

## **NOTA TÉCNICA 01/2020 (Maio - 2020)**

O coronavírus e a desigualdade socioeconômica: um modelo baseado em agentes para simular e avaliar o impacto de intervenções na redução da disseminação da COVID-19 no Rio de Janeiro, Brasil.

## Sumário

<b>1 Equipe</b>	<b>2</b>
<b>2 Introdução</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivos . . . . .	3
<b>3 Modelagem e Simulação Computacional dos Cenários da Epidemia no Rio de Janeiro</b>	<b>5</b>
3.1 Simulações - Ambiente e População . . . . .	6
<b>4 Resultados dos Cenários e Simulações</b>	<b>8</b>
4.1 Resultados . . . . .	8
4.1.1 Cenário 1 - Sem medidas de isolamento . . . . .	8
4.1.2 Cenário 2 - População homogênea e sem isolamento . . . . .	9
4.1.3 Cenário 3 - Isolamento de jovens e idosos . . . . .	10
4.1.4 Cenário 4 - Isolamento em dias alternados . . . . .	10
4.1.5 Cenário 5 - Isolamento percentual (5%) . . . . .	12
4.1.6 Cenário 6 - Isolamento percentual (70%) . . . . .	12
4.2 Discussão . . . . .	13
<b>5 Análises e Recomendações</b>	<b>15</b>

## 1 Equipe

Mariza Ferro† , Vinícius P. Klôh†, Gabrieli D. Silva†, Eric F. de Mello Araújo\*, Cristiano Barros de Melo\*, José Roberto Pinho de Andrade Lima ±, Ernesto Rademaker Martins ‡

† Grupo de Computação Científica Distribuída (ComCiDis), Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), Getúlio Vargas, 333, Quitandinha – Petrópolis – Rio de Janeiro

Contatos: {mariza, viniciusk, gabrieli}@lncc.br

\* DCC – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Behavioural Informatics Laboratory (BILbo), Lavras - MG, 37200-900

Contato: eric@ufla.br

\* Universidade de Brasília (UnB), Campus Universitário Darcy Ribeiro, Laboratório de Doenças Infecciosas de Notificação Obrigatória (LabDINO), ICC Sul, Asa Norte, Brasília – DF, 70.910-900.

Contato: cristianomelo@unb.br - Bolsista de Produtividade e Pesquisa do CNPq

± Escola Superior de Guerra (ESG) - Campus Brasília, Coordenadoria de Ensino, Rodovia DF 001, Km 27 – Lago Sul, Brasília - DF, 71686-900.

Contato: jose.roberto@defesa.gov.br

‡ Instituto Militar de Engenharia (IME), Engenharia de Defesa, Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha, Rio de Janeiro - RJ, 22290-270 Contato: ernesto.rademaker@defesa.gov.br



## 2 Introdução

Desde que uma doença respiratória grave foi relatada em Wuhan, na China, em dezembro de 2019, identificada como COVID-19, se espalhou rapidamente para outras regiões. Devido à natureza altamente transmissível do vírus SARS-CoV-2, alcançou vários países, incluindo o Brasil, e foi declarada pandemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS). No Brasil, o primeiro paciente foi testado positivo para o vírus em fevereiro de 2020, e até 7 de maio de 2020, foram registrados 135.106 casos de coronavírus e 9.146 óbitos pela doença [1]. Atualmente, não há vacinas ou terapias aprovadas para o tratamento [2, 3].

Em todo o mundo, há uma busca acelerada para entender a dinâmica de transmissão do vírus e avaliar a eficácia das medidas de intervenção. Essas intervenções visam reduzir a mortalidade e a demanda das unidades de saúde. Apesar de outros países enfrentarem esses desafios antes do Brasil e muitas previsões já terem sido realizadas, ainda permanece uma grande incerteza quanto ao acompanhamento da epidemia e sua taxa de mortalidade, devido a fatores diferenciados do Brasil, tanto pela sua extensão territorial com diferentes densidades e condições ambientais, bem como pelas condições socioeconômicas e níveis de imunidade da população.

No Brasil, 11,4 milhões de pessoas, quase 6% da população, vivem em favelas [4]. As favelas são áreas de assentamentos humanos que combinam a falta de saneamento e água, espaço insuficiente para as famílias, o que significa mais de três pessoas dividindo o mesmo cômodo<sup>1</sup>. A transmissão do vírus pode ser facilitada nessas regiões mais adensadas, caracterizadas por contato mais frequente entre indivíduos, moradias lotadas, sistemas de saneamento inadequados, educação e estado nutricional deficientes [5]. Além disso, neste período, a maioria dos estados brasileiros enfrentam uma alta incidência de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), em comparação com o mesmo período dos anos anteriores [1] <sup>2</sup>. Este é o caso do Rio de Janeiro, que também é um dos estados brasileiros com elevada taxa de incidência de tuberculose, condição de comorbidade que pode impor resultados clínicos ruins em pacientes com COVID-19 [6].

Dadas essas condições socioeconômicas especiais em torno do Brasil, ou mais especificamente no bairro de Copacabana no Rio de Janeiro como tratado neste trabalho, o uso dos modelos preditivos desenvolvidos para outros países podem fazer uma predição muito incompleta da epidemia, uma vez que essas diferenças provavelmente resultarão em padrões diferentes de disseminação do vírus.

### 2.1 Objetivos

O objetivo desta nota técnica é apresentar as simulações, com diferentes medidas de isolamento, para compreender a disseminação e o impacto dessas medidas na redução da COVID-19, considerando as condições socioeconômicas do Brasil. Para isso foi utilizado um modelo baseado em agentes (ABM), combinado com o modelo de dinâmica epidemiológico SEIR (Suscetível, Exposto, Infectado e Removido), de acordo com as características epidemiológicas da COVID-19 [7, 8]. As simulações têm populações heterogêneas, considerando diferentes faixas etárias, diferenças socioeconômicas e número de membros por família, contatos e movimentos intra e inter subpopulações (favelas e não-favelas) e número de Unidades de Terapia Intensiva (UTIs). Além disso, as simulações apresentam diferentes

---

<sup>1</sup>[www.unhabitat.org](http://www.unhabitat.org). SOWC/06/07/B/Slum2

<sup>2</sup><http://info.gripe.fiocruz.br>

cenários para sugerir como as decisões e consequentes ações poderão influenciar a propagação do vírus no bairro de Copacabana, Rio de Janeiro, Brasil.

Vale ressaltar que, diversos trabalhos com curvas prospectivas para a COVID-19 vêm sendo publicados, principalmente envolvendo modelos matemáticos. A modelagem matemática se limita à abstração de diversos aspectos complexos, essenciais para o estudo da epidemia. Porém, o principal diferencial deste trabalho está na substituição de indivíduos reais por representações de software (agentes com características individuais) em um ambiente simulado. Isto permitiu o desenvolvimento de um estudo do fenômeno epidêmico o mais próximo possível da realidade, onde as interações e os comportamentos de cada indivíduo tem influência direta sobre o agravamento ou a diminuição da epidemia. Ainda, este trabalho contorna problemas de sub-notificação e contabilização tardia de casos confirmados, pois tratamos e monitoramos cada um dos agentes individualmente. Estes aspectos tornam o trabalho uma ferramenta com alto potencial para tomadas de decisões, não apenas para a COVID-19, mas para outras epidemias, visto que diferentes cenários podem ser simulados para avaliação de medidas preventivas, quando não for possível compreendê-los de maneira dedutiva ou analítica, sem colocar a população real em risco experimental.

