²¹, com densidade demográfica de 365,23 hab/Km². O estado representa 8,39% da população total do país (CENSO, 2010). Os seus noventa e dois municípios não possuem densidade demográfica uniforme, variando de 4,11 hab/Km² no município de Campos dos Goytacazes a 13.434,83 hab/Km² no município de São João de Meriti (IBGE,2020). Sendo o estado que possui as comunidades com mais domicílios, além de ter complexos de favelas fazendo que o estado seja o mais favelizado do Brasil (DIALOGOSPOLITIVOS, 2011)²².

Baseando-se nas características do estado do Rio de Janeiro e seus municípios, foram escolhidos para serem analisados onze fatores, sendo eles socioeconômicos sociodemográficos e de acesso a recursos hospitalares. Estes fatores foram analisados utilizando estatística descritiva, como pode ser visto na Tabela 4, e depois agrupadas de acordo com suas características. Nessa análise não foram considerados os dados da cidade do Rio de Janeiro, devido a sua disparidade comparado com os demais municípios.

Das onze variáveis analisadas, três possuem dados não uniformes, como pode ser verificado nos histogramas da Figura 2, comparando com as demais. Sendo duas relacionadas a questão financeira e uma à aglomeração. Da questão financeira temos primeiro a variável produto interno bruto (PIB) que possui o maior valor de desvio padrão, mostrando a disparidade relacionada ao recebimento de investimento pelo governo, entre os municípios do estado do Rio de Janeiro. Quanto maior o produto interno bruto (PIB), maior o investimento naquele município. A segunda é a variável renda per capita (RDPC) que ilustra a renda por moradores de uma mesma residência. Quando menor esta renda, menor é o acesso as necessidades básicas. Por fim, a variável associada a aglomeração é a densidade demográfica, que interfere diretamente na questão do distanciamento social.

Em contraponto, quatro variáveis possuem desvio padrão próximo a zero, indicando uma maior homogeneização dos dados entre os municípios, como pode ser

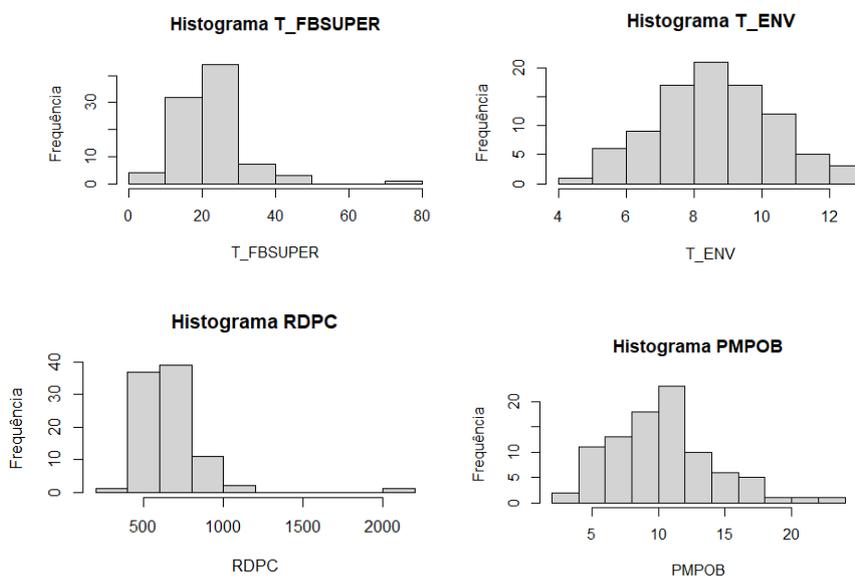
²¹ Site IBGE, 2021. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>, Acesso em 28/12/21

²² Site Diálogos Políticos, 2011. Disponível em: <<https://dialogospoliticos.wordpress.com/2011/12/21/rio-de-janeiro-x-sao-paulo-conheca-as-principais-diferencas-das-favelas/>>. Acesso em 23/01/22

verificado nos histogramas da Figura 2. Três associados a estrutura hospitalar e uma a oportunidade de a população ter uma vida saudável e longa. Com relação a estrutura hospitalar o número de leitos nos hospitais e de respiradores por mil habitantes não varia tanto para cada município. Porém, isso não significa que essa quantidade seja suficiente para suportar a pandemia. Além destas a variável índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) que está associada a oportunidade de a população ter uma vida saudável e longa, também possui um desvio padrão muito próximo de zero. Mostrando que apesar da renda per capita não ser homogenia, a dimensões de educação e longevidade fazem com que o índice de desenvolvimento humano seja parecido entre os municípios do estado.

Essa homogeneidade pode ser confirmada na análise feita da variável taxa de envelhecimento (T_ENV), pois ela possui uma baixa dispersão nos dados, como pode ser verificado nos histogramas da Figura 2, além de sua média e mediana serem praticamente iguais.

