

Respostas à pandemia em comunidades vulneráveis: uma abordagem de simulação

Vinícius Picanço Rodrigues ¹

Igor Czermainski de Oliveira ²

Gisele de Lorena Diniz Chaves ³

Ellen Larissa de Carvalho Aquino ⁴

Cláudia Viviane Viegas ⁵

¹ Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo / SP – Brasil

² Universidade de Bergen / Faculdade de Ciências Sociais, Bergen – Noruega

³ Universidade Federal do Espírito Santo / Departamento de Engenharia e Tecnologia, Vitória / ES – Brasil

⁴ Universidade Federal de São Carlos / Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, São Carlos / SP – Brasil

⁵ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis / SC – Brasil

Populações vivendo em favelas no Brasil enfrentam ainda mais vulnerabilidade com o advento da COVID-19, já que para elas o isolamento social é uma tarefa difícil. Além disso, esses locais carecem de saneamento e condições de higiene, que são requisitos importantes para controlar a pandemia. Este artigo propõe o uso de Dinâmica de Sistemas para apoiar decisões de políticas públicas relativas a medidas para aliviar os efeitos negativos da disseminação do vírus baseado em medidas definidas a partir do trabalho do movimento social “Favelas Contra o Corona”. O modelo proposto avalia a efetividade de estratégias e conjuntos de políticas que envolvem: transferência temporária da população da favela, suprimento de produtos de higiene, estruturas emergenciais de saneamento e expansão de Unidades de Terapia Intensiva. Os resultados apresentam o impacto de cada uma das estratégias. Entretanto, somente a combinação adequada de medida traz resultados significativos sobre o número de mortes evitadas e à disponibilidade de leitos de Unidades de Terapia Intensiva para a população.

Palavras-chave: COVID-19; dinâmica de sistemas; favela; política pública; saneamento; saúde.

Respuestas a la pandemia en comunidades vulnerables: un abordaje de simulación

Las poblaciones que viven en favelas en Brasil enfrentan aún más vulnerabilidades con el surgimiento de la pandemia de COVID-19, ya que para ellos el aislamiento social es una tarea difícil. Además, carecen de condiciones adecuadas de saneamiento e higiene, que son requisitos importantes para controlar la pandemia. Este estudio propone el uso de la dinámica de sistemas para apoyar las decisiones de políticas públicas relacionadas con las medidas para mitigar los efectos negativos de la propagación del virus basado en medidas obtenidas del trabajo del movimiento social “Favelas Contra o Corona”. El modelo propuesto evalúa la efectividad de estrategias y conjuntos de políticas que incluyen: transferencia temporal de la población de favelas, suministro de productos de higiene, estructuras de saneamiento de emergencia y expansión de las unidades de cuidados intensivos. Se concluye que solamente mediante la combinación adecuada de medidas se lograrán resultados significativos en el número de muertes evitadas y la disponibilidad de camas en las unidades de cuidados intensivos para la población.

Palabras clave: COVID-19; dinámica de sistemas; favela; política pública; saneamiento; salud.

Pandemic responses in vulnerable communities: a simulation-oriented approach

Populations living in favelas are facing even more vulnerabilities with the sudden escalation of the COVID-19 pandemic, as social distancing is challenging in such settings. Furthermore, these populations typically lack proper sanitation and hygiene conditions, which are requirements to adequately control the outbreak. This paper proposes the use of System Dynamics modeling to support the public policy-making process in order to avert negative effects of the pandemic in the Brazilian favelas based on measures elicited from the social movement named “Favelas Contra o Corona.” The simulation model assessed the effectiveness of strategies and policy bundles encompassing temporary transfer of the favela population, supply of hygiene products, emergency sanitation structures, and expansion of Intensive Care Units. Results indicate that a suitable combination of strategies can bring significant effects to the number of avoidable deaths and the availability of Intensive Care Units for the population.

Keywords: COVID-19; system dynamics; slum; public policy; sanitation; health.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-761220200250>

Artigo recebido em 29 abr. 2020 e aceito em 23 jun. 2020.

[Versão Traduzida]

ISSN: 1982-3134



1. INTRODUÇÃO

Ao longo do último século, os surtos de doenças vêm mudando as políticas utilizadas pelas sociedades para responder a crises humanitárias e de saúde (Biggerstaff, Cauchemez, Reed, Gambhir, & Finelli, 2014). Em especial, a recente pandemia de COVID-19 representa um desafio para os governos e a sociedade civil no que diz respeito à agilidade e flexibilidade para responder à rápida disseminação do vírus. A consequente crise socioeconômica e de saúde resultou na infecção de milhões de pessoas e já causou a morte de centenas de milhares em todo o mundo, conforme dados oficiais da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2020). Em termos econômicos, espera-se que a pandemia custe ao mundo cerca de US\$ 3 trilhões (Orlik, Rush, Cousin, & Hong, 2020).

