

## MULTIMETODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DA COVID-19 NO ESTADO DE SÃO PAULO – SUBSÍDIOS PARA GESTÃO<sup>1</sup>

Marcos Pereira Estellita Lins<sup>a,b\*</sup>, Maria Stella de Castro Lobo<sup>c</sup>, Ana Natali Leal Louback<sup>a</sup>,  
Victor Israel de Oliveira Figueiredo Silva<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Engenharia de Produção

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

<sup>b</sup>Programa de Engenharia de Produção da COPPE

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

<sup>c</sup>Instituto de Estudos em Saúde Coletiva – IESC

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

Recebido 16/07/2020, aceito 30/10/2020

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma abordagem multimetodológica para apoiar a estruturação dos aspectos relacionados à pandemia de Covid-19, incluindo a interface entre os modelos qualitativo e quantitativo. Como se trata de contribuir na tomada de decisão para intervenções efetivas em um problema social complexo, associamos uma visão sistêmica, expressa em mapas cognitivos, com um modelo formal com dados objetivos. Assim o modelo quantitativo permite avaliar o impacto de parâmetros e variáveis de controle sobre as variáveis críticas, como a taxa de ocupação de leitos e a mortalidade, enquanto o modelo qualitativo facilita a interpretação e validação dos resultados, assim como a investigação sobre aspectos omitidos, mas essenciais à compreensão da evolução da pandemia e seus impactos na vida humana. Apresentamos dois cenários, utilizando simulação discreta, que demonstram a grande sensibilidade a alguns parâmetros, passíveis de gerenciamento, porém sujeitos a incertezas, assim como sua interpretação, incluindo vantagens, limitações e hipóteses para futura investigação.

**Palavras-chave:** Multimetodologia, Simulação, Pandemia, Mapa cognitivo.

### ABSTRACT

This paper presents a multimethodological approach to support the structuring of the various aspects related to the Covid-19 pandemic, including the interface between qualitative and quantitative models. As it is about contributing to decision-making for effective interventions in a complex social problem, we seek to associate a systemic view, expressed in cognitive maps, with a formal model with objective data. Thus, the quantitative model allows evaluating the impact of parameters and control variables on critical variables, such as bed occupancy rate and mortality, while the qualitative model facilitates the interpretation and validation of results, as well as further research on missing factors, however essential to understanding the evolution of the pandemic and its impacts on human life. We present two scenarios, using discrete simulation, which demonstrate the great sensitivity to some parameters, manageable, but subject to uncertainties, as well as their interpretation, including advantages, limitations and hypotheses for further inquiry.

**Keywords:** Multimethodology, Simulation, Pandemics, Cognitive map.

---

\*Autor para correspondência. E-mail: [marcos.lins@uniriotec.br](mailto:marcos.lins@uniriotec.br).

DOI: 10.4322/PODes.2021.006

<sup>1</sup>Todos os autores assumem a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

## 1. Introdução

O advento da Pandemia de coronavírus é uma calamidade que instiga a sociedade a buscar todos os recursos disponíveis para o combate. A gestão da crise humanitária é tratada em áreas recentes da Pesquisa Operacional conhecidas como logística humanitária ou gestão de operações em desastres. Mais do que isto, a crise destaca a natureza complexa dos sistemas sócio-técnicos, onde além da dimensão epidemiológica, são determinantes os fatores de natureza política, econômica, social e psicológica, requerendo uma gestão de conhecimento capaz de integrar diferentes recursos e agentes. Para isto, podem contribuir os métodos desenvolvidos na escola de Pesquisa Operacional inglesa, como Métodos de Estruturação de Problemas (Rosenhead e Mingers, 2001) e, no sentido amplo, o Pensamento Sistêmico (Gharajedaghi, 2011).

Embora a atual pandemia seja inigualável, pela dimensão das incertezas e impactos potenciais, assemelhando-se mais a uma guerra total contra um adversário invisível e onipresente, o método científico poderia contribuir para seu enfrentamento, com o uso de métodos para estruturação e intervenção de natureza sistêmica. Existe, é verdade, uma ignorância sobre o valor do conhecimento científico e o papel que este pode exercer sobre a gestão de estratégias de combate, assim como ocorreu nas duas guerras mundiais, mas também no enfrentamento de desastres.

Buzogany et al. (2020) classificam quatro fases de intervenção sobre os desastres: mitigação, preparação, resposta e reconstrução. A fase de mitigação tem natureza preventiva, visando a reduzir os futuros danos causados; a fase de preparação envolve a alocação de recursos e treinamento de pessoal; a resposta se dá na gestão dos recursos e das vítimas, em plena vigência do desastre e, por fim a reconstrução busca o restabelecimento da qualidade de vida.

No campo específico da saúde pública, o combate à calamidade se dá em duas frentes: a do cuidado à saúde e a da preservação do emprego e renda, dado que condições socioeconômicas são fatores determinantes para o estado de saúde da população. O cuidado à saúde, por sua vez, enfatiza a prevenção (mitigação) e o tratamento (resposta); e ambos requerem estudos epidemiológicos para antecipação, planejamento e monitoramento. Na ausência de mecanismos específicos de prevenção (vacina) e tratamento (medicamento antiviral), medidas para redução da disseminação do vírus (isolamento social e barreiras mecânicas, como o uso de máscaras), garantia de acesso ao cuidado e suporte à vida nos casos graves são essenciais para reduzir o impacto da doença e mortalidade na população.

Segundo Pedraza-Martinez e Wassenhove (2016), apesar do crescimento da pesquisa científica nesta área, a atenção e o uso de resultados teóricos têm sido limitados. As operações humanitárias ocorrem frequentemente em ambientes políticos conturbados onde os governos podem obstruir as operações ou colocar em risco o espaço humanitário que exige neutralidade e igualdade.

Uma das principais conclusões de Leiras et al. (2014) é a necessidade de se estreitar as relações entre a academia e as organizações humanitárias, o que pode levar a um maior desenvolvimento da pesquisa aplicada nos níveis táticos e de decisão operacional, onde é necessário um conhecimento completo dos problemas do mundo real.

Estas observações remetem à necessidade de lidar com aspectos dos mundos de natureza material, pessoal e social, conforme proposto por Habermas (Mingers, 2006), o que requer a integração de metodologias, denominada por multimetodologia. Embora a combinação de metodologias possa restringir-se a métodos quantitativos, o surgimento concomitante dos métodos de estruturação de problemas, de natureza eminentemente qualitativa, sugere fortemente que a multimetodologia deva envolver métodos quantitativos e qualitativos.

Estellita Lins e Antoun Netto (2018) propõem uma multimetodologia para estruturação fundamentada na interface entre o contexto qualitativo de um problema social complexo e a modelagem formal quantitativa de aspectos deste problema. Esta interface baseia-se em uma representação visual espacial do conhecimento, em forma de rede, por que esta é a forma pela

qual o cérebro organiza as informações que chegam expressas sob a forma linear das linguagens falada e escrita.

O presente artigo adota este paradigma multimetodológico quali-quantitativo, ou seja, usa metodologia qualitativa de estruturação de problemas associada ao modelo quantitativo compartimental de simulação SIR (Suscetíveis-Infetados-Recuperados). Em seu componente qualitativo, com base em mapas conceituais, busca compreender o sistema e estruturar o estado de arte de conhecimento sobre o problema, com ênfase nos mecanismos de transmissão. Esta fase permite a evidência dos parâmetros e pressupostos a serem utilizados no modelo quantitativo de simulação, de modo a apoiar os estudos epidemiológicos e propor recomendações de saúde pública.

Holmdahl e Buckee (2020) propõem uma classificação dos modelos em previsão e compartimentais (mecanicistas). Os primeiros fazem previsões baseadas em processos estocásticos, para antecipar em curto prazo o número de casos esperados, como o modelo do Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME); entretanto, com etapa obscura (Yoon et al., 2018). Ao contrário dos primeiros, os modelos compartimentais SIR mimetizam a disseminação do vírus e permitem simular cenários futuros de transmissão, de acordo com diferentes pressupostos que influenciam o contágio e a imunidade. Os parâmetros específicos da doença podem ser facilmente isolados e modificados para testar como a pandemia pode mudar sob várias suposições sobre a doença e a implementação de medidas de controle (Holmdahl e Buckee, 2020). Ambos os modelos podem incorrer em erros significativos; daí a necessidade de análise detalhada do escopo de modelagem e suas limitações. O IHME, por exemplo, previu demanda de 69 mil leitos de Covid no estado de Nova Iorque para o dia 05 de abril, enquanto apenas 16,5 mil foram de fato demandados.

Na literatura nacional, existem diversos modelos quantitativos aplicados para simular o impacto do COVID-19 no Brasil, no estado de São Paulo e/ou na Região Metropolitana de São Paulo. Entre eles, os modelos de previsão de Monte Carlo (Dana et al., 2020), inferência Bayesiana (Mellan et al., 2020) e modelo compartimental de SIR (Rocha Filho et al., 2020). Contudo, ressalta-se a falta de informação disponível quanto à contagiosidade dos assintomáticos e à eficácia do uso da máscara em mitigar a propagação do vírus. Além disso, devido também à impossibilidade de mensuração, nenhum modelo observado abarca a questão das infecções intradomiciliares. Estas e outras lacunas de informação são explicitadas neste trabalho, sob uma visão estruturada do problema, envolvendo limitações e potenciais melhorias, como parte da validação dos modelos.

A aplicação do modelo compartimental SIR neste trabalho considera simulação discreta determinística para tratar a transição entre os estados: Suscetível, Infetado e Recuperado, em seu componente quantitativo, com análise de sensibilidade para diferentes cenários de isolamento social e os seus respectivos impactos na demanda por leitos. Ainda, de acordo com a perspectiva multimetodológica, a parcela qualitativa do estudo auxilia a validação interna e externa dos resultados encontrados, dado que explicita fatores não incluídos no modelo quantitativo, seja pela ausência dos dados ou por problemas de qualidade dos mesmos, principalmente se considerado que muito do conhecimento da doença recém-introduzida ainda está em construção.. Acredita-se que os resultados ora apresentados possam ser úteis para o enfrentamento do problema, principalmente no que tange às intervenções para mitigação e preparação.

## **2. Multimetodologia na Estruturação e Validação de Modelos**

Existem três paradigmas complementares no decorrer do desenvolvimento das áreas de Epidemiologia e Pesquisa Operacional. O primeiro fundamenta-se nas ciências empírico-analíticas e utiliza conhecimentos formais e objetivos, frequentemente matemáticos, para apoio à decisão. O segundo pretende explicitar a interação social humana e o significado compartilhado de subjetividade (intersubjetividade), em vez de apenas causalidade. O terceiro paradigma foi proposto por Habermas como emancipatório, no sentido de ampliar a capacidade metacognitiva para facilitar as intervenções sobre os sistemas (Lobo e Lins, 2010). Os

conhecimentos adquiridos são emancipatórios quando ao menos se pode representar os aspectos essenciais (e multidisciplinares) dos problemas, levando a uma transformação de 'perspectiva'.

Entendemos que a abordagem através da Multimetodologia contribui para integrar estes paradigmas, uma vez que esta é, segundo Mingers (2006) uma combinação de métodos ou técnicas, tanto qualitativas quanto quantitativas, dentro de uma intervenção do mundo real. Modelos quantitativos são imprescindíveis para apoiar a tomada de decisão em problemas sociais complexos. No entanto, muitas tentativas de enquadrar o objeto do estudo falham em explicitar aspectos subjetivos e deixam questões críticas fora da análise do sistema real.

A multimetodologia permite considerar os aspectos internos e externos a um modelo formal quantitativo, através de interface com o contexto qualitativo expresso com o uso de ferramentas gráficas, como mapas conceituais (concept maps), mapas cognitivos (cognitive maps), mapas de pensamento (thinking maps) ou mapas mentais (mind maps), que surgem como um suporte para a estruturação de problemas em diferentes trabalhos e métodos.