### 3 Modelagem e Simulação Computacional dos Cenários da Epidemia no Rio de Janeiro

De acordo com as características da transmissão da COVID-19 [7, 8], a modelagem realizada é baseada no modelo epidemiológico SEIR [9], no qual a população é dividida em quatro compartimentos:

- Suscetíveis (S): inclui todos os indivíduos que podem contrair a doença, caso sejam expostos a ela;
- Expostos (E): grupo de indivíduos que estão doentes, não apresentam sintomas mas são capazes de transmitir o vírus. Possuem baixa carga viral mas atuam como os principais agentes transmissores da doença;
- Infectados (I): inclui os indivíduos que estão doentes (alta carga viral), apresentam sintomas e são capazes de transmitir o vírus;
- Removidos (R): classe de indivíduos que se recuperam ou morrem.

Na Figura 1 são apresentados os quatro compartimentos e os fatores que motivam a troca de estados dos indivíduos. Inicialmente, a pessoa que pertence ao grupo dos suscetíveis e tem contato com uma pessoa doente, contrai o vírus e passa para o grupo dos expostos (não apresenta sintomas, mas possui carga viral). Após o período de incubação, com o aparecimento dos sintomas, os indivíduos expostos passam para o grupo dos infectados. Nesse compartimento, se o indivíduo recebeu o tratamento e foi curado, passa para o grupo dos removidos. Por outro lado, se o indivíduo evolui para o caso crítico da doença, passa a depender de tratamento em Unidade de Terapia Intensiva (UTI). Se não houver UTI disponível para o paciente em estado crítico, o indivíduo morre e passa para o grupo dos removidos. Aqueles que adquirem vaga em UTI, após o período de tratamento, também passam a fazer parte do grupo dos removidos. Estes indivíduos são contabilizados como curados, em caso de sucesso no tratamento, ou que vieram a óbito, devido à doença.

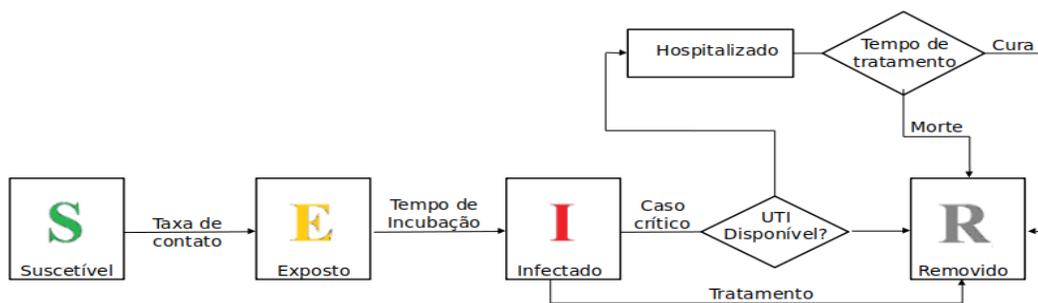


Figura 1: O modelo SEIR e os fatores de transição entre os quatro compartimentos. Fonte: autoria própria.

Para modelar as características mais detalhadas de cada indivíduo e da transmissão do vírus, foi implementado um ABM. Os modelos baseados em agentes, subárea da Inteligência Artificial, são usados em muitos problemas complexos, onde fórmulas matemáticas simples não são suficientes para fornecer uma descrição mais detalhada e precisa do contexto estudado [10]. O comportamento coletivo é então analisado e os resultados apresentam

conclusões e ideias que podem nos ajudar a entender o fenômeno do contágio social, de maneira mais intuitiva e prática. A praticidade do ABM, combinada com os poderosos resultados fornecidos por ela, é uma boa combinação para estudar a propagação de doenças contagiosas em contextos reais.

Portanto, a abordagem ABM é adequada para estudar a propagação da COVID-19, por permitir tratar cada indivíduo (agente) de maneira personalizada, juntamente com informações ambientais do contexto em que os indivíduos fazem parte. Todos os detalhes do ABM implementado estão disponíveis em [11].

#### 3.1 Simulações - Ambiente e População

Os dados utilizados para descrever as principais características da população são baseados no Censo de 2010 [12] para a cidade do Rio de Janeiro. A população simulada compreende o bairro de Copacabana (área 4 na Figura 2), por existir uma grande lacuna socioeconômica entre as favelas (o complexo Pavão-Pavãozinho-Cantagalo (PPC), Tabajaras-Cabritos (TC) e Chapéu Manguieira-Babilônia (CMB)<sup>3</sup>, respectivamente as áreas 1, 2 e 3, na Figura 2) situadas nesta região e as outras partes do bairro. De acordo com os dados do Relatório de Favelas da cidade do Rio de Janeiro [4], Copacabana possui 161.191 habitantes, dos quais 12.094 (8%) vivem em favelas.

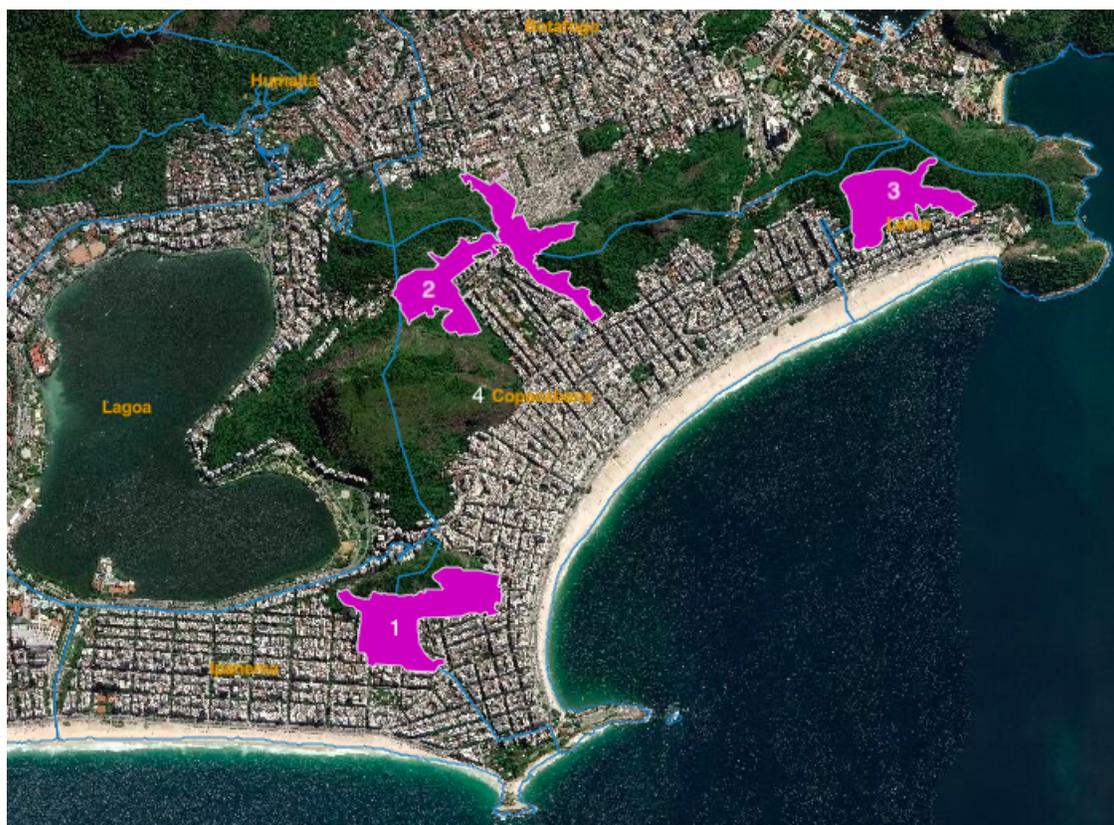


Figura 2: Limite de bairros (linha azul) e regiões de favelas (área magenta) no Rio de Janeiro. Bairro de Copacabana (4), PPC (1), TC (2) e CMB (3). Fonte: autoria própria gerado pelo site Instituto Pereira Passos - RJ [13]