Ainda no âmbito do desvio padrão, foi verificado que três variáveis apesar de possuírem pouca dispersão dos dados, como pode ser verificado nos histogramas da Figura 2, elas têm uma amplitude alta. Sendo elas a taxa de frequência bruta ao superior (T_FBSUPER), percentual de aglomerados subnormais (PER_AGSN) e percentual de pobres (PMPOB). Essa análise mostra que apesar de existir uma homogeneidade nesses valores, alguns municípios possuem discrepância considerável com relação a outros.



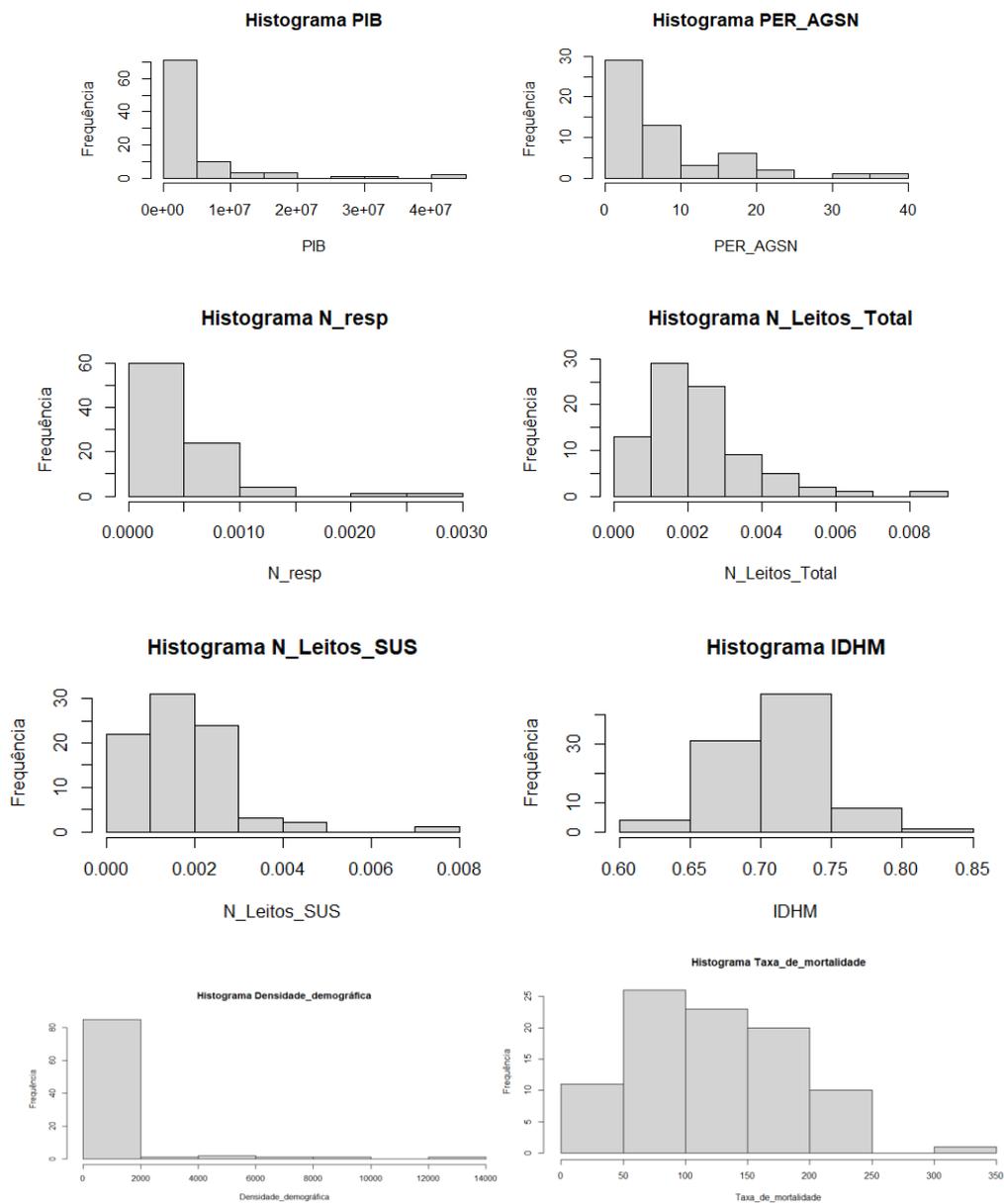


Figura 2 – Histogramas
 Fonte: O autor (2021)

Tabela 3 - Análise estatística das variáveis

Variáveis contínuas	Média	Mediana / 2º Quartil	Desvio Padrão	Amplitude	Máximo	Mínimo	1º Quartil	3º Quartil
Densidade_demográfica	688,984	102,640	1863,384	13011,890	13024,560	12,670	51,515	303,880
T_ENV	8,584	8,500	1,736	7,490	12,400	4,910	7,243	9,738
PMPOB	10,156	10,155	3,818	20,580	23,920	3,340	7,700	12,198
RDPC	666,015	618,330	216,414	1624,800	2000,290	375,490	559,480	718,058
T_FBSUPER	22,849	21,010	9,221	67,950	74,140	6,190	17,730	26,630
IDHM	0,709	0,713	0,037	0,226	0,837	0,611	0,685	0,730
PIB	8248467,91	1059932,50	38099015,10	363915941,00	364052058,00	136117,00	453606,50	4465402,00
PER_AGSN	3	0	8	0	0	0	0	0
PER_AGSN	7,867	4,729	8,320	39,579	39,851	0,272	2,127	9,483
N_leitos_hospitalares_Tot al	0,002	0,002	0,001	0,009	0,009	0,0001	0,001	0,003
N_leitos_hospitalares_SU S	0,002	0,002	0,001	0,008	0,008	0,000	0,001	0,002
N_respiradores	0,0005	0,0004	0,0005	0,003	0,003	0,00003	0,0002	0,001