Estes mapas resultam de metodologias para apoio a gestão do conhecimento devido a duas limitações nas operações da mente humana; ambas relacionadas aos valores, suas dinâmicas de atribuição de pesos ou supressão. Primeiro, existe a limitação da memória de curto prazo e sua ineficiente interação com a memória de longo prazo, o que pode ser melhorado pela utilização de uma mídia externa que registre os conceitos relevantes de uma forma parcimoniosa e sistêmica. Ao representar suas próprias e diversas perspectivas em relação ao problema, facilita e promove a metacognição individual. Além disto, também permite representar perspectivas adversas atribuídas a outros agentes. Ajuda então a superar uma segunda limitação que consiste em utilizar estereótipos para a supressão de ideias que conflitam com a sua própria ideia dominante. É preciso que a contraposição de alternativas conflitantes seja efetivamente realizada e gerenciada dentro da mente de cada agente, e não apenas como luta de classes econômicas ou disputa entre grupos com diferentes formações: empresários, cientistas, políticos de direita ou esquerda, trabalhadores, etc.

O mapeamento estimula a atenção para habilidades metacognitivas durante a avaliação e decisões sobre intervenção em processos organizacionais, percebendo e organizando o conhecimento que falta. A metodologia CHAP2 (Estellita Lins, 2018) tem sido aplicada a problemas sociais complexos, em especial nas áreas de saúde e educação, utilizando mapas como linguagem para expressar a estrutura cognitiva e promover inteligências intra e interpessoais, (Gardner et al., 1998) a fim de abordar os problemas de sistemas complexos.

Os mapas cognitivos visam apoiar o processo de desenvolvimento e aplicação de um modelo. A explicitação de conceitos e ideias em uma rede gráfica é uma ferramenta visual de organização que facilita a revisão das premissas adotadas e, portanto, facilita a realização de alterações necessárias. O presente artigo utiliza a experimentação via simulação no Excel, e a elaboração do mapa metacognitivo, como processos que ocorrem simultaneamente e se alimentam mutuamente. Além disso, o mapa é uma maneira simples e direta de se comunicar com o interlocutor. Isso porque possibilita visualizar o processo cognitivo por trás do modelo aplicado, facilitando não só o entendimento dos resultados obtidos, mas também a interpretação crítica dos mesmos, que promove a inteligência interpessoal e intrapessoal, de suma importância em problemas sociais complexos.

A validação, assim como a estruturação de problemas, são fases formais da modelagem, embora nem sempre bem compreendidas. Ao discutir o tema da validação em relação aos resultados de modelos em problemas sociais complexos, vamos incidir sobre as decisões que um investigador faz antes de formular as questões investigativas para o estudo.

DeTombe (2002) propõe a classificação da validação em interna e externa. Ambas as validações são complementares, para obter resultados que apoiem a decisão e intervenção no sistema de interesse.

A validação interna procura explicar dados de saída a partir de um modelo teórico aplicado a dados de entrada. Assume que a realidade é descrita pela base de dados, uma vez que informações para as quais não há dados são consideradas irrelevantes ao modelo. Portanto, a validação interna é centrada na base de dados e no modelo, com hipóteses implícitas sobre as fronteiras do sistema a serem consideradas. Validação interna está relacionada à consistência

teórica, especificação correta de um modelo formal, à capacidade explicativa com base em um conjunto de dados, e à capacidade preditiva de outro conjunto. Este é o referencial adotado pela escola norte-americana de Pesquisa Operacional, que inicia a modelagem pelas bases de dados disponíveis, utilizando o conceito de “analytics”.

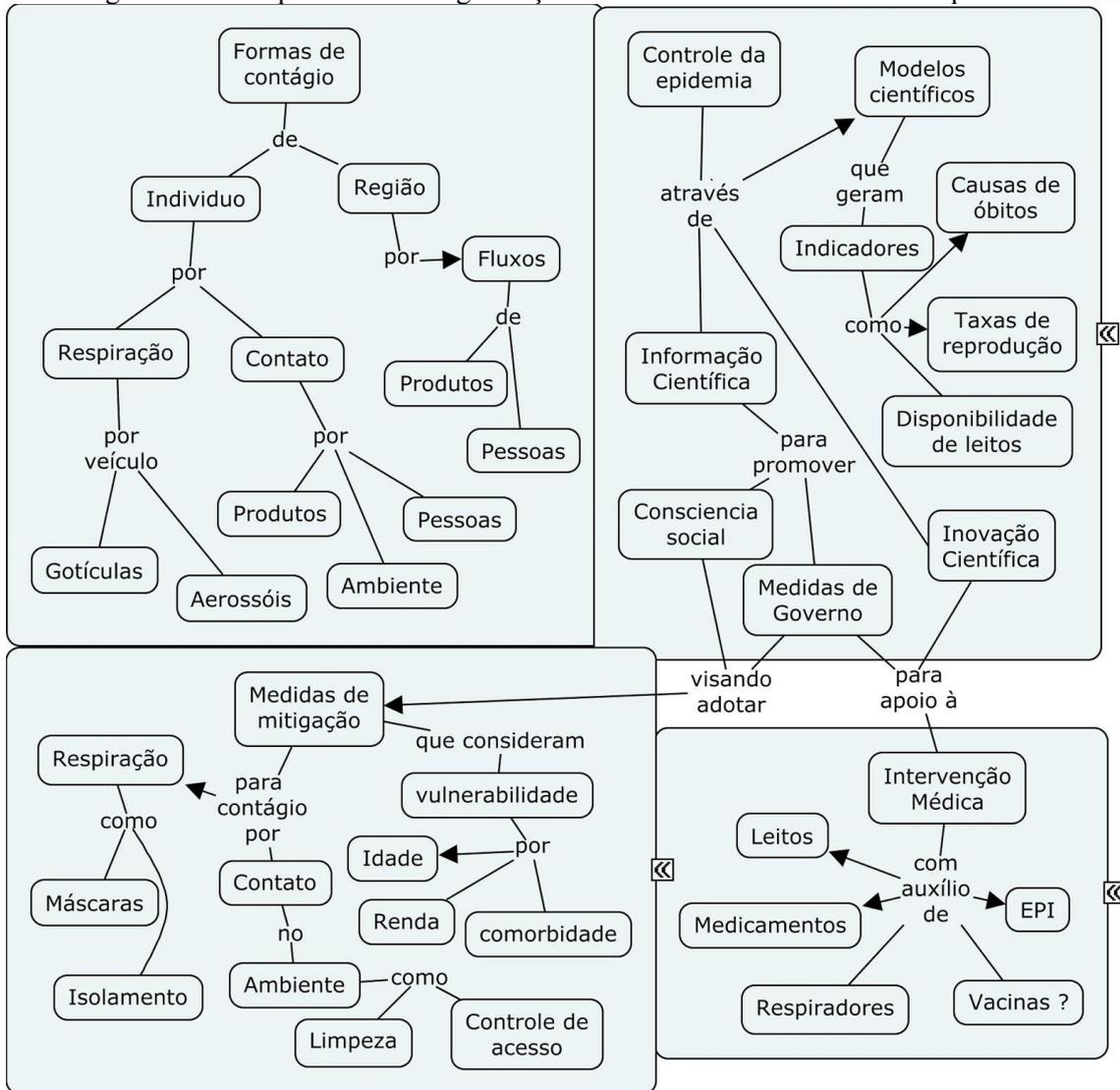
A validação externa considera a investigação de eventuais dados faltantes correspondentes a fatores relevantes para a compreensão do sistema complexo, ainda que frequentemente não se disponha de dados confiáveis. Enfatiza a natureza multidisciplinar e multiperspectiva do sistema, requerendo abordagem quantitativa e qualitativa. A escola inglesa de Pesquisa Operacional inicia a modelagem pela estruturação do problema, uma vez que este se define não apenas por suas relações internas, mas também por suas relações com o contexto de natureza material, social e ambiental.

### **3. Estruturação do Problema**

Nesta Seção, pretendemos proporcionar uma visão o mais completa possível, sobre aspectos intervenientes à crise humanitária, pertinentes à organização do sistema de enfrentamento à epidemia. Estes são agregados em quatro mapas temáticos, sintetizados na Figura 1. Alguns deles serão desdobrados nas Seções 4 e 5, outros serão discutidos na Seção 6. Estes temas são: Formas de Contágio, Medidas de Mitigação, Intervenção Médica e Controle da Epidemia. Embora tendo como foco principal o controle da epidemia, focando nos indicadores e limites de controle, este trabalho pretende organizar informações relacionadas, referentes a formas de contágio e medidas de mitigação.

O tópico mais crítico, visando a redução da mortalidade, é a disponibilidade de leitos, cuja taxa de ocupação é objeto de indicador de controle, e função das formas de contágio e medidas de mitigação. Os fatores pertinentes a estes três temas precisam ser identificados e mensurados, com o detalhamento e a precisão que for possível.

Figura 1: Temas pertinentes à organização do sistema de enfrentamento à epidemia.



Fonte: os autores.

Assim, a organização do sistema de saúde para enfrentamento da epidemia e mitigação do seu impacto na morbi-mortalidade pressupõe a busca de equilíbrio entre a demanda (dos casos graves) e oferta de leitos de internação e de terapia intensiva. Para um melhor planejamento da demanda x oferta de leitos, o estudo considera uma determinada localização geográfica, com seu respectivo perfil demográfico e número de leitos hospitalares disponíveis, de modo a que as autoridades tenham a governabilidade e as informações necessárias para gerenciamento dos mesmos. Embora níveis de desagregação (como regiões epidemiológicas e até bairros) tragam resultados mais precisos - ao considerar diferenças locais como a taxa de reprodução do vírus - optou-se neste estudo por trabalhar com o nível estadual, Estado de São Paulo, devido à disponibilidade de dados públicos necessários.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020b), não há dados científicos conclusivos que comprovem que o vírus sofra alterações devido às condições climáticas (como um clima temperado ou tropical) que possam impactar na transmissibilidade. Ou seja, em termos epidemiológicos, o vírus se propaga igualmente, independentemente do país. Contudo, a gravidade dos casos observados em determinada população é influenciada por alguns fatores,

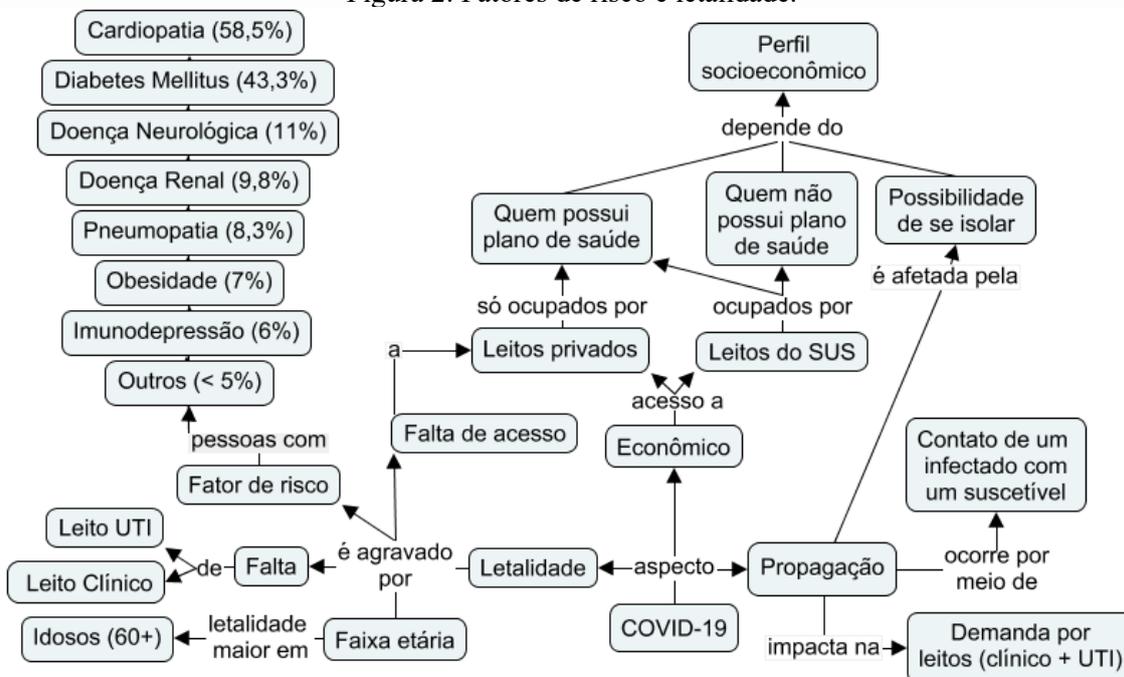
entre eles: a pirâmide etária, a incidência de comorbidades na população, a infraestrutura do sistema público de saúde e as condições socioeconômicas da população.