O distanciamento físico e as boas práticas de higiene diminuem a probabilidade de infecção de maneira substancial. No entanto, esses recursos básicos não estão igualmente disponíveis para comunidades com condições de vida e trabalho desfavoráveis (Khalidi, 2020). As favelas e outros aglomerados de baixa renda costumam ter domicílios superlotados, sem saneamento, água e infraestrutura habitacional adequados (Perosa, Leite, Fonseca, & Lebraron, 2016). Essas condições aumentam seriamente o risco de as pessoas contraírem e espalharem doenças infecciosas em grandes áreas (Unger & Riley, 2007), o que as caracteriza como comunidades com alta *vulnerabilidade social* (Ito & Pongeluppe, 2020).

Os domicílios superlotados no Brasil, definidos como os casos em que um domicílio apresenta mais de três moradores por dormitório, atingiram o pico em 2018, com 5,6% da população em geral vivendo nessas condições. Considerando somente a população que vive diariamente com menos de US\$ 5,50 *per capita* por domicílio (paridade do poder de compra), a parcela aumenta para 14,5% vivendo em domicílios superlotados em todo o país (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2019).

Devido à alta complexidade imposta pela combinação de condições de pobreza, desigualdade e superlotação, entender o efeito potencial das políticas públicas para implementá-las de maneira efetiva nas favelas brasileiras torna-se um desafio intimidador (Alirol, Getaz, Stoll, Chappuis, & Loutan, 2011; Weiss & McMichael, 2004). Esta pesquisa busca responder o seguinte: *como os formuladores de políticas públicas podem analisar de maneira rápida e efetiva os potenciais efeitos das medidas de contenção diante da pandemia de COVID-19 nas favelas brasileiras?*

Nesse contexto, este artigo *tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma abordagem de simulação - baseada na Dinâmica de Sistemas (DS) - para analisar os potenciais efeitos de políticas projetadas para aliviar as consequências da pandemia nas comunidades que vivem nas favelas brasileiras*. Dados das favelas do Rio de Janeiro demonstraram a aplicabilidade do modelo com base nas medidas propostas pelo movimento social “Favelas Contra o Corona” em março de 2020. Os resultados mostram que somente uma combinação equilibrada de diferentes medidas direcionadas às comunidades vulneráveis pode evitar mortes e limitar a superutilização do sistema de saúde. O estudo também demonstra que a simulação permite que os formuladores de políticas públicas criem cenários de maneira segura e custo-efetiva em um contexto de emergência, sem desperdiçar recursos públicos ou arriscar vidas.

2. ABORDAGEM DE PESQUISA

A DS é uma abordagem com tradição estabelecida em termos de aplicabilidade a problemas de políticas públicas (Forrester, 2007; Ghaffarzadegan, Lyneis, & Richardson, 2010; Lane, 2016). A DS é empregada principalmente quando há razões para se acreditar que os sistemas criados para resolver problemas (por exemplo, o sistema de saúde em cada local) estão contribuindo para gerar esses problemas, um ponto

de vista conhecido como “abordagem endógena”. A abordagem de DS abrange métodos de simulação e modelagem computacional voltados para projetar e analisar políticas em sistemas altamente complexos e dinâmicos, ou seja, sistemas não lineares que exibem altos níveis de interconectividade, realimentação de informações e atrasos ao longo do tempo (Sterman, 2000). Além disso, o espaço de pensamento sistêmico - no qual a DS está contida - é uma ferramenta abrangente para criar discursos críticos na esfera pública, promovendo práticas reflexivas e emancipatórias (Ulrich, 2003). Empregamos essa abordagem no contexto de processos políticos politizados e urgentes no início da pandemia de COVID-19. Sob extrema pressão, os governos e as organizações da sociedade civil carecem de ferramentas adequadas para lidar com os aspectos dinâmicos da tomada de decisões urgentes que afetam milhões de vidas. Os modelos contribuem de maneira crucial nesse contexto, pois se tornam ferramentas de racionalização em meio à guerra de políticas e informações (King & Kraemer, 1993).

Seguimos o processo padrão de modelagem de DS prescrito por Sterman (2000), que abrange cinco etapas: (1) *articulação do problema*, com seleção de temas, listagem das variáveis principais e definição dinâmica do problema; (2) *formulação da hipótese dinâmica* ou mapeamento da estrutura das variáveis; (3) *formulação do modelo de simulação*, que é a especificação computacional do modelo, bem como a estimativa de parâmetros e comportamentos; (4) *testes*, incluindo análise de sensibilidade; e (5) *projeto e avaliação de políticas*, com base em especificação de cenários, desenvolvimento de estratégias e ênfase nas principais interações entre políticas. A Figura 1 resume a instanciação de cada etapa mencionada.

Nossa abordagem foi concebida como uma iniciativa orgânica orientada para o desenvolvimento de projetos, composta por 19 voluntários (pesquisadores e consultores de diferentes áreas), com o objetivo claro de contribuir para o processo de formulação de políticas públicas a fim de enfrentar o desafio vivido pela população das favelas durante a pandemia. Formou-se uma equipe principal de seis pessoas, e qualquer voluntário, independentemente da formação, podia participar do projeto. Os arquivos e as tarefas em andamento (incluindo *links* para os modelos) estavam disponíveis em um documento de acesso público para facilitar a participação. Durante o período de trabalho de 1 mês, iniciado em 21 de março de 2020, todos os arquivos foram armazenados *on-line* e compartilhados em tempo real. Essa abordagem está mais próxima dos projetos de modelagem de código aberto, sendo distinta do estilo usual de gerenciamento de projetos.