<sup>3</sup>Chapéu Manguieira-Babilônia tem a maior parte do seu território localizada no Leme.

Além disso, o Rio de Janeiro é a capital com a maior população idosa do Brasil (cerca de 18% tem 60 anos ou mais<sup>4</sup>) e destes, 29% vivem em Copacabana [14]. Há uma grande diferença entre as áreas de asfalto de Copacabana (não-favela) e de favela, bem como existem diferenças entre as próprias favelas, tanto em termos de densidade demográfica, como em renda ou no índice geral de vulnerabilidade<sup>5</sup>.

Em relação à distribuição etária da população das áreas das favelas e outras áreas de Copacabana, há grandes diferenças, principalmente para a população idosa [16]. Enquanto há uma predominância de jovens entre 10-29 anos nas favelas, nas outras áreas de Copacabana o número de jovens é significativamente menor. Essa informação é importante para ser representada no modelo, uma vez que os idosos são considerados grupo de risco para COVID-19, podendo apresentar maior proporção de quadros clínicos graves e críticos do que as pessoas mais jovens [17].

No entanto, apesar de não haver muitos idosos nas áreas das favelas (menos de 5% [14]), essa região é de grande importância na simulação, pois como mencionado, as pessoas que vivem em áreas de favelas podem apresentar maior risco de serem infectadas devido às condições sanitárias e da densidade demográfica da região. Por exemplo, a densidade demográfica em Copacabana é de 110,7 hab/ha, enquanto no PPC é de 808,0 hab/ha e em TC e CMB em média 300 hab/ha [12]. Além disso, segundo os dados do mapeamento do Instituto Pereira Passos e Rio + Social [15], em toda região do PPC há rede oficial de abastecimento de água, mas a interrupção no abastecimento é recorrente, chegando a ser mais de 10 dias por mês. Em todo o território há presença de esgoto aberto nas valas de drenagem, escoando próximo a canos da rede de água, podendo gerar contaminação e todas as favelas não têm coleta de lixo. Segundo o Painel Rio COVID-19<sup>6</sup>, até o dia 07 de maio haviam 367 casos confirmados e 39 óbitos relacionados à COVID-19 em Copacabana, sendo o bairro com o maior número de casos no Rio de Janeiro, e o terceiro em número de mortes, praticamente empatados com o primeiro e o segundo lugar, com apenas 1 caso a menos.

Como o estudo se concentra na disseminação da COVID-19, também é importante considerar o número de UTIs disponíveis na região que escolhemos modelar. De acordo com o estudo de [18], a região Metropolitana I, na qual Copacabana está localizada, possui 6 UTIs públicas por 100 mil habitantes. Isso ajudará o modelo a estar mais próximo da realidade, ao contabilizar a infraestrutura hospitalar fornecida para Copacabana.

Vale ressaltar que essa região foi escolhida para avaliar o modelo e as simulações por haver regiões próximas, com diferentes densidades populacionais, faixas etárias e condições econômicas. Sendo assim, essas características únicas podem servir como modelo de simulação para todo o Brasil.

---

<sup>4</sup><https://sidra.ibge.gov.br/tabela/261#notas-tabela>

<sup>5</sup>O Índice geral mostra o quanto da área de cada comunidade e do território como um todo se encontra em condições vulneráveis, intermediárias ou adequadas em relação aos temas abastecimento de água, sistema de esgotamento sanitário, coleta de lixo, entre outras [15].

<sup>6</sup><https://experience.arcgis.com/experience/38efc69787a346959c931568bd9e2cc4>

# 4 Resultados dos Cenários e Simulações

Foram simulados seis cenários diferentes:

- **Cenário 1:** simula a propagação do vírus em uma população sem medidas de intervenção e isolamento. Ou seja, as pessoas (agentes) podem se deslocar livremente de casa para o trabalho e do trabalho para casa.
- **Cenário 2:** cenário com população homogênea e sem isolamento das pessoas, desconsiderando subpopulações (favela e não favela).
- **Cenário 3:** simula o isolamento de idosos (acima de 60 anos) e jovens (abaixo de 18 anos). Somente as pessoas fora dessas faixas de idade podem se deslocar de casa para o trabalho e vice-versa.
- **Cenário 4:** simula o deslocamento das pessoas em dias alternados. O critério adotado para esta intervenção é: pessoas nascidas em dias pares só podem sair em dias pares e pessoas nascidos em dias ímpares, apenas em dias ímpares.
- **Cenário 5:** a partir de trinta pessoas infectadas, simula o isolamento de 95% da população, onde cada pessoa fica em casa até que a infecção termine. Apenas 5% das pessoas circulam para representar os serviços essenciais, tais como farmácias, área de saúde e segurança e supermercados.
- **Cenário 6:** também simula o isolamento percentual após trinta pessoas infectadas. Porém, neste cenário 30% das pessoas circulam para representar o que tem sido considerado como o ideal no contingenciamento do Coronavírus [19, 20]. Ou seja, que 70% da população se mantenha em isolamento social para que o combate à Covid-19 seja efetivo.

É importante ressaltar que, para todos os cenários, há um número considerável de casos críticos, tendo em vista as complicações dos quadros clínicos (conjunto de sintomas presentes em uma determinada doença) causadas pelo vírus em idosos e também pelo maior adensamento demográfico para as pessoas que vivem nas favelas.

Considerando que o vírus chegou ao Brasil através de indivíduos que viajaram para outros países [21], as primeiras pessoas infectadas pertencem à subpopulação de não favela. Além disso, nestas simulações foram adotadas 35000 pessoas como número máximo, por limitação do software de simulação. Os parâmetros que envolvem o tamanho da população foram ajustados de acordo com a quantidade de pessoas simuladas.

## 4.1 Resultados

### 4.1.1 Cenário 1 - Sem medidas de isolamento

A Figura 3(a) mostra o número de pessoas (agentes) em cada compartimento do modelo SEIR ao longo do tempo. A curva verde representa as pessoas do grupo dos suscetíveis, a amarela os expostos, a vermelha os infectados e a cinza os removidos. Quando o número de pessoas expostas e infectadas aumenta, a quantidade de suscetíveis diminui. À medida que as pessoas se recuperam ou morrem devido à doença, o número de pessoas removidas aumenta. Essa tendência está de acordo com a fenomenologia estudada.