Como pôde ser notado nos países da Ásia e da Europa atingidos pela pandemia antes do Brasil, o vírus apresenta maior risco de gravidade na população idosa, na população que apresenta determinadas doenças consideradas ‘fatores de risco’ (Verity et al., 2020), e naqueles pacientes que não possuem acesso a tratamento médico de qualidade, definido por sua condição socioeconômica (Batista et al., 2020). Além disso, como foi observado principalmente na Itália, a capacidade do sistema de saúde é de suma relevância pois, em uma parcela de casos, o uso de um respirador mecânico é vital para a conservação da vida (Grasselli et al., 2020). Assim sendo, a falta de leitos, principalmente de UTI, torna-se um problema alarmante.

Perante este cenário, é relevante ressaltar que ter um sistema de saúde estruturado e/ou possuir plano de saúde para acesso a leitos privados impacta na taxa de óbitos observados, o que frequentemente reflete a iniquidade socioeconômica vigente. O acesso a leitos privados - por meio de pagamento de planos de saúde - pode ser considerado um privilégio ao garantir acesso diferenciado a atendimento médico. A população que depende do SUS, por outro lado, tem a garantia constitucional de cuidado universal; porém, está mais vulnerável já que não possui a mesma garantia de atendimento médico devido a longas filas de espera e à escassez de recursos em grande parte dos hospitais públicos.

As vulnerabilidades a serem considerados nas medidas de mitigação da Figura 1 são desdobrados na Figura 2, incorporando fatores que podem vir a agravar a letalidade. Estes, como outros fatores relevantes, não são modelados quantitativamente, mas certamente podem gerar hipóteses para explicar as mudanças de comportamento dos parâmetros do modelo de simulação ao longo do tempo. Os percentuais ao lado de cada comorbidade representam o percentual de óbitos por COVID-19 por comorbidade, dados retirados do relatório da Situação Epidemiológica publicado em 14 de julho pelo Centro de Vigilância Epidemiológica (CVE, 2020).

Figura 2: Fatores de risco e letalidade.



Fonte: Os autores.

É importante antecipar aqui uma interface com o modelo de simulação, que consiste nas principais características epidemiológicas da doença, rotineiramente mensuradas e que impactam na demanda por leitos:

i) a taxa de reprodução básica do vírus ( $R_0$ ) ou infectividade (quantos suscetíveis podem ser infectados por uma pessoa infectada);

ii) a letalidade da doença (representada pela proporção de casos que evoluíram para óbito). De maneira geral, os casos que evoluíram para óbito representam uma parcela dos casos em que houve necessidade de internação hospitalar do indivíduo infectado, dado que os óbitos domiciliares pela doença geralmente não são testados por coincidirem com casos que não tiveram acesso ao sistema de saúde.

Considerando que o contágio se dá principalmente pelo ar, através de gotículas de saliva e aerossóis, mas também por contato físico com ambiente contaminado, conforme registrado no tema sobre formas de contágio da Figura 1, assumimos que as medidas de mitigação podem ser caracterizadas em dois tipos, respectivamente: medidas de contenção física (isolamento, afastamento, uso de EPI, máscaras) e medidas de condicionamento ambiental (limpeza, exaustão, tratamento do ar). Destas, apenas a eficácia do isolamento social é mensurada de forma mais frequente e acurada, sendo o fator de maior importância na redução dos óbitos. No modelo, quanto maior a taxa de isolamento, menor a chance de propagação do vírus e, portanto, menor a demanda por leitos. As demais medidas mitigadoras, cuja eficácia não tem mensuração precisa, não estão incluídas no modelo quantitativo, mas podem vir a explicar alterações no comportamento dos parâmetros adotados.

Outro parâmetro de importância epidemiológica consiste na taxa de subnotificação, a qual permite estimar o número *real* de infectados e, por conseguinte, o número de indivíduos de fato suscetíveis. A subnotificação de casos deriva da possibilidade de um infectado ser assintomático, apresentar sintomas leves ou não ter acesso ao atendimento médico; nestes casos, os indivíduos não realizam teste para detectar o vírus. Acrescente-se a pouca disponibilidade de testes no Estado, assim como em todo o país, o que agrava o problema.

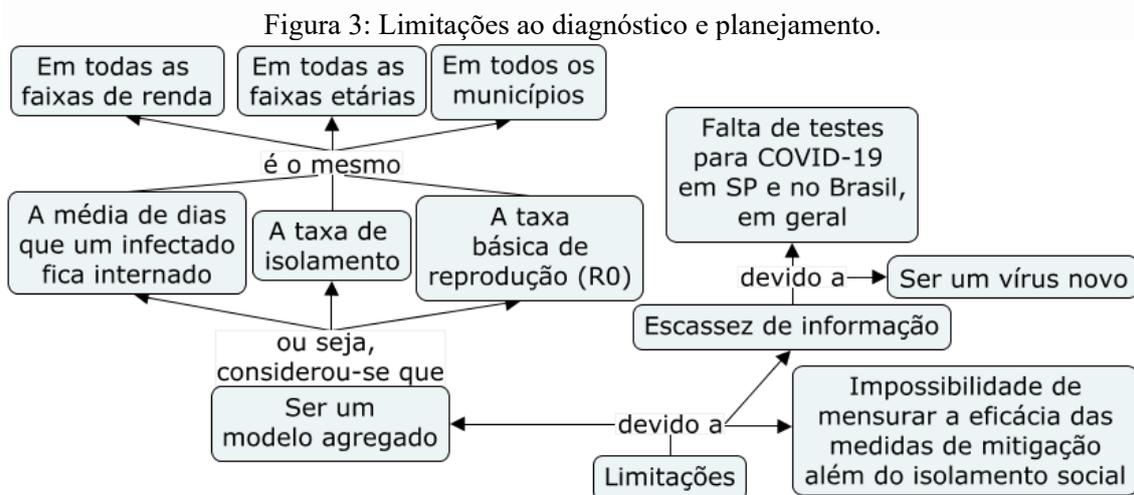
No tocante às limitações dos modelos vigentes, vale destacar:

i) a escassez de informação de caráter epidemiológico sobre o vírus, uma vez que é uma doença nova e há pouca disponibilidade de testes no país;

ii) a agregação dos dados, que considera a mesma taxa de isolamento, média de permanência e taxa de reprodução do vírus, independentemente do município, da sua distribuição etária e/ou da prevalência de comorbidades.

iii) A impossibilidade de desagregar os efeitos de medidas de mitigação sobre a redução da taxa de infecção.

A Figura 3 retrata este segmento do mapa cognitivo, destacando os três tipos de limitações.



Fonte: os autores.

#### 4. Metodologia de Simulação

Kermack e McKendrick (1927) elaboraram o modelo SIR, que classifica os indivíduos em três estados ou compartimentos: suscetíveis, infectados e recuperados. Esses três estados são relacionados por meio de equações diferenciais não-lineares. Considera-se a distribuição de indivíduos espacial e temporalmente homogênea e que o tamanho da população seja grande a ponto de permitir a aproximação por variáveis contínuas dos diversos estados. O modelo de simulação adotado neste artigo utiliza equações de equilíbrio populacional, baseado nos três estados definidos a seguir:

1. Suscetíveis (S): indivíduos que podem contrair a doença;
2. Infectados (I): indivíduos que podem transmitir a doença durante certa fase;
3. Recuperados (R): indivíduos que se recuperaram da doença e não estariam sujeitos a nova contaminação.

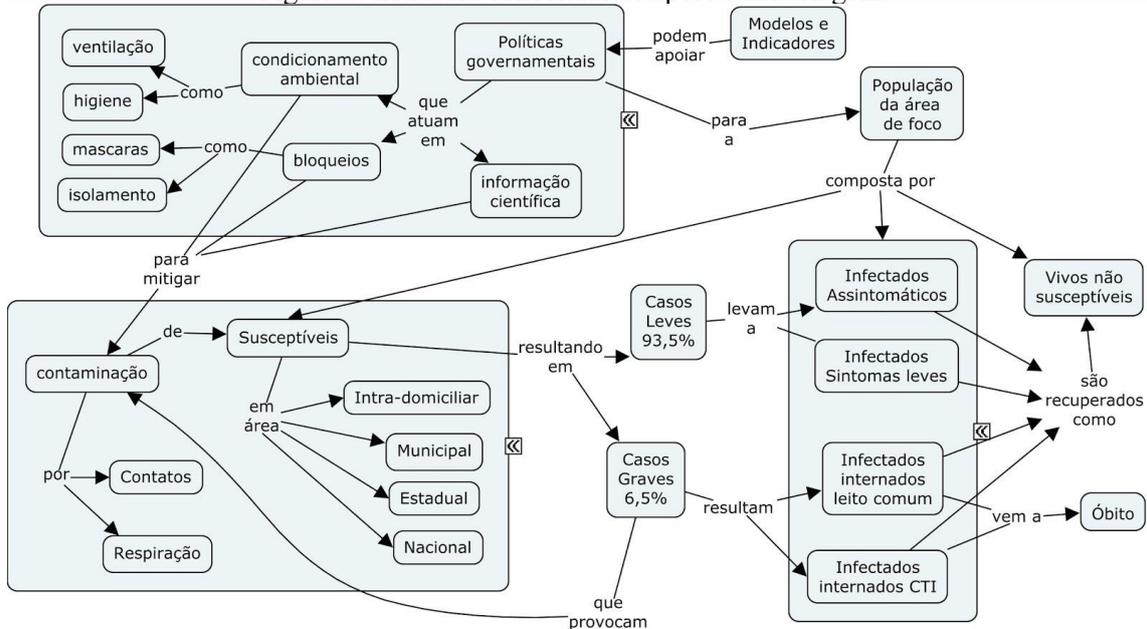
Entretanto, trata estas variáveis como discretas, o que pode facilitar a manipulação de hipóteses sobre sua dinâmica. No presente modelo, considera-se que a intensidade da infecção pode determinar a taxa de transmissão. Como hipótese base, assume-se que, em indivíduos assintomáticos esta taxa pode ser desprezada, por ser de menor intensidade e valor ainda desconhecido na literatura. A contaminação ocorre quando um suscetível e um infectado encontram-se em um mesmo local.

A forma de evolução da pandemia admite barreiras para o contágio em diversos níveis (do intradomiciliar ao nacional), assumindo diferentes padrões de disseminação. A Figura 4 mostra esquematicamente a composição da população da área de foco, em suscetíveis, infectados e recuperados (estes últimos, em princípio, não suscetíveis). Incorpora as hipóteses ou pressupostos adotados até o momento: dentro da categoria dos infectados, apenas os internados estão sujeitos a óbito e contaminam suscetíveis antes da internação, através de contatos durante período especificado. O modelo de simulação considera que estes contatos são moderados pelas medidas governamentais de recomendação de isolamento. A taxa de isolamento é tratada de forma agregada e não é considerado o monitoramento individual de riscos e dos contactantes. Dados de inquéritos de testagem são usados para estimativa da taxa de subnotificação (Hallal et al., 2020).