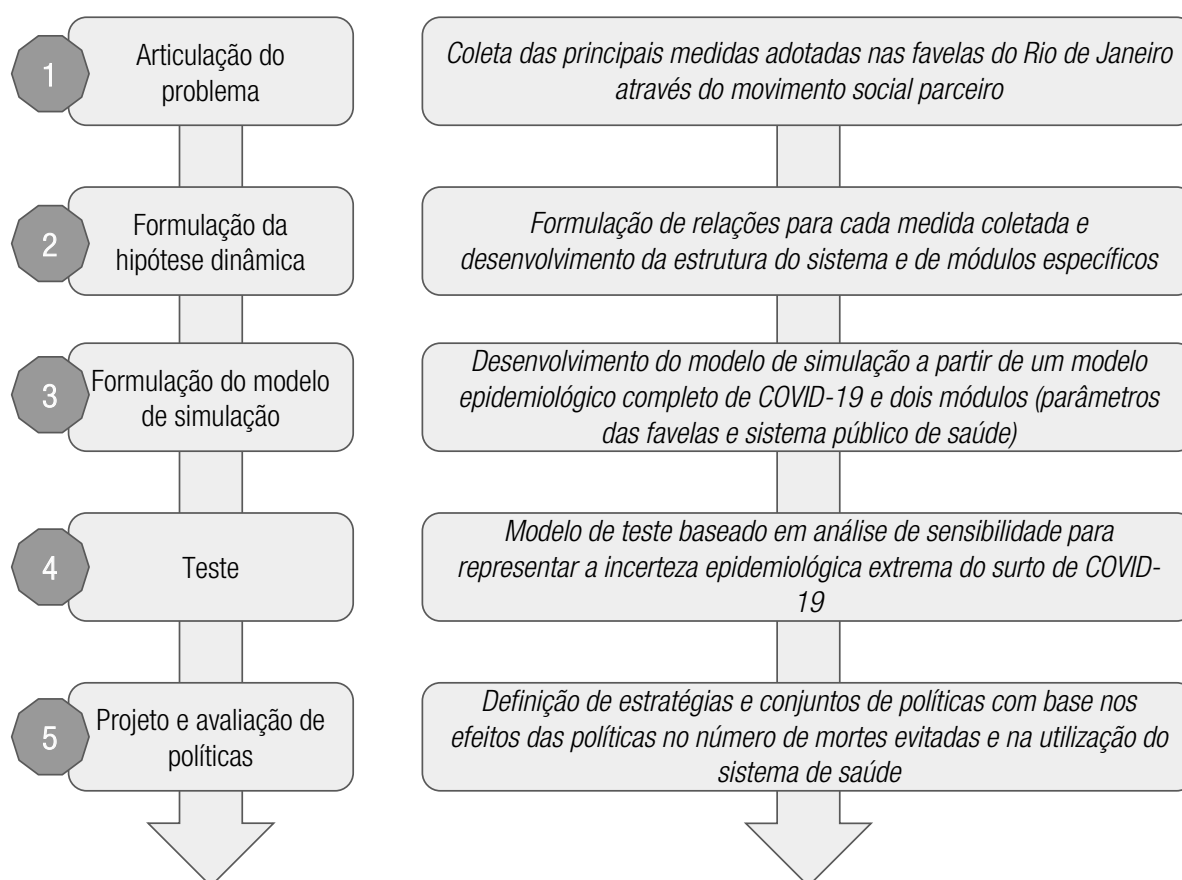
Identificamos e coletamos as propostas de medidas diretamente de líderes comunitários das favelas do Rio de Janeiro que fazem parte de um movimento social denominado “Favelas Contra o Corona”. O movimento visa informar adequadamente os moradores das favelas sobre as medidas mais eficazes para se proteger contra o vírus, além de abordar o surgimento de notícias falsas e os duros aspectos socioeconômicos do surto em áreas pobres.

Coletamos sete medidas através de comunicação *on-line* com os líderes do movimento social para serem testadas como políticas em nosso modelo de DS: 1) transferência temporária de moradores das favelas para instalações públicas (por exemplo, escolas públicas, prédios desocupados etc.); 2) transferência temporária de moradores das favelas para quartos de hotel (com base em outros projetos sociais em andamento que visam a utilização da capacidade disponível dos hotéis); 3) subsídios para produtos de higiene; 4) renda básica destinada a produtos de higiene; 5) estabelecimento de estruturas emergenciais de saneamento; 6) expansão das Unidades de Terapia Intensiva (UTI); e 7) uso de máscaras faciais pela população em geral. Uma medida adicional (rotas de ambulância nas favelas) foi coletada, mas depois descartada, pois o simulador não demonstrou eficácia no combate ao surto.