## 4 RESULTADOS DOS CENÁRIOS E SIMULAÇÕES

Como as intervenções de isolamento não são implementadas neste cenário, as pessoas circulam livremente, permitindo que o vírus se espalhe rapidamente, afetando grande parte da população. Além disso, o número de internações com casos críticos (curva vermelha na Figura 3(b)) cresce rapidamente e atinge o número máximo de UTIs disponíveis (linha verde na Figura 3(b)), apresentando 684 casos críticos em pouco mais de 60 dias (Figura 3(c)). Quando a ocupação máxima de UTI é alcançada, pessoas com casos críticos começam a morrer por falta de recursos de saúde (curva roxa na Figura 3(d)). O número total de óbitos pelo vírus foi de 571, com 175 por falta de UTI. Esse número total de óbitos representa aproximadamente 1,63% da população simulada.

Com base nos modelos desenvolvidos em todo o mundo para a COVID-19 sabemos que, sem isolamento, a propagação do vírus é mais rápida, causando colapso no sistema de saúde. Porém, ainda assim, este cenário funciona como base de comparação para os outros cenários que serão apresentados em seguida (com medidas de isolamento). Além disso, é importante saber em quanto tempo haverá colapso do sistema de saúde no cenário brasileiro e quais os números associados a ele.

Neste primeiro cenário, a infecção<sup>7</sup> durou 92 dias, com um pico de 25.581 infectados em 53 dias. O número total de pessoas infectadas foi de 33.357, 3.457 vivendo na favela e 29.900 fora da favela. O colapso do sistema de saúde ocorreu em 53 dias, coincidindo com o dia em que ocorreu o pico infeccioso.

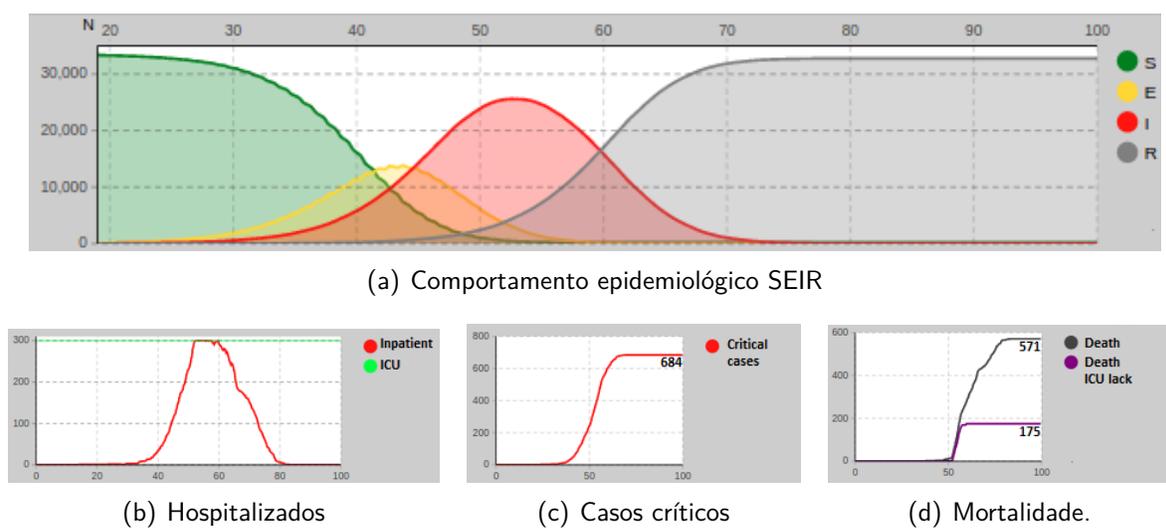


Figura 3: Resultados para o cenário 1 (Sem intervenções). Fonte:própria, desenvolvida no Anylogic.

### 4.1.2 Cenário 2 - População homogênea e sem isolamento

Este cenário desconsidera a diferenciação das pessoas que vivem nas favelas e demonstra que em uma população homogênea os resultados de infecções e mortes podem ser subestimados.

Por exemplo, novamente o número de internações com casos críticos (curva vermelha na Figura 4(b)) cresce rapidamente e atinge o número máximo de UTIs disponíveis (linha verde na Figura 4(b)). Porém, o número de casos críticos em pouco mais de 60 dias (Figura 4(c)) é menor que no cenário 1, com 79 casos a menos. Além disso, na Figura 4(d), o número

<sup>7</sup>Período que corresponde do primeiro caso até o fim da presença do vírus na população.

## 4 RESULTADOS DOS CENÁRIOS E SIMULAÇÕES

total de óbitos devido à doença é de 523 (48 a menos que no cenário 1), com 119 por falta de UTI (56 a menos que o cenário 1).

Esse resultado demonstra a importância de considerar subpopulações nas simulações para uma melhor avaliação da disseminação e impacto da epidemia.

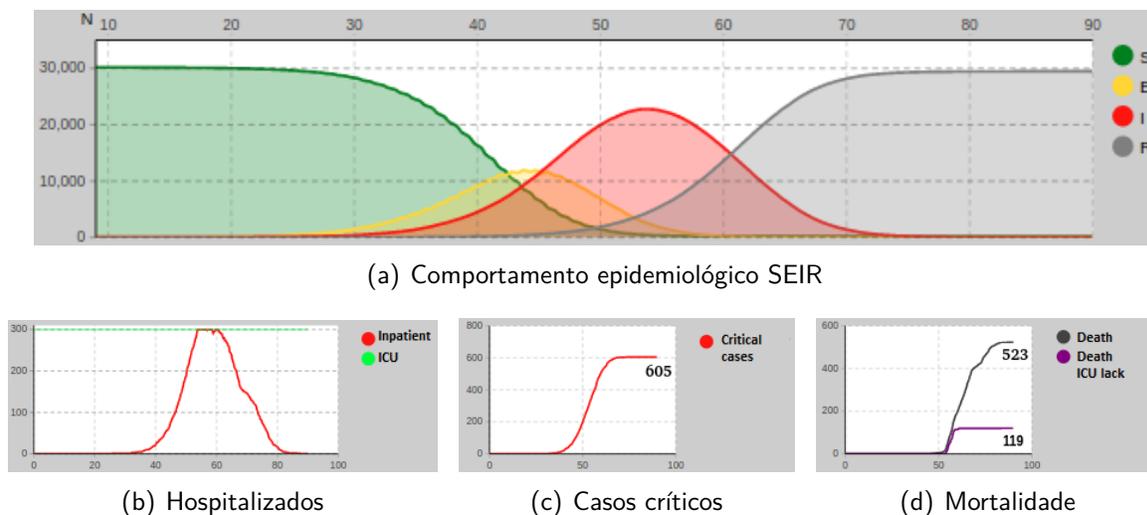


Figura 4: Resultados para o cenário 2 (população homogênea e sem medidas de isolamento). Fonte:própria, desenvolvida no Anylogic.