Fonte: O autor (2021)

Após a análise estatística foi feita a análise de correlação entre as variáveis independentes e a variável dependente taxa de mortalidade. Todas as onze variáveis analisadas apresentaram algum nível de correlação, porém nenhuma obteve uma correlação acima de 0,5. As com maior correlação são as variáveis índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), renda per capita (RDPC) e percentual de pobres (PMPOB), sendo que esta última possui uma correlação negativa. Em seguida com uma correlação de 0,4 temos produto interno bruto (PIB) e taxa de frequência bruta ao superior (T_FBSUPER), como pode ser verificado na Figura 3. Um outro fato verificado na Figura 3 é a existência de multicolinearidade, ou seja, algumas variáveis explicativas estão correlacionadas com outra variável explicativa, como por exemplo as variáveis índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) e renda per capita (RDPC). Porém, a multicolinearidade não foi considerada na estratégia da modelagem.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1921389/CA

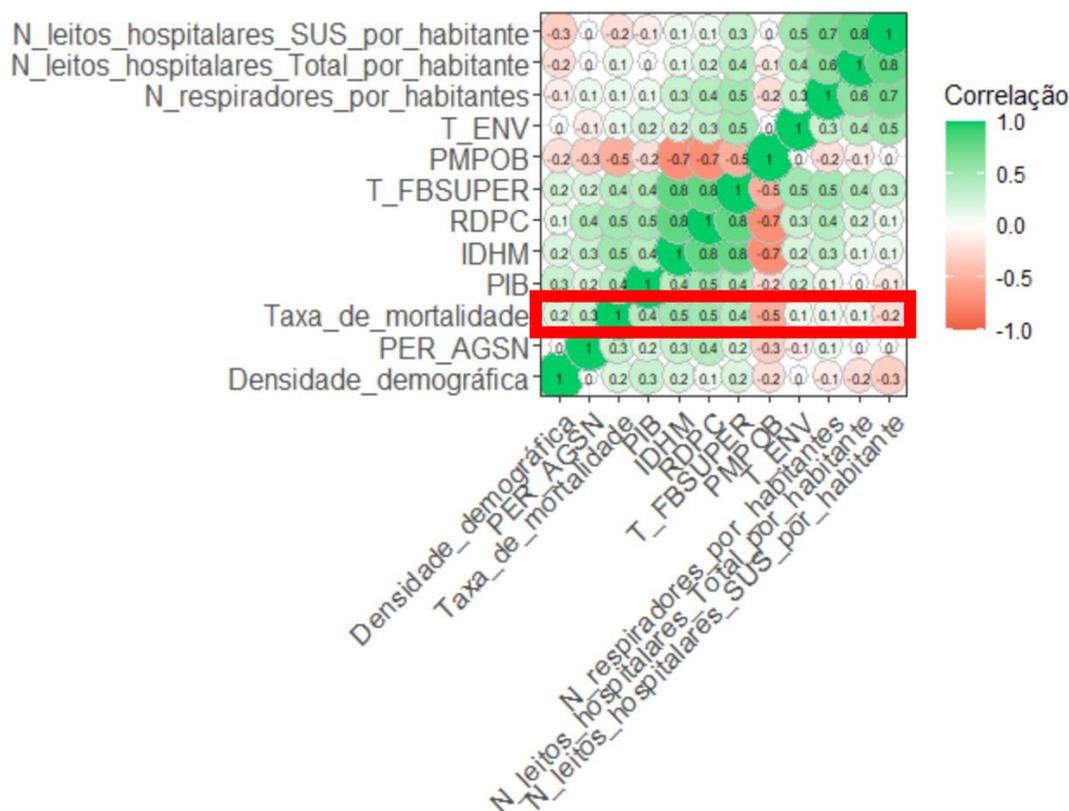


Figura 3 - Matriz de Correlação
 Fonte: O autor (2021)

Com a matriz de correlação montada, foi possível ordenar as variáveis independentes com relação a sua correlação com a variável dependente, como apresentado na Tabela 5, e dar início a criação das equações.

Tabela 4 - Variáveis independentes ordenadas pela correlação com a variável dependente.