O modelo de simulação foi construído com base em um modelo epidemiológico completo de COVID-19, com dois módulos abrangendo variáveis do contexto específico das favelas e o sistema

de saúde local. Quando o modelo de simulação foi finalizado, uma interface *front-end* foi criada em um site independente, no qual as pessoas podiam utilizar o simulador (Recuperado de <http://www.favelascontracorona.com.br>). Isso foi obtido através de uma integração HTML5 habilitada pela plataforma Isee Exchange (Isee Systems, 2020). Para facilitar o entendimento do modelo pelo público, o site foi orientado para a comunicação dos conjuntos de políticas recomendados conforme os resultados das simulações.

FIGURA 1 ESQUEMA DE INSTANCIÇÃO DA ABORDAGEM DE PESQUISA



Fonte: Adaptado de Sterman (2000).

3. MODELO DE SIMULAÇÃO

3.1 Fontes de dados e hipótese dinâmica

O modelo de DS foi construído a partir do modelo epidemiológico de COVID-19 desenvolvido pela Isee Systems (2020). Trata-se de um modelo epidemiológico clássico do tipo SIR (suscetível-infectado-recuperado) ajustado ao surto de COVID-19, considerando as fases assintomáticas da doença. A Isee Systems tem uma longa tradição de disponibilizar modelos genéricos de DS para

adaptação e aperfeiçoamento pela comunidade de modeladores. Dois módulos foram adicionados ao modelo básico de DS: 1) parâmetros contextuais típicos das áreas urbanas brasileiras com favelas; e 2) capacidade do sistema público de saúde em relação a número de leitos, UTIs e ventiladores. Presumiu-se que a fração de pacientes que necessitam de UTI e ventilador fosse de 0,1 e 0,05, respectivamente. Presumiu-se também que a demanda de UTIs e ventiladores por outras doenças permanecesse estável em 0,9 e 0,5 da capacidade total, respectivamente, com base em uma generalização feita por Jucá (2020).

O número de UTIs por estado foi fornecido pelo Conselho Federal de Medicina (CFM) (2018). Dados sobre número de ventiladores por estado foram obtidos através do Ministério da Saúde (2020). A fração da população que vive nas favelas por estado foi extraída do Data Favela (2020). As características das favelas em termos de saneamento, densidade e moradores por domicílio foram obtidas com base em Pasternak & D'Ottaviano (2016).

3.2 Desenvolvimento do modelo de simulação

Inicialmente, calibramos o modelo da Isee Systems (2020) para uma população total de 17 milhões (população aproximada do estado do Rio de Janeiro) e, em seguida, adicionamos regras simples para conectá-lo à realidade local das favelas e da capacidade do sistema de saúde. Também estendemos o tempo de execução do modelo de um ano para dois anos para conferir efeitos a longo prazo.

Uma das regras simples que adotamos para conectar o modelo epidemiológico ao contexto das favelas foi considerar um efeito duplo da densidade na infecção: tanto a densidade populacional como um todo quanto os moradores por domicílio deveriam ter um impacto no número de contatos por dia. Além disso, adotamos acesso ao esgoto como substituto para higiene, o que afeta a frequência de contatos de risco para a população das favelas. Também presumimos que a ausência de UTI ou ventilador, em caso de necessidade, dobra a taxa de mortalidade para quem necessita deles.

Os cenários epidemiológicos observados em março de 2020 foram inspirados em Fiddaman (2020), que destacou que, naquela época, havia uma confusão na interpretação dos números básicos de reprodução de diferentes modelos. Modelos com R_0 (número básico de reprodução) presumivelmente menor, como o de Ferguson et al. (2020), sugeriam uma maior taxa de crescimento durante a fase de crescimento da epidemia. Isso pode ser explicado pela generalização excessiva no cálculo dos números de reprodução, ignorando as fases muito distintas das epidemias.

Devido às observações de Fiddaman e ao fato de que nosso objetivo não era prever a epidemia, decidimos presumir uma enorme incerteza epidemiológica no modelo através de dois cenários extremos (extremamente otimista e extremamente pessimista). Assim, o impacto de diferentes estratégias no sistema de saúde poderia ser verificado a partir de diferentes possibilidades epidemiológicas. Conforme mostrado na **Tabela 1**, a eficácia da quarentena foi considerada um dos parâmetros de incerteza. Essa escolha metodológica foi feita porque o isolamento social já era um tópico fortemente politizado quando o projeto foi iniciado, sujeito a várias manobras na guerra de informação promovida por autoridades eleitas e outros atores. Não esperávamos influenciar a eficácia de tais medidas e decidimos, então, tratá-las como contextuais juntamente com outras variáveis nos cenários epidemiológicos, em vez de testá-las como políticas.