Outro fator explicitado na estruturação, e pouco considerado pela maioria dos modelos, consiste no nível de bloqueio ou contenção estimada: intradomiciliar, municipal, estadual ou nacional, etc. Silva et al. (2020) apresentaram modelo inovador na inclusão dos fluxos intermunicipais; entretanto, ainda não se consideram a intradomiciliar, que pode ser mais grave em domicílios de baixa renda, populosos e sem condições adequadas de higiene e isolamento individual. Vale lembrar que o estado de Nova Iorque continuou notificando casos, após o isolamento, em sua maioria de pessoas isoladas em casa, o que destaca a relevância da contaminação intradomiciliar. Considera-se a imunidade adquirida pelos que já tiveram a doença, não suscetíveis, embora ainda influencie muito pouco no achatamento da curva de demanda por leitos, dada a baixa prevalência da doença observada nos estudos sorológicos (Hallal et al., 2020).

A Figura 4 explicita, portanto, como os indicadores para apoio ao controle da pandemia, consideram, de forma simplificada, os meios de contágio e medidas de mitigação constantes dos temas da Figura 1. Para simular a demanda por leitos hospitalares, somados os clínicos e de UTI, utilizou-se o software Excel, aplicando a equação que relaciona os três estados observados na Figura 4 (Suscetíveis, Infectados e Recuperados) ao estado de São Paulo, considerando as seguintes variáveis: taxa de reprodução diária, período de contágio do vírus, população suscetível, taxa de subnotificação e taxa de isolamento (Figura 5).

Figura 4: Estrutura conceitual de apoio à modelagem.



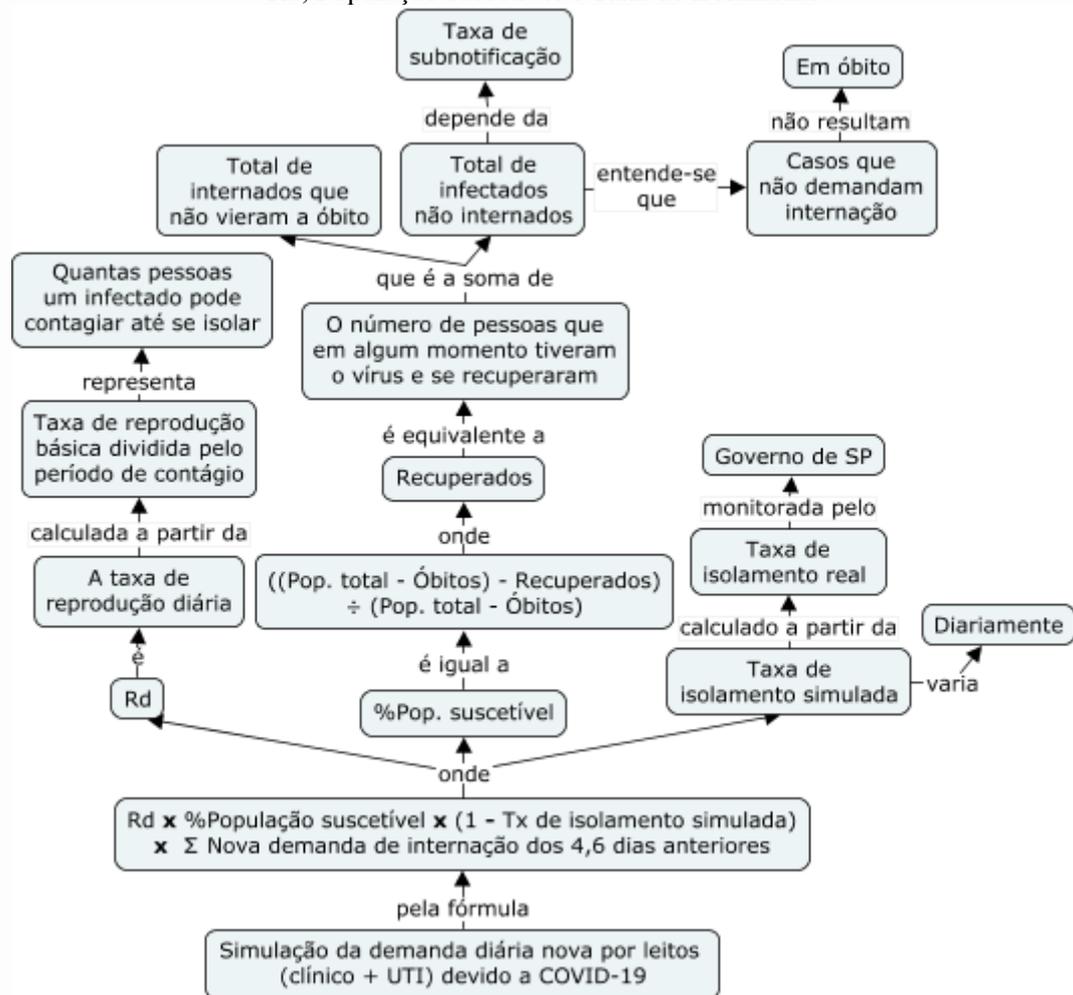
Fonte: os autores.

A taxa de reprodução diária ( $R_d$ ) é obtida em função da taxa de reprodução básica e do período de contágio do vírus ( $PCo$ ). A taxa de reprodução básica ( $R_0$ ) considerou dados da literatura, que apontam para um  $R_0$  próximo a 2, equivalente a 2,47 (Rocha Filho et al., 2020) e 2,27 (Ganem et al., 2020). Ainda, por meio da experimentação e análise de sensibilidade no Excel, o melhor valor de  $R_0$  que permitiu validar o modelo diante dos resultados observados foi igual a 2,11. Embora dados da Região Metropolitana de São Paulo tenham valores ligeiramente superiores, entende-se que a taxa de reprodução básica no Estado seja menor que a observada na Região Metropolitana devido à menor densidade demográfica.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020a), o período de incubação é de em média 5 a 6 dias, podendo variar desde 2 a 14 dias. Sabe-se que um infectado pode transmitir COVID-19 enquanto possuir o vírus ativo no seu organismo, com carga viral suficiente para o contágio, desde que permaneça em contato com suscetíveis. Geralmente, a transmissão se dá enquanto o indivíduo infectado se apresenta pré ou oligossintomático uma vez que, tornando-se francamente sintomático, o indivíduo tende a se isolar e reduzir a transmissão da doença. Em síntese, o modelo considera este período de maior contágio ( $PCo$ ) como importante parâmetro para simular o risco de reprodução do vírus.

Entende-se que o  $PCo$  é menor que o período médio de incubação, uma vez que - desde o contato com o vírus - o infectado precisa apresentar carga viral suficiente para contagiar alguém, embora ainda possa fazê-lo após início de sintomas, geralmente quando leves. Note-se que o fenômeno de reprodução tem natureza exponencial, o que lhe confere altíssima sensibilidade aos parâmetros de reprodução. Observou-se que o modelo é bastante sensível à alteração do período de contágio do vírus e que o resultado da simulação torna-se mais preciso em relação aos dados reais quando adotado o período equivalente a 4,6 dias.

Figura 5: Equação estimativa da demanda nova diária por leitos com descrição dos parâmetros  $R_d$ , População suscetível e Taxa de isolamento.



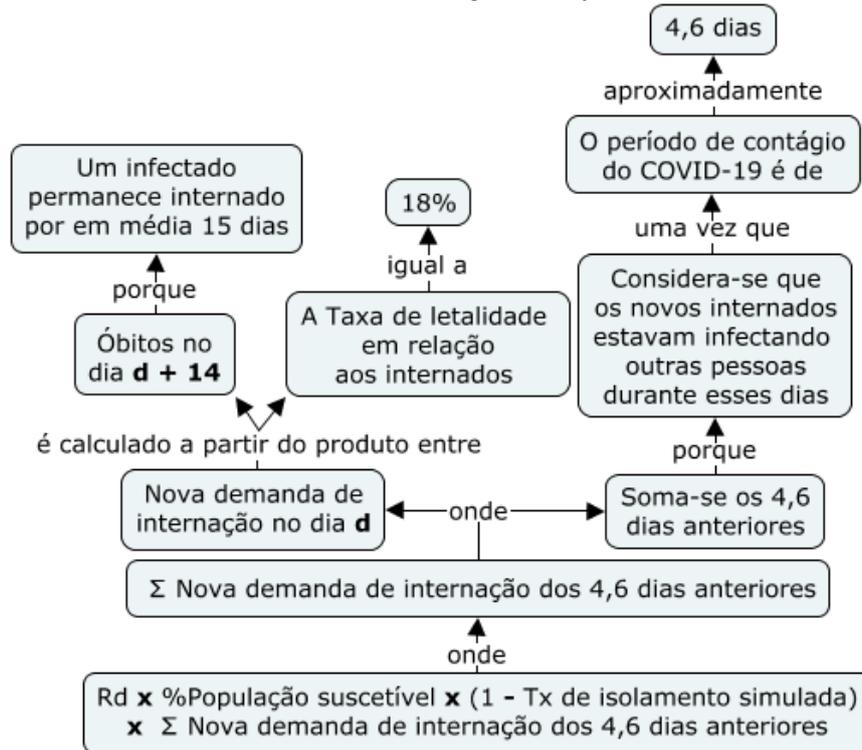
Fonte: Os autores.

A população suscetível é calculada a partir da diferença entre a população total do estado de São Paulo e a população recuperada. A população recuperada representa o total dos casos da doença em que o caso evoluiu para recuperação, com ou sem demanda de internação. Entre estes últimos, são contabilizados aqueles não notificados pelo Ministério da Saúde; daí a relevância da taxa de subnotificação. Como já mencionado, a subnotificação de casos se deve à possibilidade de um infectado ser assintomático, apresentar sintomas leves, ou não contar com acesso a um hospital, portanto, sem realização de teste diagnóstico. Para a taxa de subnotificação, foi adotado o valor divulgado pelo Núcleo de Operações e Inteligência em Saúde da PUC-Rio, igual a 93,5% para o estado de São Paulo (Prado et al., 2020).

A taxa de isolamento é estimada com base na taxa observada monitorada pelo governo de São Paulo por meio dos dados móveis dos celulares dos cidadãos. A taxa de isolamento simulada foi calculada diariamente, dada a variação existente no histórico de isolamento. Note-se que existe diferença significativa entre as taxas de isolamento observada nos finais de semana (sábado e domingo) e nos dias de semana (segunda a sexta).

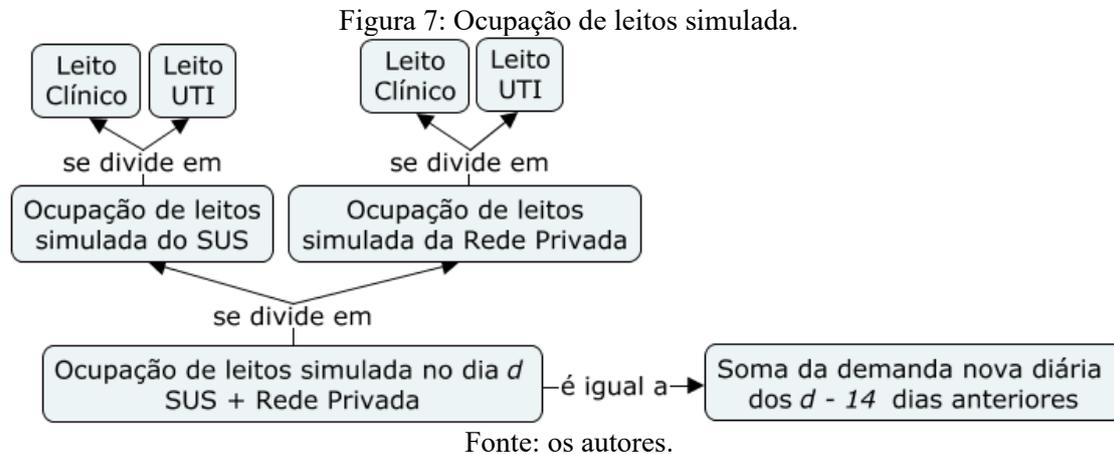
Outros parâmetros considerados são: média de permanência (MPe) do paciente internado por COVID-19 antes de evoluir para um desfecho (óbito ou recuperação) e taxa de letalidade (TL) em relação aos internados. A MPe considerada foi 15 dias e a TL foi 18%, ambos os parâmetros obtidos por dados empíricos de instituições de saúde de São Paulo. Esses dados foram utilizados para, a partir dos óbitos, estimar-se o número de internações por dia, durante os 5 dias que antecedem o início da implementação do modelo de simulação, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Equação estimativa da demanda nova diária e descrição da aferição do número de internados nos 5 dias anteriores à implementação inicial do modelo.