	Variáveis independentes	Correlação
1	Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM)	0,5
2	Renda per capita (RDPC)	0,5
3	Percentual de pobres (PMPOB)	-0,5
4	Produto interno bruto (PIB)	0,4
5	Taxa de frequência bruta ao superior (T_FBSUPER)	0,4
6	percentual de aglomerados subnormais (PER_AGSN)	0,3
7	Densidade demográfica	0,2
8	Número de leitos hospitalares do SUS por habitante	-0,2
9	Número de leitos hospitalares totais por habitante	0,1
10	Número de respiradores por habitante	0,1
11	taxa de envelhecimento (T_ENV)	0,1

Fonte: O autor (2021)

Foram criadas 11 equações, a primeira com uma única variável independente e depois em cada equação foi incluída uma nova variável. A inclusão das variáveis seguiu a ordem da Tabela 5, como mostrado na Tabela 6. Para cada equação foi estimado, no software R (www.r-project.org; versão 4.0.5; 2021), os valores dos betas. Após a criação das equações foram analisados os resíduos através do parâmetro desvio (D) obtido no software R (www.r-project.org; versão 4.0.5; 2021).

Por fim, para identificar qual modelo, dentre os estudados, explica melhor a variabilidade do número de óbitos, foram analisados os valores os de AIC. De acordo com a Tabela 6, o modelo que melhor explica a variabilidade do número de óbitos é o 10, pois possui o menor AIC com o valor de 874,49 e com P-valor significativo para 10%. A equação do modelo 10 se encontra no apêndice.

Tabela 5 - Tabela com os modelos da regressão de Poisson

<i>Modelos</i>	<i>Variáveis Explicativas</i>	<i>AIC</i>	<i>P- valor</i>
1	IDHM	2024.7	6.017e-05
2	IDHM + RDPC	1991.3	0.0004613
3	IDHM + RDPC + PMPOB	1993.3	0.000462
4	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB	1479.4	7.072e-10
5	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB+ T_FBSUPER	1479.7	7.985e-10
6	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB+ T_FBSUPER + PER_AGSN	972.93	2.016e-07
7	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB+ T_FBSUPER + PER_AGSN + Densidade_demografica	966.05	5.204e-08
8	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB+ T_FBSUPER + PER_AGSN + Densidade_demografica + N_leitos_hospitalares_SUS_por_habitante	922.03	1.741e-07
9	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB+ T_FBSUPER + PER_AGSN + Densidade_demografica + N_leitos_hospitalares_SUS_por_habitante + N_leitos_hospitalares_Total_por_habitante	889.92	6.21e-06
10	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB+ T_FBSUPER + PER_AGSN + Densidade_demografica + N_leitos_hospitalares_SUS_por_habitante + N_leitos_hospitalares_Total_por_habitante + N_respiradores_por_habitantes	874.49	1.338e-05
11	IDHM + RDPC + PMPOB + PIB+ T_FBSUPER + PER_AGSN + Densidade_demografica + N_leitos_hospitalares_SUS_por_habitante + N_leitos_hospitalares_Total_por_habitante + N_respiradores_por_habitantes + T_ENV	876.24	1.688e-05

Fonte: O autor (2021)

Com a equação do modelo definida, é possível detalhar alguns parâmetros como o ajuste do modelo, razões de taxas e os valores do desvio D. No ajuste do modelo são apresentados os valores de β e do intercept na coluna Estimate da Tabela 7. Com os β definidos pode-se calcular as razões das taxas, que estão apresentadas na Tabela 8. Na Tabela 9 e Figura 4 referentes ao desvio D, verifica-se

que a mediana é próxima de zero, com isso o modelo não é enviesado em uma direção.

Tabela 6 - Ajuste do Modelo 10

		<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>z value</i>	<i>Pr(> z)</i>
	(Intercept)	-7.653e+00	7.169e-01	-10.675	< 2e-16
X₁	IDHM	1.809e+00	1.009e+00	1.792	0.073121
X₂	RDPC	-2.305e-04	9.128e-05	-2.525	0.011564
X₃	PMPOB	-2.691e-02	5.377e-03	-5.006	5.57e-07
X₄	PIB	1.404e-09	9.357e-11	15.005	< 2e-16
X₅	T_FBSUPER	5.862e-03	2.655e-03	2.208	0.027235
X₆	PER_AGSN	7.792e-03	1.319e-03	5.907	3.47e-09
X₇	Densidade_demográfica	-1.076e-05	3.576e-06	-3.010	0.002614
X₈	N_leitos_hospitalares_SUS_por_habitante	-9.594e+01	2.525e+01	-3.799	0.000145
X₉	N_leitos_hospitalares_Total_por_habitante	1.065e+02	1.673e+01	6.366	1.94e-10
X₁₀	N_respiradores_por_habitantes	-1.732e+02	4.166e+01	-4.157	3.22e-05

Fonte: O autor (2021)