TABELA 1 PARÂMETROS ADOTADOS NOS DOIS CENÁRIOS

Variável	Cenário otimista	Cenário pessimista
Dias contagioso, mas assintomático	4	5,4
Distribuição da gravidade dos casos	20% assintomáticos 35% leves 40% moderados 5% graves	10% assintomáticos 30% leves 40% moderados 20% graves
Dias sintomático e contagioso (depende da distribuição dos níveis de gravidade acima)	0,64x o original da Isee Systems (2020)	1,5x o original da Isee Systems (2020)
Parâmetro de infectividade	0,32	0,48
Taxa basal de contato por dia	0,8	1,18
Contatos com indivíduos em risco (pessoas/dia)	0,95 * taxa de contatos * fração de suscetíveis	taxa de contatos * fração de suscetíveis
Eficácia da quarentena	0,6	0,1

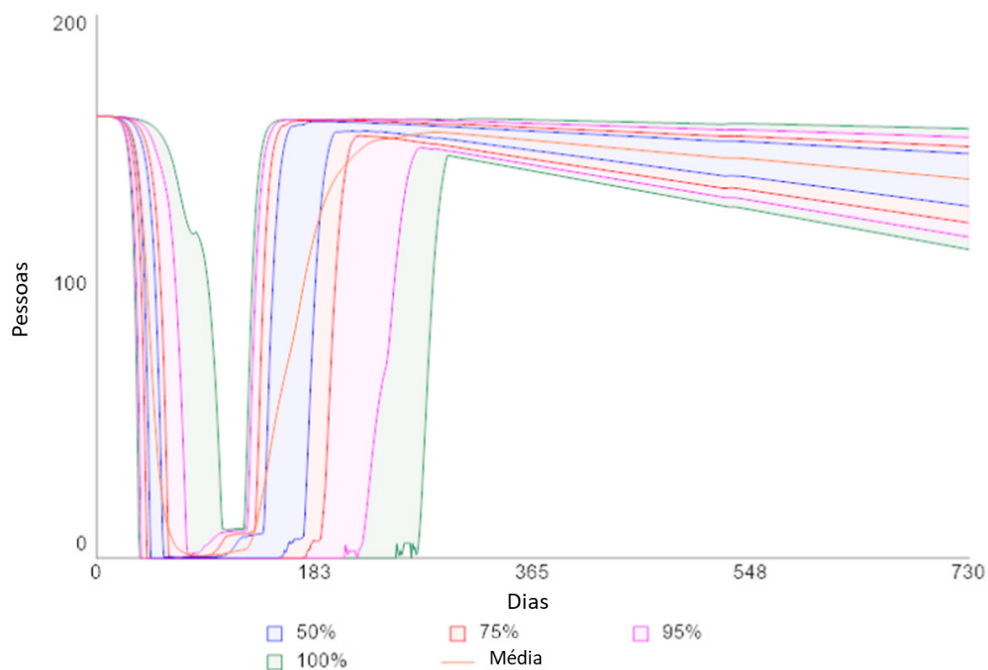
Fonte: Dados da pesquisa.

3.3 Teste e calibração

O teste do modelo foi conduzido conforme sugerido por Barlas (1996). Como parte dos procedimentos de teste, a análise de sensibilidade (200 execuções, Hipercubo Latino) com base nos parâmetros de Fiddaman (2020) refletiu o grau de incerteza epidemiológica do momento em que o modelo foi criado. Na **Figura 2**, observamos que o número de mortes pode variar entre 115.000 e 587.000 pessoas no estado do Rio de Janeiro, com uma média de 349.000, dada uma distribuição uniforme para todas as faixas de incerteza de cada variável incerta no modelo. A média está dentro de um amplo intervalo de confiança de 50%, revelando um alto potencial para a manifestação de valores extremos devido aos parâmetros de incerteza tratados nos dois cenários.