Fonte: os autores.

Uma vez definido o modelo, foram aplicados valores para os parâmetros da equação no Excel. O modelo foi implementado com dados a partir do dia 16 de abril, portanto, 51 dias após a detecção do primeiro caso confirmado de coronavírus no Estado, no dia 25 de fevereiro. Para fins de validação, os resultados da simulação foram comparados com os dados observados de óbitos confirmados por COVID-19 e de internados no SUS, divulgados até a data de elaboração deste artigo. Isso possibilitou ainda a testagem e análise de sensibilidade para diferentes valores adotados, o que permitiu adequar os parâmetros ao modelo de maneira a deixar o resultado da simulação mais próximo ao observado na realidade. Vale relembrar que a equação da Figura 6 descrita fornece a estimativa da demanda *nova diária* por leitos hospitalares. Dado que um infectado permanece internado por em média 15 dias (Gaythorpe et al., 2020), a *ocupação de leitos* simulada no dia  $d$  é a soma da demanda nova diária por leitos dos últimos  $d - 14$  dias (Figura 7).



A oferta por leitos hospitalares considerou a totalidade dos leitos do Estado de São Paulo, SUS e privados, dada a possibilidade de parceria público-privada no uso dos leitos, mencionada pelo governador do Estado. Na ausência desta parceria, com o aumento da demanda por leitos, a solução encontrada pelas autoridades de SP foi a criação de hospitais de campanha, para somar leitos ao SUS. No estado de São Paulo, a rede pública possui 20.122 leitos clínicos e 8.140 leitos de UTI. Segundo a Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS, 2020), 62% dos 44.639.899 cidadãos do estado dependem do SUS. Optou-se por simular a demanda tanto para a rede pública quanto para a privada. A demanda simulada também considerou o tipo de leito - clínico e UTI - unidade de terapia intensiva, dado que leitos de UTI estão adaptados para uso de respirador mecânico e outros aparelhos de suporte à vida, e esperam-se diferentes gravidades e riscos de morte por tipo de leito.

A informação quanto ao número de leitos disponíveis foi obtida do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES, 2020), com exceção do número de leitos de UTI do SUS, que foi obtido a partir da coletiva de imprensa do Governo do Estado de São Paulo (2020) do dia 10/julho/2020, já que, como supracitado, foram adicionados leitos ao SUS desde o início da pandemia e o CNES ainda não computou esse acréscimo.

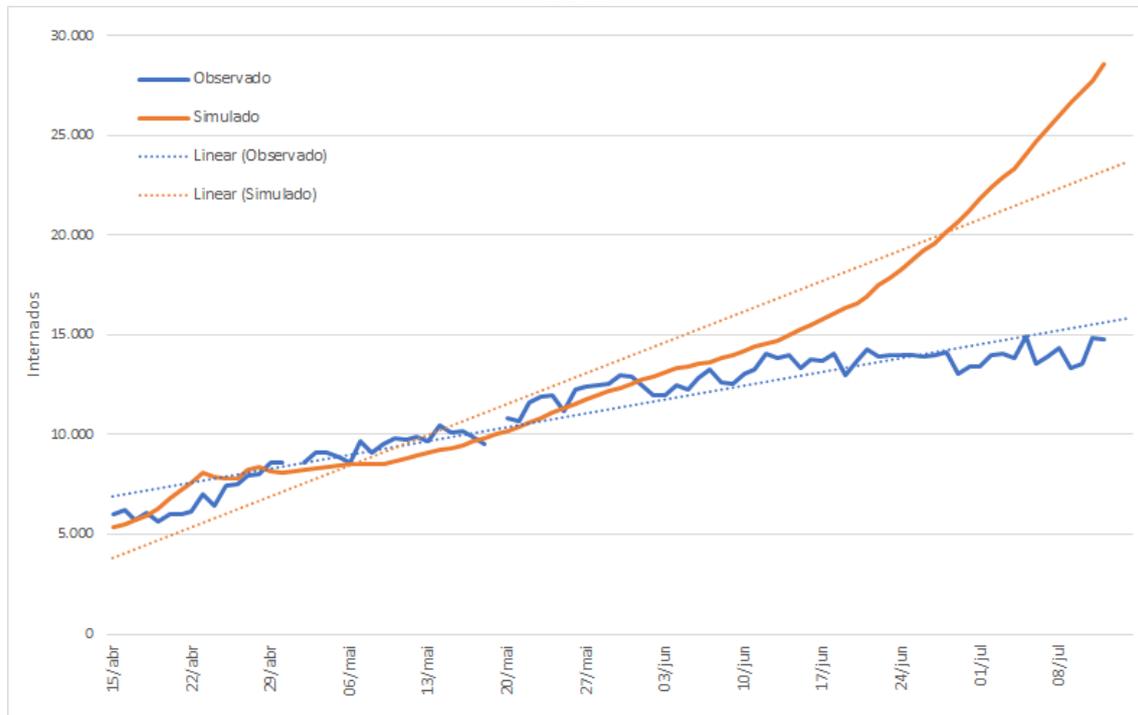
## 5. Resultados e Discussão

A Figura 8 compara o resultado da simulação com os dados observados de internação clínica e de UTI no SUS, informados pela Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo e Centro de Contingência, no período de 16 de abril a 12 de julho. Na Figura 8, a simulação da demanda por leitos se aproxima dos dados observados durante os meses de abril e maio, indicando que os parâmetros adotados geram resultados compatíveis com os observados. Contudo, nota-se a tendência de crescimento acentuado da curva simulada a partir de junho, explicados pela queda progressiva da taxa de isolamento social no período; igual a 52%, 50%, e 48% em abril, maio e junho, respectivamente. Contudo, há um decréscimo da demanda observada por leitos de internação a partir de junho.

Este descolamento da curva simulada pode estar associado a três fatores. O primeiro se deve à interiorização da doença para novos municípios fora da capital, cada qual com diferentes densidades demográficas, taxas de reprodução básica e de isolamento. Este aspecto poderia ser considerado de forma ponderada no modelo agregado caso houvesse dados disponíveis para quantificar este fator. Uma segunda hipótese considera que, apesar da baixa prevalência de imunizados/recuperados encontrada por testagem sorológica de anticorpos, existe a

possibilidade de imunidade celular (não dependente de anticorpos), ou imunidade cruzada com outros coronavírus, que justifique uma maior proteção da população para a doença com redução da demanda por leitos a partir de junho (Grifoni et al., 2020).

Figura 8: Demanda simulada de leitos versus ocupação observada dos leitos nos hospitais do SUS.

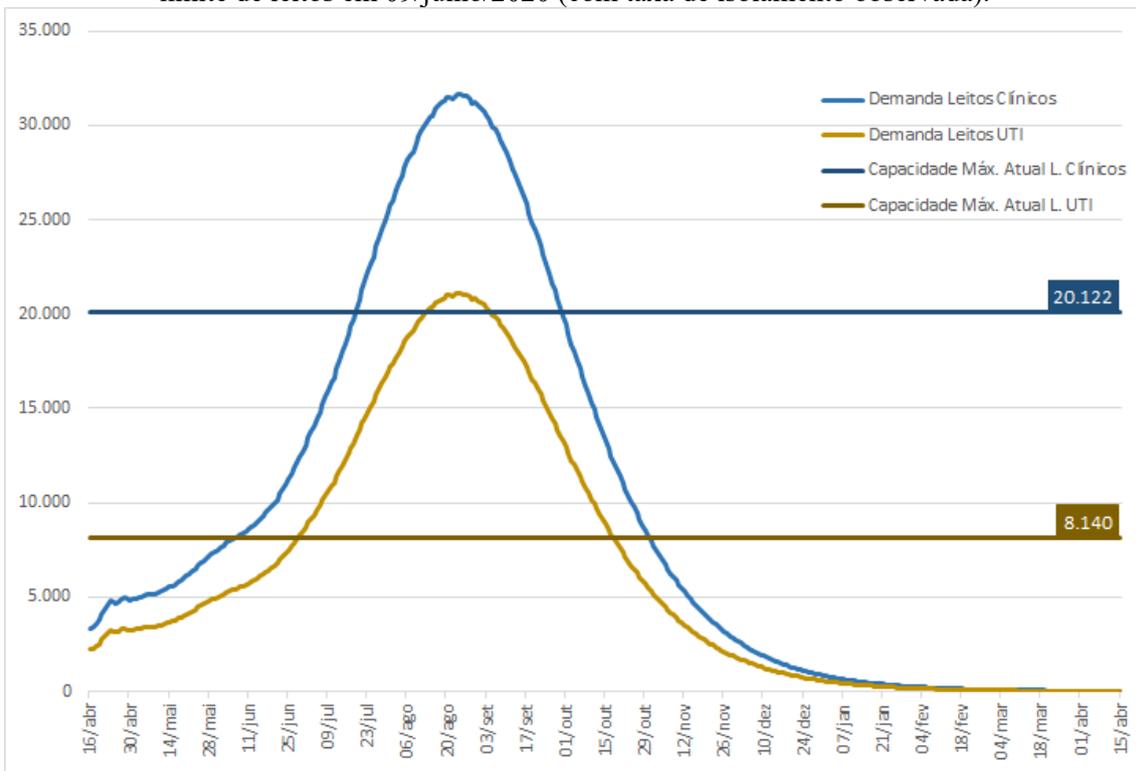


Fonte: os autores. Dados coletados a partir da simulação e das coletivas de imprensa do governo de SP.

Finalmente, o terceiro fator está relacionado ao uso de máscaras em lugares públicos, que se tornou recomendação obrigatória para reduzir a transmissão, contribuindo para reduzir a carga viral e o impacto do decréscimo da taxa de isolamento. Como já mencionado, o modelo não considera a efetividade das demais medidas mitigadoras implementadas, como o uso de máscara, devido à impossibilidade de mensurar tal fenômeno de maneira precisa, como evidenciado por Silva et al. (2020).