### 4.1.3 Cenário 3 - Isolamento de jovens e idosos

Na Figura 5(a) é apresentado o número de pessoas em cada compartimento do modelo SEIR ao longo do tempo para este cenário. Observe que há um achatamento da curva epidêmica quando se inicia o isolamento das pessoas jovens (pessoas com idade inferior a 18 anos) e idosos, reduzindo o pico de pessoas infectadas. Neste cenário, o número de casos críticos atingiu 603 (81 casos a menos que no cenário 1). O número total de óbitos foi de 504 (67 a menos), com 83 por falta de UTIs (92 a menos). Porém, apesar da redução, o número de infectados e óbitos ainda é alto, pois as redes de contatos familiares são mantidas e as pessoas sem isolamento são vetores da transmissão intragrupo. Desta forma, indivíduos isolados também são infectados.

Neste cenário, a infecção durou 93 dias, mas com uma redução de 6,8% na quantidade de pessoas infectadas, em relação ao cenário 1. O pico de infectados foi de 21.018 pessoas e ocorreu após 49 dias, com uma redução de 17,9%, também em relação ao cenário 1. O número total de pessoas infectadas foi de 31.091 (3.453 na favela e 27.638 na não favela). Comparando o número de pessoas infectadas das diferentes populações, a redução fora da favela foi de 7,6%, enquanto que na favela foi de 0,11%. A falta de UTI ocorreu após 51 dias, 2 dias após o pico de infectados.

### 4.1.4 Cenário 4 - Isolamento em dias alternados

Neste cenário, a medida de isolamento adotada é mais rigorosa, permitindo que as pessoas saiam de casa em dias alternados, conforme explicado na Seção 4. O achatamento da curva infecciosa apresentado na Figura 6(a) é ainda maior que no cenário 3, e o pico dessa curva

#### 4 RESULTADOS DOS CENÁRIOS E SIMULAÇÕES

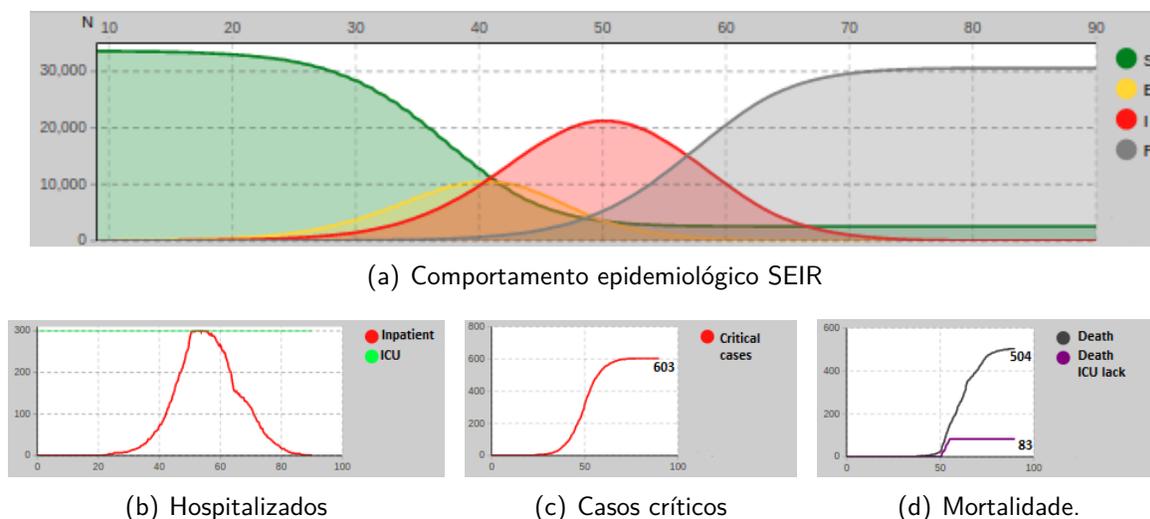


Figura 5: Resultados para o cenário 3 (isolamento de jovens e idosos). Fonte:própria, desenvolvida no Anylogic.

é, aproximadamente, 2,5 vezes menor que no cenário 1. O número de casos críticos é de 486 (Figura 6(c)) e o número total de óbitos é de 380 (Figura 6(d)). Como neste cenário não há falta de UTI (Figura 6 (b)), não há óbitos por esta causa, como observado nos cenários anteriores. Este resultado demonstra a importância de não superlotar o sistema de saúde.

Ainda, a infecção durou 134 dias, porém com uma redução significativa no pico e no total de pessoas infectadas. Em 84 dias, o número de pessoas infectadas atingiu o pico de, aproximadamente, 10.000 pessoas, 61% a menos que no cenário 1 e 52,4% a menos que no cenário 3. O número total de pessoas infectadas foi de 25.705 (-22,94% em relação a cenário 1 e 17,32% para o cenário 3). Dentro da favela, o número total de pessoas infectadas foi de 3.251 (-5,96% e -5,85%, em relação aos cenários 1 e 3, respectivamente) e fora da favela foi de 22.454 (-24,9% e -18,75% em relação aos cenários 1 e 3).

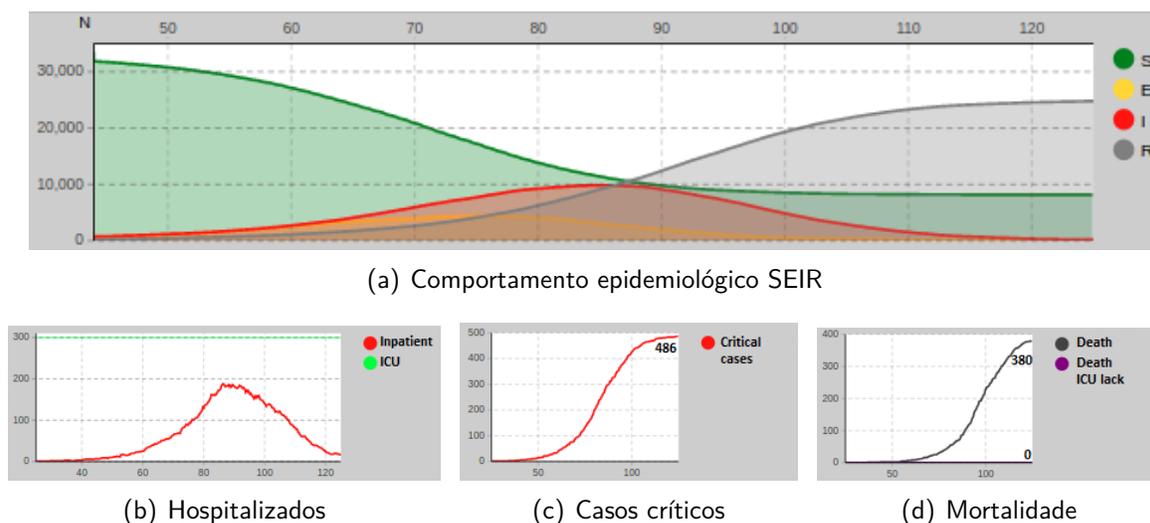


Figura 6: Resultados para o cenário 4 (isolamento alternado por data de nascimento). Fonte:própria, desenvolvida no Anylogic.