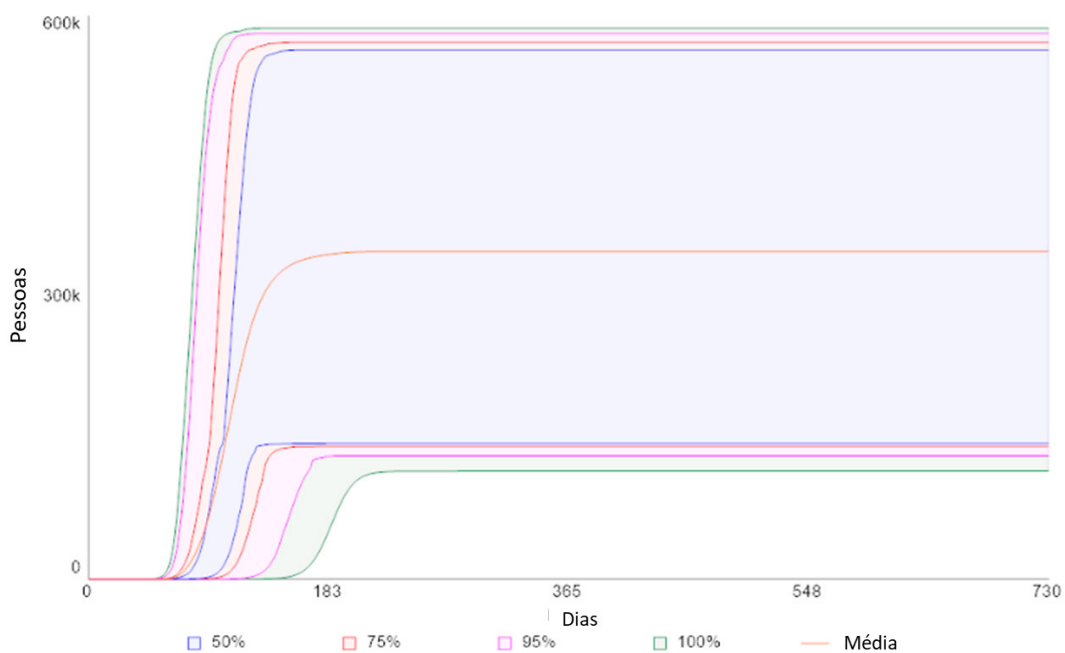
Apesar da considerável variação nos parâmetros da epidemia em si, a curva de disponibilidade de UTIs mostrada na **Figura 3** permanece em forma de U, o que significa que, independentemente da força e da velocidade da epidemia, haveria um momento em que a disponibilidade de UTIs no estado chegaria a zero se nenhuma medida fosse tomada. No entanto, o número de dias com nenhuma UTI disponível pode variar entre 34 e 95, com uma média de 53, dadas as distribuições uniformes dentro dos limites de incerteza analisados.

FIGURA 2 INTERVALOS DE CONFIANÇA PARA “NÚMERO CUMULATIVO DE MORTES” (ESTADO DO RJ, SIMULAÇÃO)



Fonte: Dados da pesquisa.

FIGURA 3 INTERVALOS DE CONFIANÇA PARA “LEITOS DE UTI DISPONÍVEIS”, MENSURADOS EM NÚMERO DE PESSOAS (ESTADO DO RJ, SIMULAÇÃO)



Fonte: Dados da pesquisa.

3.4 Projeto e avaliação de políticas: estratégias e conjuntos de políticas

As políticas sugeridas pelo movimento social parceiro foram inicialmente testadas no modelo de maneira independente para verificar cada impacto isolado. A partir dos resultados desses testes preliminares, eliminamos uma proposta de política que não se sustentava no modelo (rotas de ambulâncias nas favelas). Como todas as demais políticas geraram os efeitos desejados no modelo, passamos, então, a agrupá-las e a analisar os efeitos de cinco estratégias compostas por diferentes conjuntos de políticas, conforme descrito na **Tabela 2**.

TABELA 2 PARÂMETROS TESTADOS PARA AS CINCO ESTRATÉGIAS

Estratégia	Transferência temporária da população das favelas	Suprimento de produtos de higiene	Estruturas emergenciais de saneamento	Expansão das UTIs
A	50% da população das favelas	50% da população das favelas	44% (todas as favelas sem saneamento)	20 UTIs/dia desde o início da epidemia
B	15%	50%	44%	35 UTIs/dia
C	35%	50%	30%	7 UTIs/dia
D	5%	20%	10%	8 UTIs/dia
E	zero	25%	zero	21 UTIs/dia

Fonte: Dados da pesquisa.

A intenção inicial era mostrar a possibilidade de salvar 15.000 vidas no cenário otimista com a estratégia A, 10.000 vidas com as estratégias B ou C, ou 5.000 vidas com as estratégias D ou E. Uma análise mais detalhada do modelo na **Tabela 3** mostra alguns dos desfechos de cada estratégia.

TABELA 3 DESFECHOS SIMULADOS PARA AS CINCO ESTRATÉGIAS (OTIMISTA;PESSIMISTA)

Estratégia	Vidas salvas	Dias sem UTIs disponíveis	Máx. de pessoas na espera por UTIs
A	15400;2180	0;34	0;75400
B	10200;1510	43;31	379;75900
C	9800;1350	65;37	106;75900
D	3440;421	60;36	1560;76500
E	4480;588	48;33	2090;76500

Fonte: Dados da pesquisa.

Um resultado do modelo que pode ser considerado fora do esperado é o maior número de dias sem UTIs no cenário otimista na combinação das estratégias B, C, D e E. Isso é explicado pelo fato de o cenário otimista ser menos abrupto e, portanto, mais distribuído ao longo do tempo. O número máximo de pessoas na espera por UTIs é sempre muito menor nesse cenário epidemiológico. Posteriormente, adicionamos o uso de máscaras como uma possível medida, conforme sugerido por Leung et al. (2020). Se Leung et al. (2020) estiverem corretos, essa medida poderia ter um efeito importante em todos os cenários.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi apresentar a articulação e o desenvolvimento de uma abordagem de DS para projetar conjuntos de políticas e analisar seus potenciais efeitos no alívio das consequências da pandemia de COVID-19 em comunidades extremamente vulneráveis que vivem nas favelas brasileiras. No atual debate da pandemia de COVID-19, uma infinidade de ferramentas capazes de moldar narrativas através de diversos recursos (por exemplo, pela combinação de análise de mídias sociais, psicométrica e marketing digital direcionado) estão em jogo na esfera pública.