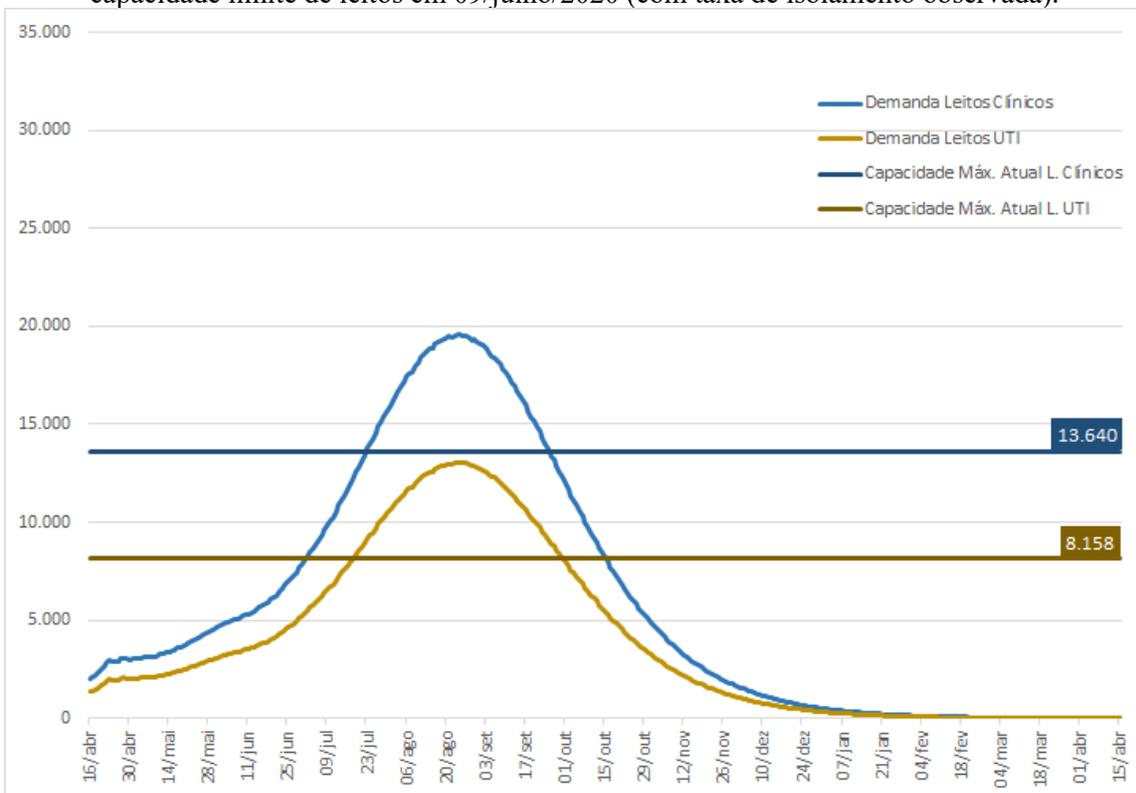
As Figuras 9 e 10 ilustram a demanda simulada por leitos dos hospitais do SUS e da rede privada, respectivamente, mostrando que, ao final de junho, a capacidade de leitos em ambas as categorias de hospital, públicas ou privadas, seria superada. Como este cenário não se concretizou, mesmo com a queda da taxa de isolamento, corrobora-se a necessidade de avaliar os fatores alternativos que influenciaram a redução desta demanda na prática, sejam relacionados a políticas públicas adotadas (como uso de máscaras), ou às características da própria doença, (como o tipo de imunidade adquirida), com influência no número de suscetíveis. Se considerada somente a imunidade humoral testada nos inquéritos sorológicos, a frequência de suscetíveis não parece suficiente para explicar uma possível imunidade de rebanho, dado que aproximadamente 79% da população do estado ainda estaria suscetível à doença, desde findo o pico de casos até abril de 2021, segundo a simulação.

Figura 9: Demanda simulada de leitos nos hospitais do SUS considerando a capacidade limite de leitos em 09/julho/2020 (com taxa de isolamento observada).



Fonte: os autores. Dados coletados a partir da simulação, da coletiva de imprensa do governo de SP e do CNES.

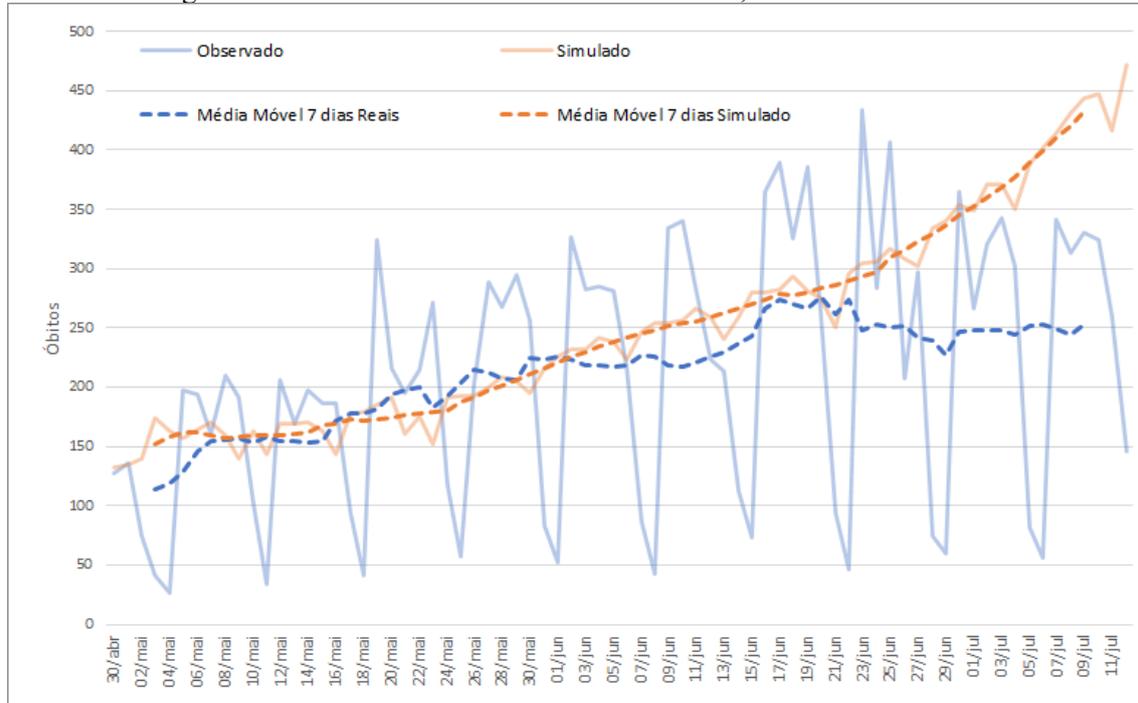
Figura 10: Demanda simulada de leitos nos hospitais da Rede privada considerando a capacidade limite de leitos em 09/julho/2020 (com taxa de isolamento observada).



Fonte: os autores. Dados coletados a partir da simulação e do CNES.

Ainda para validar os resultados da simulação, na Figura 11, foram comparados os óbitos diários da simulação com os óbitos observados, divulgados pela Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo, durante o período de 30 de abril a 12 de julho. Para atenuar as diferenças entre os atrasos entre as confirmações realizadas em dias úteis e em finais de semana, foi usada média móvel de 7 dias. Conforme o esperado, os resultados simulados também se aproximam dos dados reais até a terceira semana de junho, acentuando-se a diferença a partir de então.

Figura 11: Óbitos diários simulados e observados, com médias móveis.



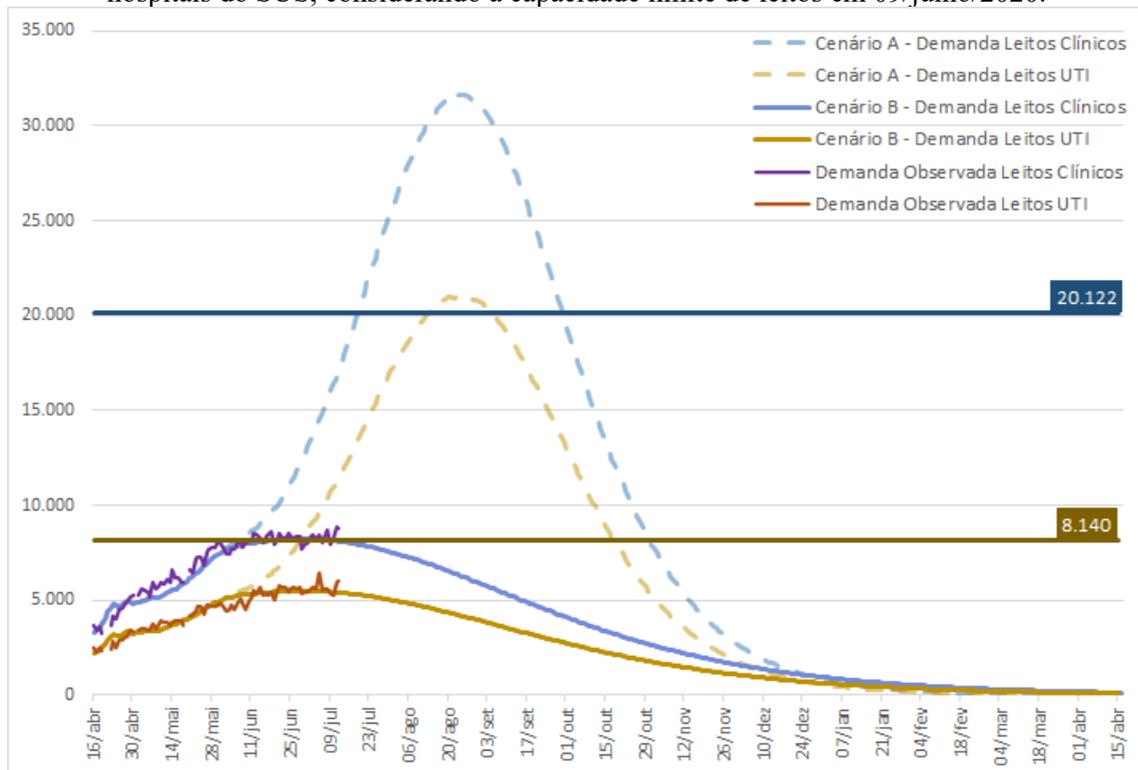
Fonte: os autores. Dados coletados a partir da simulação e da Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo.

As Figuras 9, 10 e 11 retratam um cenário tendencial, que denominamos cenário A, que foi atenuado na realidade, possivelmente, devido aos três fatores citados. Embora não se tenha possibilidade de constatar e de quantificar o efeito de cada fator mitigador, buscou-se corrigir essa divergência entre dados observados e simulados a partir de junho, através da criação de um cenário B, no qual a taxa de isolamento é fixada em 51% a partir de 25/mayo. Apesar de pequeno, este aumento em poucos pontos percentuais da taxa de isolamento provoca um achatamento da curva da ocupação simulada (e, portanto, dos óbitos simulados), com a demanda por leitos mantida abaixo da oferta em todo o período (nas redes pública e privada). Em síntese, o cenário A (retratado nas Figuras 9, 10 e 11) utilizou as taxas de isolamento reais, equivalentes a 52%, 50% e 48%, nos meses de abril, maio e junho, respectivamente, ao passo que o cenário B manteve fixa a taxa de isolamento em 51%, a partir de 25/mayo.

As Figuras 12 e 13 comparam a demanda de leitos dos dois cenários simulados (A e B) com a oferta de leitos, nas redes pública e privada, respectivamente. Também na Figura 12, foi incluída a curva de internações observadas na rede pública. É importante notar que as curvas do cenário B se aproximam das internações observadas durante todo o período, diferentemente do cenário A, que apresentou descolamento das curvas simuladas e observadas a partir do final de junho. Os ajustes realizados no valor e data especificados chamam a atenção para a necessidade de pesquisa de fatores adicionais que possam ter promovido o achatamento real da curva, sejam eles relacionados a medidas de bloqueio da transmissão (como uso de máscaras), a mudanças de padrão de disseminação da doença (interiorização) e/ou a características da doença (imunidade).