#### 4.1.5 Cenário 5 - Isolamento percentual (5%)

Para este cenário, por limitação visual, o gráfico dos compartimentos do modelo SEIR ao longo do tempo não é apresentado. Na Figura 7(a) são apresentados a quantidade de pessoas hospitalizadas e a disponibilidade de UTIs; A Figura 7(b) representa os casos críticos e a Figura 7(c), a quantidade de óbitos. Neste cenário, a transmissão desapareceu em 38 dias e atingiu o pico infeccioso com 316 pessoas, após 26 dias. O número total de pessoas infectadas foi de 366, sendo 266 em não favela e 100 em favela. Como as simulações começam com pessoas infectadas que residem em não favela, não houve tempo hábil para o vírus se espalhar pelas pessoas da favela, por isso, a propagação do vírus em não favela é maior neste cenário.

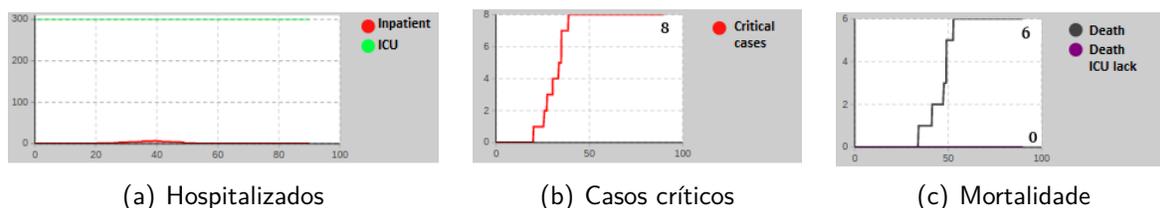


Figura 7: Resultados para o cenário 5 (isolamento total com 5% das pessoas circulando para representar os serviços essenciais). Fonte: própria, desenvolvida no Anylogic.

#### 4.1.6 Cenário 6 - Isolamento percentual (70%)

Para este cenário, assim como no cenário 5, por limitação visual, o gráfico dos compartimentos do modelo SEIR ao longo do tempo não é apresentado. Na Figura 8(a) são apresentados a quantidade de pessoas hospitalizadas e a disponibilidade de UTIs; A Figura 8(b) representa os casos críticos e a Figura 8(c), a quantidade de óbitos.

Neste cenário, a infecção durou 220 dias e atingiu o pico infeccioso com 667 pessoas, após 74 dias. O total de pessoas infectadas foi de 4.038, sendo 3.063 vivendo em não favela e 975 em favela. Ainda, 74 pessoas desenvolveram casos críticos (Figura 8(b)) e 60 vieram a óbito (Figura 8(c)). Assim como nos cenários 4 e 5, neste cenário também não há falta de UTI (Figura 8(b)), por isso não há óbitos por esta causa. Novamente, este resultado demonstra a importância de não superlotar o sistema de saúde.

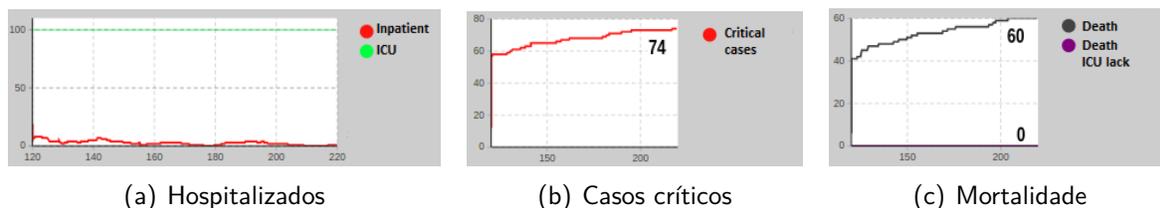


Figura 8: Resultados para o cenário 6 (isolamento total com 30% das pessoas circulando para representar os serviços essenciais). Fonte: própria, desenvolvida no Anylogic.

## 4.2 Discussão

Como ainda não existem medidas para imunizar a população, é muito provável que um grande número de pessoas ainda seja infectado pelo vírus. No entanto, observando a disseminação da COVID-19 nos 6 cenários estudados, percebe-se a importância de se aderir às medidas de isolamento para que menos pessoas adoçam ao mesmo tempo e não causem colapso no sistema de saúde. Com a estratégia certa, é possível enfrentar a epidemia preservando o sistema de saúde para que possa atender às pessoas que desenvolvem os casos críticos e o número de óbitos seja reduzido.

Um aspecto muito relevante que pode ser apontado neste estudo é a análise da disseminação diferenciada do vírus nas favelas, pois muitos fatores, tais como condições de higiene e aglomeração de pessoas, fazem com que o vírus se espalhe mais rapidamente nessas regiões.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
<b>Duração da Infecção</b>	92 dias	92 dias	93 dias	134 dias	38 dias	220 dias
<b>Pessoas infectadas</b>	33357	29991	31091	25705	366	4038
<b>Total de óbitos</b>	571	523	504	380	6	60
<b>Pico epidêmico</b>	25581	22754	21018	≈10000	316	667
	em 53 dias	em 54 dias	em 49 dias	em 84 dias	em 26 dias	em 74 dias
<b>Falta de UTI</b>	53 dias	54 dias	51 dias	Não ocorreu	Não ocorreu	Não ocorreu

Tabela 1: Comparação dos cenários simulados

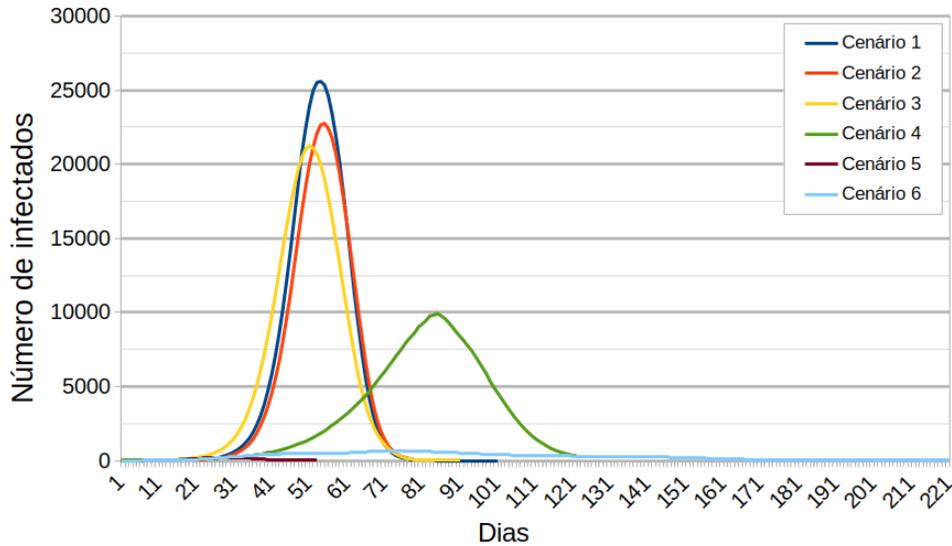
Na Tabela 1 e na Figura 9 são apresentados os resumos dos resultados para todos os cenários simulados.

Observando os valores e as curvas, podemos constatar que o isolamento de idosos e jovens (cenário 3) não foi muito eficiente em relação ao cenário 1 (sem medidas de isolamento), pois ainda houve colapso no sistema de saúde (falta de UTIs disponíveis). Além disso, vale ressaltar que há uma grande dificuldade em se implementar medidas de isolamento horizontal como essas, em ambientes de favelas, onde mais de 300 mil domicílios têm mais de três pessoas dividindo um único quarto <sup>8</sup>.