No caso do Brasil, o uso generalizado dessas ferramentas pelo governo dificulta a inserção de uma narrativa baseada em fatos e dirigida por modelos no debate público sobre as possíveis estratégias para combater as consequências negativas extremas em termos socioeconômicos e de saúde resultantes da pandemia. Este artigo relata uma iniciativa para informar os tomadores de decisão a respeito de questões críticas de interesse público por meio de modelos de simulação, conforme sugerido por King & Kraemer (1993) e amplamente discutido e implementado por Ghaffarzadegan et al. (2010) e Lane (2016). Versões mais recentes do modelo, disponíveis *on-line*, podem ser parametrizadas pelo usuário com os dados de contextos locais (cidade ou região).

Do ponto de vista do impacto de políticas, um dos principais conhecimentos gerados pelo modelo é que somente através da combinação de políticas são atingidos efeitos significativos no número de mortes evitadas e na utilização do sistema de saúde. Com relação ao combate à pandemia de COVID-19 em comunidades vulneráveis, não existe um “método infalível”.

Além disso, do ponto de vista metodológico, a abordagem e os resultados podem sustentar um uso mais amplo de ferramentas de modelagem e simulação para formular e analisar políticas públicas e para se comunicar com as principais partes interessadas. O uso da simulação permite que os tomadores de decisão criem cenários hipotéticos de maneira custo-efetiva e segura, sem desperdiçar recursos públicos ou arriscar a vida das pessoas em contextos desafiadores. Isso é particularmente importante quando os formuladores de políticas públicas não contam com referenciais ou políticas comprovadas, exigindo, assim, colaboração intensiva e plural dentro da burocracia pública (Ito & Pongeluppe, 2020).

Apesar das contribuições apresentadas, a pesquisa também tem limitações. Primeiro, o modelo epidemiológico da Isee Systems (2020) foi usado como base para o desenvolvimento do modelo específico para favelas. Segundo, a gama completa de potenciais estratégias de teste para modelos de DS não foi aplicada. Terceiro, o modelo é restrito aos níveis de agregação dos dados demográficos atualmente disponíveis. Essas limitações serão abordadas por pesquisas futuras destinadas a: (i) testar diferentes modelos epidemiológicos básicos para verificar a robustez; (ii) executar sistematicamente outras estratégias de teste para modelos de DS (ou seja, testes de condições extremas, avaliação de estruturas, anomalia de comportamento etc.); e (iii) investigar de maneira mais aprofundada

a desagregação de dados para assimilar comportamentos de microáreas ou favelas específicas. Na época da revisão deste artigo, o número de mortes no Rio de Janeiro ainda estava dentro da faixa de incerteza da Figura 2, mas somente daqui cerca de dois anos saberemos se o modelo epidemiológico era adequado para testar as políticas. Também será possível avaliar o realismo dos principais aspectos das nossas adições ao modelo, como os tamanhos das filas de espera na Tabela 3.