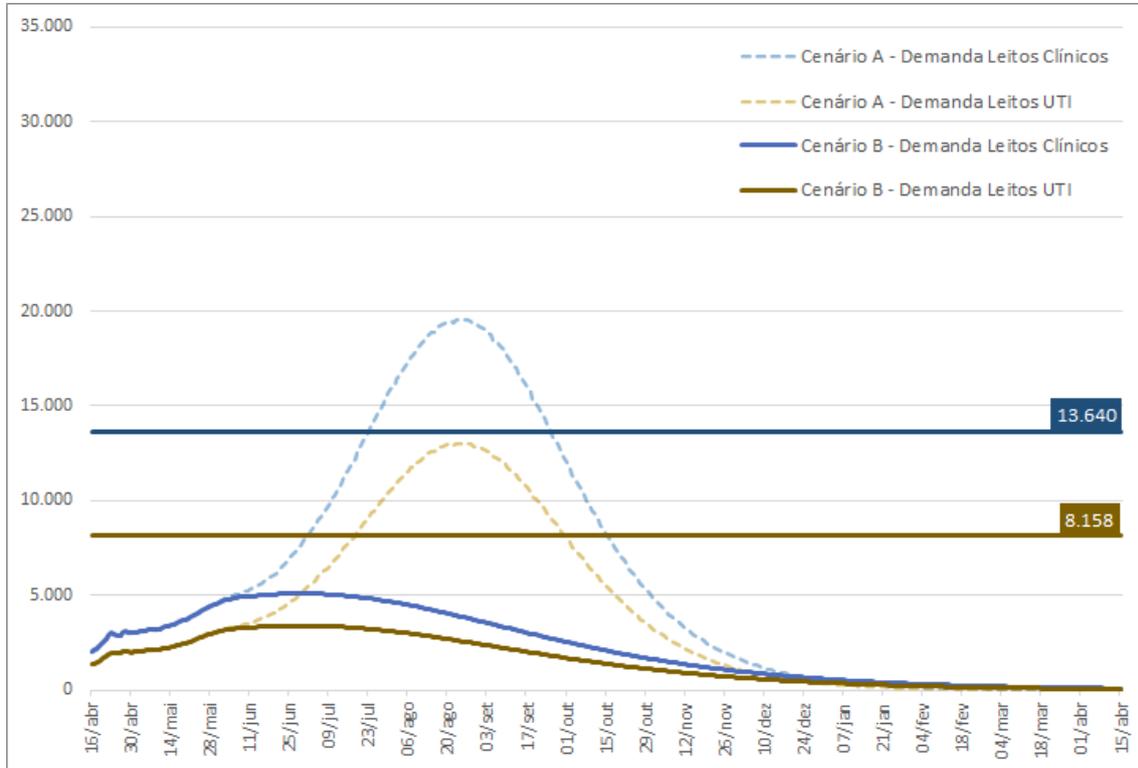
Se mantidos todos os demais parâmetros, conhecidos e desconhecidos, a taxa de ocupação em torno de 51% (cenário B) garantiria que a oferta pública de leitos clínicos (20.122) e de internação (8.140) superasse a demanda no modelo de simulação (Figuras 12). O mesmo ocorre na oferta privada de leitos clínicos (13.640) e de internação (8.158), onde a taxa de ocupação de leitos clínicos e de leitos de UTI permaneceu abaixo de 50% (Figura 13).

Figura 12: Demanda simulada (cenários A e B) e demanda observada por leitos na rede de hospitais do SUS, considerando a capacidade limite de leitos em 09/julho/2020.



Fonte: os autores. Dados coletados a partir da simulação, da coletiva de imprensa do governo de SP e do CNES.

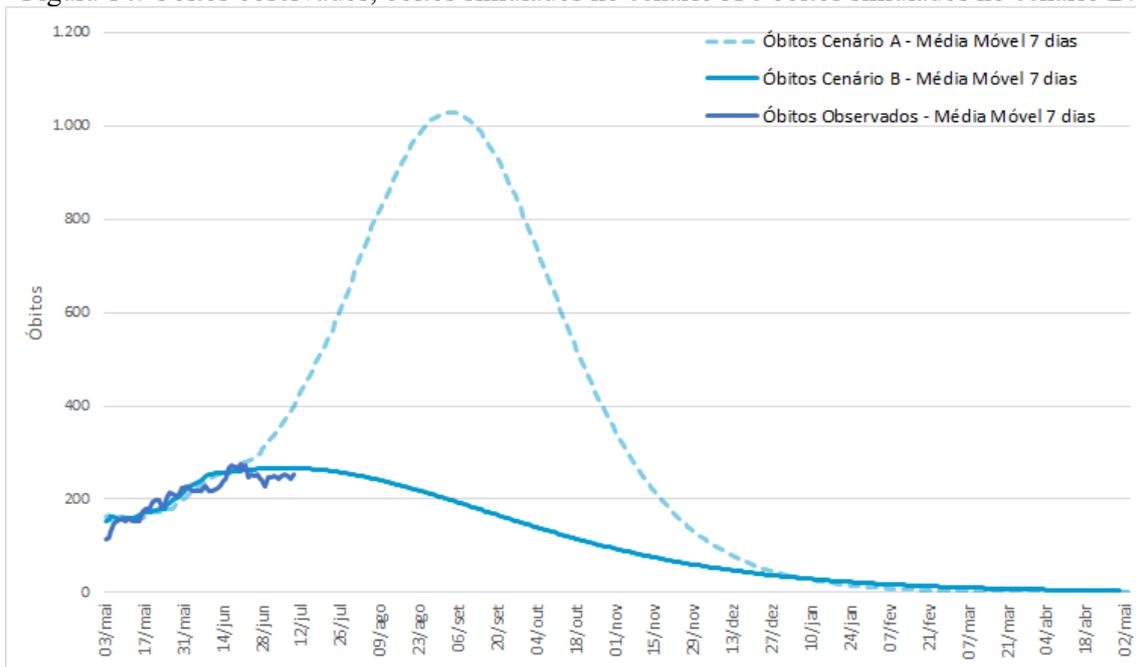
Figura 13: Demanda simulada (cenários A e B) por leitos nos hospitais da rede privada considerando a capacidade limite de leitos em 09/julho/2020.



Fonte: os autores. Dados coletados a partir da simulação e do CNES.

Na Figura 14, são comparados os óbitos simulados nos cenários A e B com os óbitos observados. Dado que a única diferença entre os cenários simulados está na taxa de isolamento (caindo para 48% no cenário A, e fixa em 51% no cenário B), as diferenças entre as áreas abaixo das curvas indicam o montante de vidas preservadas com a manutenção da taxa de isolamento inicial, acima de 50%.

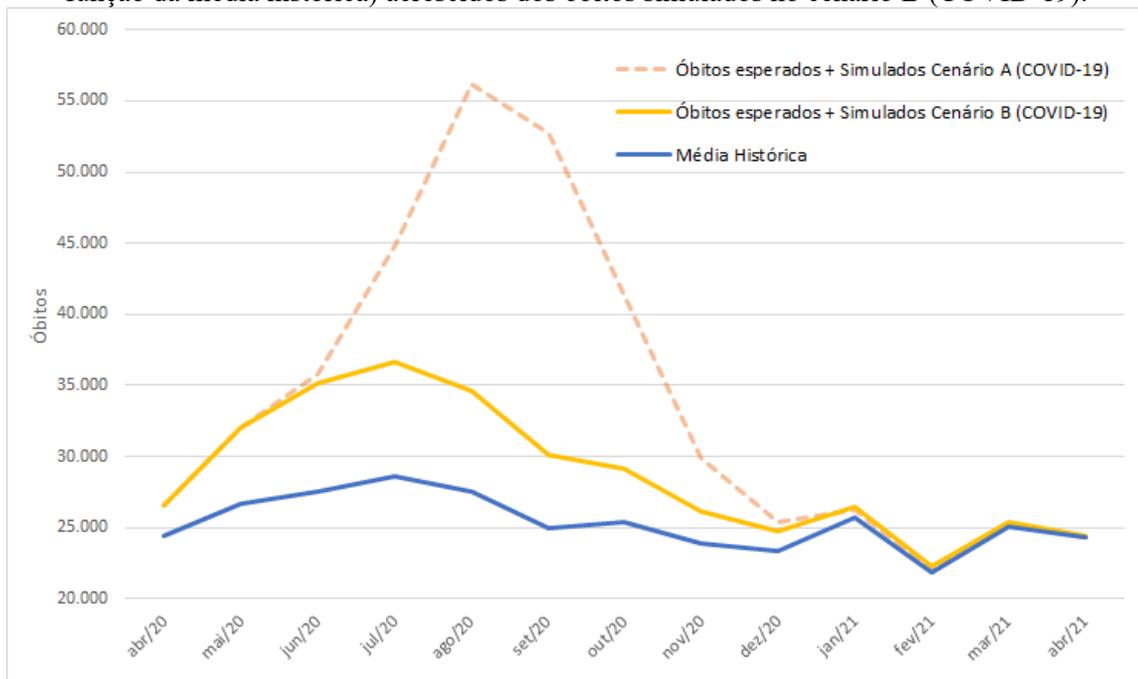
Figura 14: Óbitos observados, óbitos simulados no cenário A e óbitos simulados no cenário B.



Fonte: os autores. Dados coletados a partir da simulação e da Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo

Para avaliar o impacto da pandemia nas estatísticas de mortalidade do Estado de São Paulo, comparou-se a média histórica de mortes por mês dos últimos 4 anos - disponível no Portal da Transparência de Registro Civil (2020) - com a média de mortes esperada para 2020, acrescida dos óbitos simulados do cenário B (mais próximo dos dados reais). O período considerado foi de abril/2020 a abril/2021, a partir de quando não haveria mais mortes devido ao COVID-19, de acordo com o modelo. A Figura 15 mostra que os óbitos superam a mortalidade esperada na ausência de epidemia em 12,5%, o que se traduz em 47 mil óbitos. Se somados os óbitos por Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), em sua maioria decorrentes de COVID-19, as mortes no período superam a mortalidade esperada em 13,4%, atingindo o marco de 50 mil óbitos.

Figura 15: Comparação entre a média histórica de óbitos mensais e os óbitos esperados (em função da média histórica) acrescidos dos óbitos simulados no cenário B (COVID-19).



Fonte: Os autores. Dados coletados a partir da simulação e do Portal da Transparência de Registro Civil (2020).

## 6. Considerações Finais

Desde o início de 2020, foi importante avaliar o risco global representado pelo SARS-CoV-2. Os modelos forneceram estimativas da taxa de reprodução básica do vírus ( $R_0$ ) e a taxa de letalidade da doença (TL) (Metcalf et al., 2020). Os modelos não só geram estimativas sobre os parâmetros relevantes, como o tempo de incubação e o período de contágio do paciente, como também permitem ajustá-los ao longo do tempo, dada a complexa dinâmica epidemiológica e social da doença. Têm sido usados para orientar respostas políticas nos Estados Unidos e a Grã-Bretanha, estimando o número de mortes por Covid-19 previsto para os próximos 2 anos, sob várias medidas de distanciamento social, e orientando "estratégias de saída" do isolamento. Esses modelos permitem formalizar o que sabemos sobre transmissão viral e explorar possíveis futuros de um sistema que envolve interações não lineares. O presente modelo oferece as mesmas utilidades, com dados resultantes deste processo de investigação em unidade federativa brasileira, ainda permitindo observar quais as mudanças nos parâmetros necessárias para explicar inconsistências entre resultados previstos e observados. Este tipo de ajuste permitiu ao Imperial College, por exemplo, alertar para a assustadora e rápida retomada da taxa de reprodução  $R$  para 1,7 em 11 de setembro (Riley, et al., 2020).

Os estudos realizados por Rocha Filho et al. (2020), Ganem et al. (2020) e Mellan et al. (2020) apontaram o risco de sobrecarga do sistema de saúde em São Paulo entre março e maio deste ano caso não fossem implementadas e mantidas medidas de contenção da propagação do vírus e/ou adicionados leitos ao SUS, o que vai ao encontro do resultado desta simulação e com a realidade observada. O resultado da simulação reforça a necessidade de se manter o isolamento social e as demais medidas mitigadoras pois, como explicitado acima, estas exercem efeito significativo no número de infectados e, conseqüentemente, na demanda por leitos.

Para a validação dos resultados, é importante identificar as vantagens e limitações deste trabalho. A Estruturação de Problemas através de mapas cognitivos é um diferencial deste artigo que permite a organização sistêmica da diversidade de fatores que afetam o impacto da pandemia, fornecendo uma visão integrada dos aspectos relevantes, em grande parte não incluídos nos modelos. Isto se torna bastante relevante quando se defronta com resultados

surpreendentes, como a súbita mudança de comportamento nas curvas de demanda por leitos e de ocorrência de óbitos. A representação gráfica em mapas ainda apresenta a vantagem de facilitar a compreensão e o compartilhamento de perspectivas por todos os atores envolvidos no enfrentamento da epidemia, e não somente de especialistas em modelagem. Isto é essencial para se lidar com um problema cuja solução exige abordagens multidisciplinares e ações integradas nos diversos níveis de estratégias.