Tabela 7 – Razões de taxas

		<i>Estimate</i>	<i>e^{βj}</i>	<i>Razão</i>
X₁	IDHM	1.809e+00	$e^{1,809 \times 10^{+00}}$	6,10434
X₂	RDPC	-2.305e-04	$e^{-2,305 \times 10^{-04}}$	0,9997
X₃	PMPOB	-2.691e-02	$e^{-2,691 \times 10^{-02}}$	0,973449
X₄	PIB	1.404e-09	$e^{1,404 \times 10^{-09}}$	1
X₅	T_FBSUPER	5.862e-03	$e^{5,862 \times 10^{-03}}$	1,005879
X₆	PER_AGSN	7.792e-03	$e^{7,792 \times 10^{-03}}$	1,007822
X₇	Densidade_demográfica	-1.076e-05	$e^{-1,076 \times 10^{-05}}$	0,999989
X₈	N_leitos_hospitalares_SUS_por_habitante	-9.594e+01	$e^{-9,594 \times 10^{+01}}$	$2,16 \times 10^{-42}$
X₉	N_leitos_hospitalares_Total_por_habitante	1.065e+02	$e^{1,065 \times 10^{+02}}$	$1,79 \times 10^{+46}$
X₁₀	N_respiradores_por_habitantes	-1.732e+02	$e^{-1,732 \times 10^{+02}}$	$6,03 \times 10^{-76}$

Fonte: O autor (2021)

Tabela 8 - Valores do desvio D

Deviance Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-6.3163	-2.2330	-0.3308	1.4461	8.5223

O autor (2021)

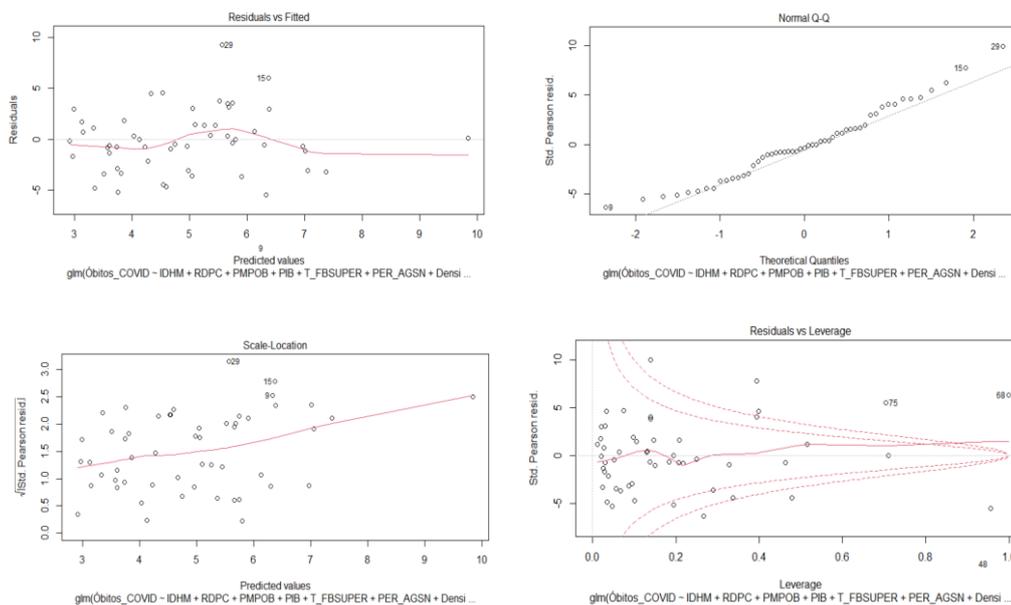


Figura 4 - Gráficos dos resíduos

Fonte: O autor (2021)

Analisando a Tabela 8, com base na correlação da variável dependente com as variáveis independentes escolhidas, dentro do modelo, pode-se observar que as variáveis Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), Produto interno bruto (PIB), Taxa de frequência bruta ao superior (T-FBSUPER), percentual de aglomerados subnormais (PER_AGSN), Número de leitos hospitalares totais por habitante possuem uma relação positiva e as variáveis Renda per capita (RDPC), Percentual de pobres (PMPOB), Densidade demográfica, Número de leitos hospitalares do SUS por habitante e Número de leitos hospitalares totais por habitante possuem uma relação negativa, com a

variável taxa de mortalidade. Sendo que a correlação das variáveis Número de leitos hospitalares do SUS por habitante e Número de respiradores por habitante, que são relacionadas a estrutura hospitalar, com a variável taxa de mortalidade é baixa, pois quando essas variáveis são diminuídas unitariamente, não geram um aumento significativo na taxa de mortalidade, sendo o aumento de $2,16 \times 10^{-42}$ e $6,03 \times 10^{-76}$ respectivamente. Porém a variável que mais contribui para o aumento da taxa de mortalidade também é associada a estrutura hospitalar que é a variável número de hospitais totais por habitante. As demais variáveis que contribuem com o aumento acima de uma unidade a taxa de mortalidade são: índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), taxa de frequência bruta ao superior (T_FBSUPER) e percentual de aglomerados subnormais (PER_AGSN). Elas estão relacionadas ao desenvolvimento humano, acesso à educação e a condições de moradias adequadas.