REFERÊNCIAS

- Alirol, E., Getaz, L., Stoll, B., Chappuis, F., & Loutan, L. (2011). Urbanisation and infectious diseases in a globalised world. *The Lancet Infectious Diseases*, 11(2), 131-141. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(10\)70223-1](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(10)70223-1)
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 12(3), 183-210. Recuperado de [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199623\)12:3%3C183::AID-SDR103%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3%3C183::AID-SDR103%3E3.0.CO;2-4)
- Biggerstaff, M., Cauchemez, S., Reed, C., Gambhir, M., & Finelli, L. (2014). Estimates of the reproduction number for seasonal, pandemic, and zoonotic influenza: a systematic review of the literature. *BMC Infectious Diseases*, 14(1), 480. Recuperado de <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-480>
- Conselho Federal de Medicina. (2018). *Medicina Intensiva no Brasil*. Recuperado de <http://portal.cfm.org.br/images/PDF/leitostestados2018.pdf>
- Data Favela. (2020, março). *Coronavírus nas favelas*. Recuperado de https://drive.google.com/open?id=1TqxxZk6a5SGObYl9C_VvK_qjatWgMVQa
- Ferguson, N., Laydon, D., Nedjati Gilani, G., Imai, N., Ainslie, K., Baguelin, M. ... Dighe, A. (2020). *Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID19 mortality and healthcare demand*. London, UK: Imperial College London. Recuperado de <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/sph/ide/gida-fellowships/Imperial-College-COVID19-NPI-modelling-16-03-2020.pdf>
- Fiddaman, T. (2020). *Steady State Growth in SIR & SEIR Models*. Recuperado de <https://metasd.com/2020/03/steady-state-growth-sir-seir-models/>
- Forrester, J. W. (2007). System dynamics — the next fifty years. *System Dynamics Review*, 23(2-3) 359-370. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/sdr.381>
- Ghaffarzadegan, N., Lyneis, J., & Richardson, G. P. (2010). How small system dynamics models can help the public policy process. *System Dynamics Review*, 27(1), 22-44. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/sdr.442>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). *Síntese de Indicadores Sociais: Uma análise das condições de vida da população brasileira* 2019. (Estudos e Pesquisas, 53). Rio de Janeiro, RJ. Recuperado de <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101678>
- Isee Systems. (2020). *COVID-19*. Recuperado de <https://exchange.iseesystems.com/models/player/isee/covid-19-model>
- Ito, N. C., & Pongeluppe, L. S. (2020). The COVID-19 outbreak and the municipal administration responses: resource munificence, social vulnerability, and the effectiveness of public actions. *Revista de Administracao Publica, Early View*.
- Jucá, B. (2020, 16 de março). Crise do coronavírus põe à prova gargalo de UTIs no SUS. *El País*. Recuperado de <https://brasil.elpais.com/brasil/2020-03-17/crise-do-coronavirus-poe-a-prova-gargalo-de-utis-no-sus.html>
- Khalidi, J. R. (2020, 30 de março). *Inequality Affects the Covid-19 Pandemic*. (KR News, 22/20). Kuala Lumpur, Malaysia. Khazanah Research Institute. Recuperado de http://www.krinstitute.org/assets/contentMS/img/template/editor/20200330_Articles_Covid_Inequality_v9.pdf
- King, J. L., & Kraemer, K. L. (1993). *Models, facts, and the policy process: the political ecology of estimated truth*. (Working Paper #URB-006). Oakland, CA: University of California. Recuperado de <https://escholarship.org/uc/item/1c31s58g>
- Lane, D. C. (2016). “Till the Muddle in my Mind Have Cleared Awa”: Can We Help Shape Policy Using Systems Modelling? *Systems Research: The Official Journal of the International Federation for Systems Research*, 33(5), 633-650. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1002/sres.2422>
- Leung, N. H., Chu, D. K., Shiu, E. Y., Chan, K. H., McDevitt, J. J., Hau, B. J. ... Seto, W. H. (2020). Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nature Medicine*, 26, 676-680. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0843-2>
- Ministério da Saúde. (2020). *Cadastro Nacional dos Estabelecimentos de Saúde do Brasil*. Recuperado de <http://cnes.datasus.gov.br>
- Orlik, T., Rush, J. Cousin, M., & Hong, J. (2020). *Coronavirus Could Cost the Global Economy \$2.7 Trillion*. Recuperado de <https://www.bloomberg.com/graphics/2020-coronavirus-pandemic-global-economic-risk/>
- Pasternak, S., & D’Ottaviano, C. (2016). Favelas no Brasil e em São Paulo: avanços nas análises a partir

da Leitura Territorial do Censo de 2010. *Cadernos Metrópole*, 18(35), 75-100. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2016-3504>

Perosa, G.S., Leite, C.K.S., da Fonseca, F.C.P., Lebraron, F. (2016). *Patologias sociais* na metrópole de São Paulo: análise socioespacial de indicadores nas subprefeituras. *Revista de Administração Pública*, 50(4), 635-657. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7612151585>

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. London, UK: McGraw-Hill.

Ulrich, W. (2003). Beyond methodology choice: critical systems thinking as critically systemic

discourse. *Journal of the Operational Research Society*, 54(4), 325-342. Recuperado de <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601518>

Unger, A., & Riley, L. W. (2007). Slum health: from understanding to action. *PLoS Medicine*, 4(10), 1561-1566. Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040295>

Weiss, R. A., & McMichael, A. J. (2004). Social and environmental risk factors in the emergence of infectious diseases. *Nature Medicine*, 10(S12), S70-S76. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/nm1150>

World Health Organization. (2020). *Dashboard of the Coronavirus disease (COVID-19) outbreak situation*. Recuperado de <https://covid19.who.int/>

Vinicius Picanço Rodrigues



<https://orcid.org/0000-0002-6647-9291>

Doutor em Engenharia Mecânica (Universidade Técnica da Dinamarca); Professor Assistente de Operações e Sustentabilidade do Insper. E-mail: vinicius.picanco@insper.edu.br

Igor Czermainski de Oliveira



<https://orcid.org/0000-0001-9492-1561>

Mestre em Dinâmica de Sistemas (Mestrado Europeu em Dinâmica de Sistemas).
E-mail: mrigoroliveira@gmail.com

Gisele de Lorena Diniz Chaves



<https://orcid.org/0000-0001-6359-9063>

Doutora em Engenharia Industrial (Universidade Federal de São Carlos); Professora Associada do Departamento de Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: gisele.chaves@ufes.br

Ellen Larissa de Carvalho Aquino



<https://orcid.org/0000-0002-9729-5970>

Mestra em Ciência, Tecnologia e Sociedade (Universidade Federal de São Carlos).
E-mail: ellen.lcaquino@gmail.com

Cláudia Viviane Viegas



<https://orcid.org/0000-0002-7602-9366>

Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento (Universidade Federal de Santa Catarina).
E-mail: cldviegas@gmail.com