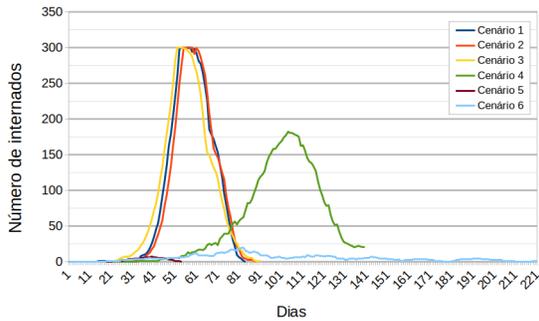
A intervenção em dias alternados (cenário 4) mostrou-se mais eficiente que os cenários 1 e 3 e sem provocar falta de UTIs. No entanto, manter o controle da movimentação das pessoas por um longo período (134 dias) dificulta a implementação desta medida de intervenção. Essa mesma dificuldade é encontrada no cenário 6, para o qual são necessários 220 dias de controle da movimentação das pessoas. Os melhores resultados foram obtidos no cenário 5, onde apenas as pessoas responsáveis pelos serviços essenciais puderam circular. Além do curto período (38 dias), muitas vidas foram salvas e o número de pessoas infectadas foi muito menor quando comparado à todos os outros cenários simulados.

O resultados de algumas das simulações e a dinâmica de movimentação das pessoas pelo ambiente podem ser visualizados em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3817200>.

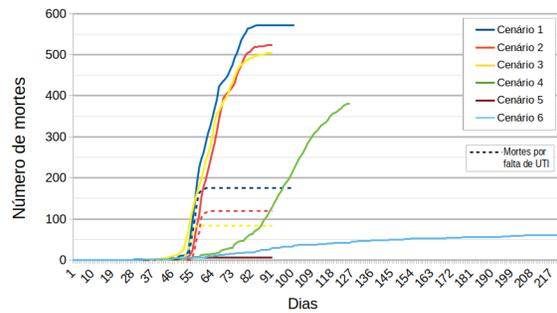
<sup>8</sup>Segundo estudo da ONG Casa Fluminense de Abril 2020: <https://casafluminense.org.br/quartos-com-mais-de-3-pessoas-e-a-realidade-de-300-mil-casas-na-regiao-metropolitana-do-rio/>



(a) Número de infectados ao longo do tempo para os 6 cenários.



(b) Número de internados ao longo do tempo para os 6 cenários.



(c) Número de óbitos ao longo do tempo para os 6 cenários.

Figura 9: Comparação entre os números de infectados, internados, óbitos e óbitos por falta de UTI para os seis cenários simulados.

## 5 Análises e Recomendações

Na presente Nota Técnica, se analisou a disseminação do vírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19, no bairro de Copacabana na cidade do Rio de Janeiro, utilizando um ABM para simular o comportamento epidêmico em diferentes cenários e intervenções. Nas simulações foram consideradas o maior risco de disseminação nas favelas devido à sua situação socioeconômica e vulnerabilidades. Também foram consideradas as diferenças de idade e como isso afeta o sistema de saúde, causando mais óbitos em situações em que o número de leitos de UTI não seja suficiente para atender todas as pessoas que desenvolvem quadros clínicos críticos.

O ABM proposto representou a fenomenologia do evento estudado e, apesar de algumas hipóteses serem desconsideradas, o modelo mostrou-se eficaz para o estudo de disseminação do vírus. Também é importante ressaltar que o ABM desenvolvido neste trabalho pode ser facilmente utilizado para outras populações e cenários, inclusive considerando o equilíbrio entre fatores econômicos-sociais e o da preservação de vidas.

Os resultados deste estudo podem ser utilizados por administradores municipais, onde existem favelas e líderes comunitários envolvidos na gestão de crises e soluções de financiamento. Com estes resultados é possível avaliar a importância de medidas de isolamento social, particularmente para grupos de risco, bem como os diferentes impactos de medidas que podem ser adotadas em diferentes estágios da epidemia.

Os resultados devem ser utilizados com cautela, considerando as limitações das simulações e modelos que incluem premissas que podem não se aplicar a todas as favelas, por serem impactadas por variáveis não previstas no modelo, como condições sanitárias, comorbidades e imunidade das pessoas, o que interfere significativamente para o resultado dos casos de COVID-19.

Os achados aqui sugeridos podem ser estendidos com base em novas descobertas sobre a COVID-19. Atualmente, ainda existe um esforço científico para obter conhecimento sobre como o vírus se espalha e como é o desenvolvimento da doença em diferentes grupos de pessoas. Este novo conhecimento pode ser implementado no modelo para melhorá-lo. Para fins de validação, podem ser realizadas futuras execuções de simulação, a fim de ajustar os parâmetros aos dados reais da região simulada neste trabalho.

## **Contribuição dos Autores**

MF organizou esta Nota Técnica. VPK implementou o modelo, planejou e realizou as simulações. MF, VPK, GDS e EFA contribuíram para o desenvolvimento e implementação da pesquisa, para a análise dos resultados e para a redação do manuscrito. CBM e JRL revisaram o manuscrito considerando os aspectos epidemiológicos das doenças pandêmicas. ERM auxiliou na coleta de dados e informações sobre o cenário no Rio de Janeiro e em outras partes do mundo usadas para definir os parâmetros do modelo.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao LNCC e ao coordenador do Grupo de Computação Científica Distribuída (ComCiDis), Prof. D.Sc. Bruno Schulze, pelo suporte com a infraestrutura computacional de alto desempenho utilizada para apoiar esta pesquisa. Também ao prof. José Luiz de Souza Lima, Mestre em Ciências Sociais e especialista no contexto de favelas há mais de 20 anos, que nos auxiliou na compreensão sobre as favelas cariocas. Além disso, ao CNPQ e FAPERJ pelo apoio financeiro.