Esse resultado vai de encontro com muitos estudos feitos sobre a COVID-19, que mostram que os fatores socioeconômicos estão diretamente relacionados a proliferação e óbitos. Pois como por exemplo a variável índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) possui uma correlação positiva com a variável dependente, gerando uma não associação aos estudos, como o de Da Silva Santos (2020) e Costa et al (2020), que diz que normalmente as classes mais baixas são as mais afetadas e que essas classes são predominantes em países que possuem um índice de desigualdade social alto e que esses países apresentem taxas de casos e óbitos maiores que países ricos.

Um fator que aparece em muitos estudos é a taxa de envelhecimento, como nos estudos de Hashim, Alsuwaidi e Khan (2020) e Oliveira et al (2021) que mostram que nos 93 países um dos principais fatores associados a óbitos pela COVID-19 é a faixa etária acima de 65 anos. Porém, neste estudo o fator taxa de envelhecimento não entrou no modelo e dessa forma não foi possível identificar essa correlação.

6 Conclusão

A pandemia não parece ter uma previsão para acabar e a taxa de mortalidade pela COVID-19 no período de 01 de março de 2020 a 01 de março de 2021 apresenta uma curva crescente, com isso estudos para mitigar a transmissão e o aumento de óbitos se fazem necessários. Porém, esses estudos precisam levar em consideração as diferentes características dos estados e municípios, pois as ações de mitigação precisam ser adaptadas para cada caso.

Neste estudo, verificamos que apesar dos municípios do estado do Rio de Janeiro possuírem densidade demográfica distintas, eles apresentam algumas características comuns, como os aglomerados subnormais, estrutura hospital e índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM). O único município do estado que destoa com relação a alguns fatores é a capital Rio de Janeiro, pois possui um investimento do governo estadual maior que os demais. Apesar disto a capital possui uma desigualdade social expressiva, que pode ser confirmada nas regiões da Zona Sul onde pessoas de classe alta vivem ao lado dos maiores aglomerados subnormais do Brasil.

Analisando os fatores socioeconômicas sociodemográficos e de acesso a recursos hospitalares dos noventa e dois municípios do Rio de Janeiro, de forma conjunta, com relação a correlação delas com a taxa de mortalidade, verificamos que dez dos onze fatores influenciam para o aumento do número de óbitos. Este resultado foi confirmado na fase de construções e análise dos modelos de regressão linear de Poisson, onde o modelo com menor AIC, no valor de 874.49 foi o composto por dez das onze variáveis estudadas.

Os fatores que compõem o modelo escolhido foram, Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), Renda per capita (RDPC), Percentual de pobres (PMPOB), Produto interno bruto (PIB), Taxa de frequência bruta ao superior (T_FBSUPER), percentual de aglomerados subnormais (PER_AGSN), Densidade demográfica, Número de leitos hospitalares do SUS por habitante, Número de leitos hospitalares totais por habitante, Número de respiradores por habitante. Porém, os fatores que mais influenciam na taxa de mortalidade são: índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), taxa de

frequência bruta ao superior (T_FBSUPER) e percentual de aglomerados subnormais (PER_AGSN).

Com base nos resultados descritos acima foram verificadas limitações no estudo, como a questão do Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) ter uma relação positiva com a taxa de mortalidade. Isso pode ser devido as variáveis não estarem padronizadas pela população. Outra limitação do estudo pode ser a estratégia da modelagem, que nela foram retiradas as variáveis de mesma dimensão e às com multicolinearidade. Devido a isto e as resultados do estudo sugerimos que em trabalhos futuros sejam testadas outras estratégias de modelagem e pensadas ações mitigadoras e de melhoria dos índices para a diminuição da taxa de mortalidade por contaminação de vírus nesses municípios, podendo ter uma análise mais direcionadas aos aglomerados subnormais.

7 Referências bibliográficas

ANDERSON, David R.; SWEENEY, Dennis J.; WILLIAMS, Thomas A. **Estatística aplicada à administração e economia**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

ANDRADE, Mônica Viegas et al. **Desigualdade socioeconômica no acesso aos serviços de saúde no Brasil: um estudo comparativo entre as regiões brasileiras em 1998 e 2008**. *Economia Aplicada*, v. 17, n. 4, p. 623-645, 2013.

BAIÃO, Alexandre Lima; DA CUNHA, Armando Santos Moreira; DE SOUZA, Flávio Sergio Rezende Nunes. **Papel das transferências intergovernamentais na equalização fiscal dos municípios brasileiros**. *Revista do Serviço Público*, v. 68, n. 3, p. 583-610, 2017.

BAQUI, Pedro et al. Comparing COVID-19 risk factors in Brazil using machine learning: the importance of socioeconomic, demographic and structural factors. *Demographic and Structural Factors*, 2021.

BOZDOGAN, Hamparsum. **Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions**. *Psychometrika*, v. 52, n. 3, p. 345-370, 1987.

Brasil já aplicou ao menos uma dose de vacina em 6,77 milhões, aponta consórcio de veículos de imprensa. **Site do G1**, 01/03/21. Disponível em: <<https://g1.globo.com/bemestar/vacina/noticia/2021/03/01/brasil-ja-aplicou-ao-menos-uma-dose-de-vacina-em-677-milhoes-aponta-consorcio-de-veiculos-de-imprensa.ghtml>>. Acesso em 28/12/21.