Algumas limitações decorrem das incertezas devidas à falta de dados para parâmetros de modelagem, como os que representam outras medidas que contribuem para a mitigação dos impactos da pandemia. Entretanto, buscou-se delinear o momento e a intensidade destes fatores, a partir do ajuste da simulação aos dados observados, levantando-se hipóteses alternativas para explicar as diferenças encontradas entre os dados reais e os simulados.

Em problemas sociais complexos, a sensibilidade dos resultados às variáveis de entrada e a identificação de fatores omissos, necessários à compreensão e gestão dos processos, são mais importantes do que a capacidade preditiva de um modelo. O presente modelo permitiu aferir a enorme sensibilidade da demanda por leitos e mortalidade à taxa de isolamento, ao percentual de recuperados e ao período de contágio, incidente na taxa de reprodução.

Pequenas variações nas taxas de isolamento acarretam mudanças drásticas com novos picos nas curvas de demanda por leitos e de óbitos. Esta sensibilidade foi verificada no modelo, e mostra que é imprescindível um controle mais antecipado do recrudescimento da pandemia, através de testagem massiva para conhecer a real prevalência da doença e implementar medidas oportunas de controle. O total previsto de recuperados ao final de 2020 nos deixa muito longe da perspectiva de imunidade de rebanho, tornando a vacina como a principal solução viável.

A sensibilidade da demanda por leitos ao período de contágio mostra a importância das medidas de contenção (lavagem de mãos, álcool gel, isolamento e máscaras). Conforme já foi mostrado por outros estudos, observou-se a grande influência destas medidas na magnitude de contágio, no número de contaminados e, conseqüentemente, na demanda por leitos.

O impacto da pandemia no Estado de São Paulo é de extrema relevância, na medida em que se estimam 50.000 mortes pela doença até abril de 2021. A aplicação dos resultados acima nas políticas públicas de saúde pode ser útil para garantir intervenções de mitigação e preparação, como o acesso ao cuidado, o equilíbrio entre a demanda e a oferta de leitos, a imposição de medidas de contenção da transmissão, enquanto o máximo de esforços deve ser direcionado mundialmente para o desenvolvimento de resposta mais definitiva ao desastre, a vacina - o que também passa pelo conhecimento dos mecanismos de imunidade.

**Agradecimentos.** O primeiro autor agradece o apoio do CNPq através do processo PQ 303346/2017-5.

## Referências Bibliografia

ANS - Agência Nacional de Saúde Suplementar. *Sala de situação*. 2020. Disponível em <http://www.ans.gov.br/perfil-do-setor/dados-e-indicadores-do-setor/sala-de-situacao>. Acesso em: 14/07/2020.

Batista, A., Antunes, B., Favaret, G., Peres, I., Marchesi, J., Cunha, J. et al. *Análise socioeconômica da taxa de letalidade da COVID-19 no Brasil*. NOIS PUC-Rio. Nota Técnica 11. 2020. Disponível em: <https://sites.google.com/prod/view/nois-pucRio/publica%C3%A7%C3%B5es?authuser=0#h.ijqa5msfttoq>. Acesso em: 18/06/2020.

Buzogany, R. F., de Brito Junior, I., Leiras, A. e Yoshizaki, H. T. Y. *Prioritization models in humanitarian operations: systematic review of the literature*. 2020. Disponível em: <https://www.pomsmeetings.org/ConfProceedings/065/Full%20Papers/Final%20Full%20Papers/065-1319.pdf>. Acesso em 14/07/2020.

CNES - Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde. *DATASUS. Recursos físicos*. 2020. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0204&id=11663>. Acesso em: 09/07/2020.

CVE - Centro de Vigilância Epidemiológica. *Novo coronavírus (COVID-19). Situação epidemiológica em 14/07/2020*. 2020. Disponível em: [http://www.saude.sp.gov.br/resources/cve-centro-de-vigilancia-epidemiologica/areas-de-vigilancia/doencas-de-transmissao-vigilancia/doencas-de-transmissao-respiratoria/coronavirus/coronavirus140720\\_situacao\\_epidemiologica.pdf](http://www.saude.sp.gov.br/resources/cve-centro-de-vigilancia-epidemiologica/areas-de-vigilancia/doencas-de-transmissao-vigilancia/doencas-de-transmissao-respiratoria/coronavirus/coronavirus140720_situacao_epidemiologica.pdf). Acesso em: 14/07/2020.

Dana, S., Simas, A. B., Filardi, B. A., Rodriguez, R. N., Valiengo, L. C. L. e Gallucci-Neto, J. *Brazilian modeling of COVID-19 (BRAM-COD): a bayesian Monte Carlo approach for COVID-19 spread in a limited data set context*. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.29.20081174v3>. Acesso em: 28/05/2020.

Detombe, D. J. Complex societal problems in operational research. *European Journal of Operational Research*, v. 140, n. 2, p. 232–240, 2002.

Estellita Lins, M. P. E. Avaliação Complexa Holográfica de Problemas Paradoxais in Estellita Lins, M. P. E. e Antoun Netto, S. O. (org.) *Estruturação de Problemas Sociais Complexos - Teoria da mente, mapas metacognitivos e modelos de apoio à decisão*. Editora Interciência. 2018.

Estellita Lins, M. P. E. e Antoun Netto, S. O. (org.) *Estruturação de Problemas Sociais Complexos - Teoria da mente, mapas metacognitivos e modelos de apoio à decisão*. Editora Interciência. 2018.

Ganem, F., Mendes, F. M., Oliveira, S. B., Porto, V. B. G., Araujo, W. N., Nakaya, H. I. et al. *The impact of early social distancing at COVID-19 outbreak in the largest metropolitan area of Brazil*. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.06.20055103v2>. Acesso em: 28/05/2020.

Gardner, H., Kornhaber, M. L. e Wake, W. K. *Inteligência: Múltiplas perspectivas*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

Gaythorpe, K., Imai, N., Cuomo-Dannenburg, G., Baguelin, M., Bhatia, S., Boonyasiri, A. et al. *Report 8: Symptom progression of COVID-19*. Imperial College London. 2020. <https://doi.org/10.25561/77344>.

Gharajedaghi, J. *Systems Thinking – Managing chaos and complexity*. 3<sup>a</sup> ed. Massachusetts: Elsevier, 2011.

Governo do Estado de São Paulo. *Coletiva de imprensa: Anúncio da atualização das fases do plano SP em 10/07/2020*. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kI3vMPZTwrq>. Acesso em: 10/07/2020.

Grasselli, G., Zangrillo, A., Zanella, A., Antonelli, M., Cabrini, L., Castelli, A. et al. Baseline characteristics and outcomes of 1591 patients infected with SARS-CoV-2 admitted to ICUs of the Lombardy Region, Italy. *JAMA*, v. 323, n. 16, p. 1574–1581, 2020.

Grifoni, A., Weiskopf, D., Ramirez, S. I., Mateus, J., Dan, J. M., Moderbacher, C. R. et al. Targets of T Cell responses to SARS-CoV-2 coronavirus in humans with COVID-19 disease and unexposed individuals. *Cell*, v. 181, n. 7, p. 1489–1501. 2020.

Hallal, P. C., Hartwig, F. P., Horta, B. L., Victora, G. D., Silveira, M. F., Struchiner, C. J. et al. *Remarkable variability in SARS-CoV-2 antibodies across Brazilian regions: nationwide serological household survey in 27 states*. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.05.30.20117531v1>. Acesso em: 16/04/2020.

Holmdahl, I. e Buckee, C. Wrong but useful — what covid-19 epidemiologic models can and cannot tell us. *New England Journal of Medicine*, v. 383, n. 4, p. 303–305, 2020.

Leiras, A., de Brito Jr I., Peres, E. Q., Bertazzo, T. R. e Yoshizaki, H. T. Y. Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, v. 4, n. 1, p. 95–130, 2014.

Lobo, M. S. C. e Lins, M. P. E. Epistemic dialog between health services and operations research. *Pesquisa Operacional (Impresso)*, v. 30, n. 2, p. 371–386, 2010.

Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, Vol. 115, No. 772, pp. 700-721 The Royal Society Stable. 1927. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/94815>. Acesso em 21/03/2021.

Mellan, T. A., Hoeltgebaum, H. H., Mishra, S., Whittaker, C., Schnekenberg, R. P., Gandy, A. et al. *Report 21: Estimating COVID-19 cases and reproduction number in Brazil*. Imperial College London. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.25561/78872>. Acesso em: 04/06/2020.

Metcalf, C. J. E., Morris, D. H. e Park, S. W. Mathematical models to guide pandemic response. *Science*, v. 369, n. 6502, p. 368–369, 2020.

Mingers, J. *Realising Systems Thinking: knowledge and action in management science*. Nova Iorque: Springer, 2006.

OMS - Organização Mundial da Saúde. *Q&A on Coronaviruses (COVID-19)*. 2020a. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-coronaviruses>. Acesso em: 04/06/2020.

OMS - Organização Mundial da Saúde. *Q&A: Climate Change and COVID-19*. 2020b. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-on-climate-change-and-covid-19>. Acesso em: 04/06/2020.

Pedraza-Martinez, A. J. e Van Wassenhove, L. N. Empirically grounded research in humanitarian operations management: The way forward. *Journal of Operations Management*, v. 45, n. 3, p. 1–10, 2016.

Portal da Transparência do Registro Civil. *Especial COVID-19. Painel registral. Causas respiratórias*. 2020. Disponível em: <https://transparencia.registrocivil.org.br/especial-covid>. Acesso em: 14/07/2020.

Prado, M., Bastos, L., Batista, A., Antunes, B., Baião, F., Maçaira, P. et al. *Análise de subnotificação do número de casos confirmados da COVID-19 no Brasil*. NOIS PUC-Rio. Nota Técnica 7. 2020. Disponível em: <https://sites.google.com/prod/view/nois-pucRio/publica%C3%A7%C3%B5es?authuser=0#h.au6kdllkrdotc>. Acesso em: 29/05/2020.

Riley, S., Ainslie, K. E. C., Eales, O., Walters, C. E., Wang, H., Atchison, C. et al. *Resurgence of SARS-CoV-2 in England: detection by community antigen surveillance*. Imperial College pre-print report. 2020. Disponível em: <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/institute->

of-global-health-innovation/public/Resurgence-of-SARS-CoV-2-in-England--detection-by-community-antigen-surveillance.pdf. Acesso em: 25/09/2020.

Rocha Filho, T. M., Santos, F. S. G., Gomes, V. B., Rocha, T. A. H., Croda, J. H. R., Ramalho, W. M. et al. *Expected impact of COVID-19 outbreak in a major metropolitan area in Brazil*. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.14.20035873v1>. Acesso em: 28/05/2020.

Rosenhead, J. e Mingers, J. (eds.) *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict*. Nova Iorque: John Wiley & Sons. 2001.

Silva, T. C., Anghinoni, L. e Zhao, L. *Quantitative analysis of the effectiveness of public health measures on COVID-19 transmission*. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.05.15.20102988v1>. Acesso em: 09/07/2020.

Verity, R., Okell, L. C., Dorigatti, I., Winskill, P., Whittaker, C., Imai, N. et al. *Estimates of the severity of COVID-19 disease*. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.09.20033357v1.article-info>. Acesso em: 22/04/2020.

Yoon, S.-J., Kim, Y.-E. e Kim, E.-J. Why they are different: based on the burden of disease research of WHO and institute for health metrics and evaluation. *BioMed Research International*, v. 2018, ID 7236194, 2018.