## Referências

- [1] M. da Saúde, “Brasil registra 96.559 casos de coronavírus e 6.750 mortes pela doença,” tech. rep., Secretaria de Vigilância em Saúde, 2020. <https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/46823-brasil-registra-96-559-casos-de-coronavirus-e-6-750-mortes-pela-doenca>.
- [2] J. M. Sanders, M. L. Monogue, T. Z. Jodlowski, and J. B. Cutrell, “Pharmacologic Treatments for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Review,” *JAMA*, 04 2020.
- [3] Y. Shi, Y. Wang, C. Shao, J. Huang, J. Gan, X. Huang, E. Bucci, M. Piacentine, G. Ippolito, and G. Melino, “Covid-19 infection: the perspectives on immune responses,” *Cell Death Differentiation*, 2020.
- [4] F. Cavallieri and A. Vial, “Favelas na cidade do rio de janeiro: o quadro populacional com base no censo 2010,” 2010. [http://portalgeo.rio.rj.gov.br/estudoscariocas/download%5C3190\\_FavelasnacidadedoRiodeJaneiro\\_Censo\\_2010.PDF](http://portalgeo.rio.rj.gov.br/estudoscariocas/download%5C3190_FavelasnacidadedoRiodeJaneiro_Censo_2010.PDF).
- [5] L. G. B. Góes, R. M. Zerbinati, A. F. Tateno, A. V. de Souza, F. Ebach, V. M. Corman, C. A. Moreira-Filho, E. L. Durigon, L. V. R. F. da Silva Filho, and J. F. Drexler, “Typical epidemiology of respiratory virus infections in a brazilian slum,” *Journal of Medical Virology*, 2019.
- [6] W.-j. Guan, W.-h. Liang, Y. Zhao, H.-r. Liang, Z.-s. Chen, Y.-m. Li, X.-q. Liu, R.-c. Chen, C.-l. Tang, T. Wang, C.-q. Ou, L. Li, P.-y. Chen, L. Sang, W. Wang, J.-f. Li, C.-c. Li, L.-m. Ou, B. Cheng, S. Xiong, Z.-y. Ni, Y. Hu, J. Xiang, L. Liu, H. Shan, C.-l. Lei, Y.-x. Peng, L. Wei, Y. Liu, Y.-h. Hu, P. Peng, J.-m. Wang, J.-y. Liu, Z. Chen, G. Li, Z.-j. Zheng, S.-q. Qiu, J. Luo, C.-j. Ye, S.-y. Zhu, L.-l. Cheng, F. Ye, S.-y. Li, J.-p. Zheng, N.-f. Zhang, N.-s. Zhong, and J.-x. He, “Comorbidity and its impact on 1,590 patients with covid-19 in china: A nationwide analysis,” *medRxiv*, 2020.
- [7] J. Sun, W.-T. He, L. Wang, A. Lai, X. Ji, X. Zhai, G. Li, M. A. Suchard, J. Tian, J. Zhou, M. Veit, and S. Su, “Covid-19: Epidemiology, evolution, and cross-disciplinary perspectives,” *Trends in Molecular Medicine*, 2020.
- [8] S. Adhikari, S. Meng, Y.-J. Wu, Y.-P. Mao, R.-X. Ye, Q.-Z. Wang, C. Sun, S. Sylvania, S. Rozelle, H. Raat, and H. Zhou, “Epidemiology, causes, clinical manifestation and diagnosis, prevention and control of coronavirus disease (covid-19) during the early outbreak period: a scoping review,” *Infectious Diseases of Poverty*, vol. 9, 03 2020.
- [9] I. M. Oliveira, *Modelos epidemiológicos SEIR*. PhD thesis, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2008.
- [10] S. F. Railsback and V. Grimm, *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. Princeton university press, 2019.
- [11] V. Klôh, G. Silva, M. Ferro, E. Araújo, C. B. de Melo, J. R. P. de Andrade Lima, and E. R. Martins, “The virus and socioeconomic inequality: An agent-based model

- to simulate and assess the impact of interventions to reduce the spread of covid-19 in rio de janeiro, brazil," *Brazilian Journal of Health Review (BJRH)*, pp. 3647 – 3673, 2020. <http://www.brjd.com.br/index.php/BJHR/article/view/9209>.
- [12] I. B. de Geografia e Estatística (IBGE), "Censo demográfico 2010: Características da população e dos domicílios." <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acessado em 05 de abril de 2020., 2020.
- [13] I. P. Passos, "Instituto pereira passos - edição mapas - limite de bairros." <http://www.data.rio/maps/edit?content=PCRJ%3A%3Alimite-de-bairros>, Maio 2020.
- [14] D. da Silveira Barroso Alves, M. T. Serrano Barbosa, E. Raúl Caffarena, and A. S. da Silva, "Caracterização do envelhecimento populacional no município do rio de janeiro: contribuições para políticas públicas sustentáveis.," *Cadernos Saúde Coletiva*, vol. 24, no. 1, 2016. <http://www.scielo.br/pdf/cadsc/v24n1/1414-462X-cadsc-1414-462X201600010272.pdf>.
- [15] A. Vial, A. T. Dias, B. Fartes, B. A. Patrocinio, B. Ribeiro, C. Borba, C. Tepedino, D. Bovolenta, G. Autran, J. Santos, L. Couto, L. de Salles Paiva, L. F. V. Salandía, M. Pandolfi, M. B. França, P. Veiga, P. S. Brito, and R. F. Moraes, "Caderno fichas dos territórios," tech. rep., Instituto Municipal Pereira Passos - Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, 2017. <https://www.data.rio/datasets/programa-riosocial-04-5-caderno-fichas-dos-territ%C3%B3rios-da-rp-zona-sul-mar%C3%A7o-2017>.
- [16] A. Vial, A. Dias, B. Fartes, B. Patrocinio, B. Ribeiro, C. Borba, C. Tepedino, D. Bovolenta, G. Autran, J. Santos, L. Couto, L. Paiva, L. Salandia, M. Pandolfi, M. França, P. Veiga, P. Brito, and R. Moraes, "Caderno ficha dos territórios," Tech. Rep. 2, Instituto Pereira Passos, March 2017.
- [17] W.-j. Guan, Z.-y. Ni, Y. Hu, W.-h. Liang, C.-q. Ou, J.-x. He, L. Liu, H. Shan, C.-l. Lei, D. S. Hui, B. Du, L.-j. Li, G. Zeng, K.-Y. Yuen, R.-c. Chen, C.-l. Tang, T. Wang, P.-y. Chen, J. Xiang, S.-y. Li, J.-l. Wang, Z.-j. Liang, Y.-x. Peng, L. Wei, Y. Liu, Y.-h. Hu, P. Peng, J.-m. Wang, J.-y. Liu, Z. Chen, G. Li, Z.-j. Zheng, S.-q. Qiu, J. Luo, C.-j. Ye, S.-y. Zhu, and N.-s. Zhong, "Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in china," *New England Journal of Medicine*, 2020.
- [18] A. Batista, B. Antunes, G. Faveret, I. Peres, L. Dantas, L. Bastos, S. Aguilar, F. Baião, P. Maçaira, S. Hamacher, R. Carnevale, and F. Bozza, "Dimensionamento de leitos para os casos de infecção por covid-19 no estado do rio de janeiro para o dia 04 de abril de 2020," Tech. Rep. 2, Núcleo de Operações e Inteligência em Saúde (NOIS), March 2020.
- [19] N. Ferguson, D. Laydon, G. G. Nedjati, N. Imai, K. Ainslie, M. Baguelin, S. Bhatia, A. Boonyasiri, P. Z. Cucunuba, G. Cuomo-Dannenburg, A. Dighe, I. Dorigatti, H. Fu, K. Gaythorpe, W. Green, A. Hamlet, W. Hinsley, L. Okell, E. S. van, H. Thompson, R. Verity, E. Volz, H. Wang, Y. Wang, P. Walker, C. Walters, P. Winskill, C. Whittaker, C. Donnelly, S. Riley, and A. Ghani, "Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (npis) to reduce covid19 mortality and healthcare demand," tech. rep., Imperial College London, 2020.

## REFERÊNCIAS

---

- [20] S. L. Chang, N. Harding, C. Zachreson, O. M. Cliff, and M. Prokopenko, "Modelling transmission and control of the covid-19 pandemic in australia," 2020.
- [21] D. D. S. Candido, A. Watts, L. Abade, M. U. G. Kraemer, O. G. Pybus, J. Croda, W. Oliveira, K. Khan, E. C. Sabino, and N. R. Faria, "Routes for COVID-19 importation in Brazil," *Journal of Travel Medicine*, 03 2020. taaa042.