CAVALCANTE, João Roberto et al. **COVID-19 no Brasil: evolução da epidemia até a semana epidemiológica 20 de 2020**. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 29, 2020.

Censo 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acessado em 28/12/21.

Censo 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=12#topo_piramide>. Acessado em 28/12/21.

CIFUENTES, Myriam Patricia et al. **Socioeconomic inequalities associated with mortality for COVID-19 in Colombia: a cohort nationwide study**. J Epidemiol Community Health, v. 75, n. 7, p. 610-615, 2021.

CNN Brasil, 2021. **Vacinação contra Covid-19 pelo Brasil e mais notícias de 18 de janeiro**. CNN Brasil, 18/01/21. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/vacinacao-contracovid-19-pelo-brasil-e-mais-noticias-de-18-de-janeiro/>. Acesso em 28/12/21).

CODEÇO, Claudia Torres et al. **Estimativa de risco de espalhamento da COVID-19 no Brasil e avaliação da vulnerabilidade socioeconômica nas microrregiões brasileiras**. 2020.

COSTA, Marco Aurélio et al. **Apontamentos sobre a dimensão territorial da pandemia da Covid-19 e os fatores que contribuem para aumentar a vulnerabilidade socioespacial nas unidades de desenvolvimento humano de áreas metropolitanas brasileiras**. 2020.

DA SILVA SANTOS, Patrícia. 24 de junho de 2020 **Boletim n. 69- Ciências Sociais e coronavírus**.

DE SOUSA MARTINS, Gabriela et al. **Plano de Contingência, como o Brasil se organizou frente à chegada da Covid-19: Revisão integrativa**. Revista Saúde e Inovação, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2020.

DOBSON, Annette J.; BARNETT, Adrian G. **An introduction to generalized linear models**. CRC press, 2018.

EIGENSTUHLER, Dyeniffer Packer et al. **Influência das características dos países na disseminação da COVID-19**. Revista Gestão Organizacional, v. 14, n. 1, p. 172-191, 2021.

FAUL, Franz et al. **Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses**. Behavior research methods, v. 41, n. 4, p. 1149-1160, 2009.

FORTES, Alexandre; OLIVEIRA, Leandro Dias de; SOUSA, Gustavo Mota de. **A COVID-19 na Baixada Fluminense: Colapso e apreensão a partir da periferia metropolitana do Rio de Janeiro**. Espaço e Economia. Revista brasileira de geografia econômica, n. 18, 2020.

GALSTER, George. **On the nature of neighbourhood.** *Urban studies*, v. 38, n. 12, p. 2111-2124, 2001.

HASHIM, Muhammad Jawad; ALSUWAIDI, Ahmed R.; KHAN, Gulfaraz. **Population risk factors for COVID-19 mortality in 93 countries.** *Journal of epidemiology and global health*, v. 10, n. 3, p. 204, 2020.

JOHANSEN, Igor Cavallini; CARMO, Roberto Luiz do; ALVES, Luciana Correia. **Desigualdade social intraurbana: implicações sobre a epidemia de dengue em Campinas, SP, em 2014.** *Cadernos Metrópole*, v. 18, p. 421-440, 2016.

Leis Estaduais. **Legislação Estadual de Rio de Janeiro.** Disponível em: <<https://pge.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MTAyMTk%2C>>. Acesso em: 06/02/2022.

LESSER, Jeffrey; KITRON, Uriel. **A geografia social do Zika no Brasil.** *Estudos Avançados*, v. 30, p. 167-175, 2016.

LODDER, Willemijn; DE RODA HUSMAN, Ana Maria. **SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source.** *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, v. 5, n. 6, p. 533-534, 2020.

MAÇAIRA, Paula. **Aula 8 – Introdução aos Modelos de Regressão Linear** [Material da sala de aula], Métodos probabilísticos: Probabilidade, estatística e modelos de previsão, 2020, PUC-Rio.

MAGALHÃES, Rosana. **Monitoramento das desigualdades sociais em saúde: significados e potencialidades das fontes de informação.** *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 12, p. 667-673, 2007.

OLIVEIRA, Marcella Cini et al. **Factors Associated With Death in Confirmed Cases of COVID-19 in the State of Rio De Janeiro.** 2021.

Painel Coronavírus do Governo Brasileiro, 2021. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em 24/07/21.

PIRES, Renan; PINHO, Taynara; MACHADO, Victoria. **Cidade e pandemia: como os aglomerados subnormais contribuem na disseminação da COVID-191.**

PINTO, Daniela Gomes Coordenação; COSTA, Marco Aurélio Coordenação; MARQUES, Maria Luiza de Aguiar Coordenação. **O índice de desenvolvimento humano municipal brasileiro**. 2013.

PRADO, Marcelo Freitas do et al. **Análise da subnotificação de COVID-19 no Brasil**. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, v. 32, p. 224-228, 2020.

RACHE, Beatriz et al. **Necessidades de infraestrutura do SUS em preparo à COVID-19: leitos de UTI, respiradores e ocupação hospitalar**. 2020.

RIBEIRO, Fabiana; LEIST, Anja. **Who is going to pay the price of Covid-19? Reflections about an unequal Brazil**. *International Journal for Equity in Health*, v. 19, p. 1-3, 2020.

RIBEIRO, L.; BERNARDES, Américo Tristão. **Atualização da estimativa de subnotificação em casos de hospitalização por Síndrome Respiratória Aguda e confirmados por infecção por COVID-19 no Brasil e estimativa para Minas Gerais**. Nota Técnica Cedeplar. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar/UFMG), 2020.

RODRIGUES, Rute Imanishi. **A Covid-19, a falta de água nas favelas e o direito à moradia no Brasil**. 2020.

SCHMIDT, C. M. C. **Modelo de regressão de Poisson aplicado à área da saúde**. Ijuí, 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Site **DATASUS**, Disponível em: <<https://www.br.undp.org/>>, Acesso em 28/12/21.

Site **DATASUS**. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?cnes/cnv/leintrj.def>>. Acessado em: 26/01/2022.

Site **Diálogos Políticos**, 2011. Disponível em: <https://dialogospoliticos.wordpress.com/2011/12/21/rio-de-janeiro-x-sao-paulo-conheca-as-principais-diferencas-das-favelas/>. Acesso em 23/01/22

Site do **Ministério da Saúde**. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/o-que-e-o-coronavirus>>.

Acessado em: 23/01/2022.

Site **G1**, 2021. Brasil já aplicou ao menos uma dose de vacina em 6,77 milhões, aponta consórcio de veículos de imprensa. Site do G1, 01/03/21.

Disponível em

<https://g1.globo.com/bemestar/vacina/noticia/2021/03/01/brasil-ja-aplicou-ao-menos-uma-dose-de-vacina-em-677-milhoes-aponta-consorcio-de-veiculos-de-imprensa.ghtml>, Acesso em 28/12/21

Site **IBGE**, 2021. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>, Acesso em 28/12/21.

Site **IBGE**. Disponível em: <

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?=&t=acesso-ao-produto>>Acessado em: 26/01/2022.

IBGE. Disponível em:<

<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP117#:~:text=25.->

,Informa%C3%A7%C3%B5es%20Demogr%C3%A1ficas%20e,IBGE%2C%202009.&text=A%20densidade%20demogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20uma,popula%C3%A7%C3%A3o%20no%20espa%C3%A7o%20geogr%C3%A1fico%20considerado.>. Acessado em:26/01/2022.

VILANI, Rodrigo Machado; MACHADO, Carlos José Saldanha; DA SILVA ROCHA, Érica Tavares. **Saneamento, dengue e demandas sociais na maior favela do Estado do Rio de Janeiro: a Rocinha**. Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia, v. 2, n. 3, p. 18-29, 2014.

VILLELA, Raphael; MARQUES, César. Boletim n.69 - **Ciências Sociais e coronavírus**, 2020.

WONG, Laura L. Rodríguez; CARVALHO, José Alberto. **O rápido processo de envelhecimento populacional do Brasil: sérios desafios para as políticas públicas**. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 23, p. 5-26, 2006.

Zhang, H., Liu, Y., Chen, F. et al. **O efeito de fatores sociodemográficos na incidência COVID-19 de 342 cidades na China: uma análise de modelo de regressão geograficamente ponderada.** BMC Infect Dis 21, 428, 2021.

APÊNDICE I – Equações do modelo escolhido no processo de modelagem.

$$\log(\lambda_i) = -7,653 \times 10^{+00} + 1,809 \times 10^{+00}x_1 - 2,305 \times 10^{-04}x_2 - 2,691 \times 10^{-02}x_3 + 1,404 \times 10^{-09}x_4 + 5,862 \times 10^{-03}x_5 + 7,792 \times 10^{-03}x_6 - 1,076 \times 10^{-05}x_7 - 9,594 \times 10^{+01}x_8 + 1,065 \times 10^{+02}x_9 - 1,732 \times 10^{+02}x_{10}$$

$$\lambda_i = e^{-7,653 \times 10^{+00}} + e^{1,809 \times 10^{+00}x_1} + e^{-2,305 \times 10^{-04}x_2} + e^{-2,691 \times 10^{-02}x_3} + e^{1,404 \times 10^{-09}x_4} + e^{5,862 \times 10^{-03}x_5} + e^{7,792 \times 10^{-03}x_6} + e^{-1,076 \times 10^{-05}x_7} + e^{-9,594 \times 10^{+01}x_8} + e^{1,065 \times 10^{+02}x_9} + e^{-1,732 \times 10^{+02}x_{10}}$$

$$\lambda_i = 0,000475 + 6,10434 + 0,9997 + 0,973449 + 1 + 1,005879 + 1,007822 + 0,999989 + 2,16 \times 10^{-42} + 1,79 \times 10^{+46} + 6,03 \times 10^{-76}$$