

TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DE POLÍTICAS DE ENFRENTAMENTO À COVID-19

Lucas Pimenta de Souza

Grupo de Pesquisa em Ciência de Dados e Inteligência Computacional - {*cidic*}
lpds1@aluno.ifnmg.edu.br

Marcos Antônio Alves, Frederico Gadelha Guimarães

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil
Machine Intelligence and Data Science Lab - MINDS
marcosalves@ufmg.br, fredericoguimaraes@ufmg.br

Petrônio Cândido de Lima e Silva, Paulo Vitor do Carmo Batista

Grupo de Pesquisa em Ciência de Dados e Inteligência Computacional - {*cidic*}
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) - Campus Januária
Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Januária /MG
petronio.candido@ifnmg.edu.br, paulo.batista@ifnmg.edu.br

RESUMO

A pandemia do COVID-19 tem trazido inúmeros desafios à sociedade. Para auxiliar os gestores públicos, este trabalho objetivou a criação e ranqueamento de diferentes políticas de enfrentamento à pandemia, geradas por um modelo de simulação baseado em agentes. Utilizando o pacote “COVID-ABS”, diferentes cenários foram propostos variando o percentual de isolamento social de 0% (não fazer nada) a 100% (Lockdown). Posteriormente, o método multicritério TOPSIS foi utilizado para avaliar cada uma destas políticas, considerando critérios epidemiológicos (número de infectados, mortos e internações hospitalares) e econômicos (PIB pessoas e empresas). Os resultados indicam que as melhores alternativas são aquelas com altas taxas de isolamento, sendo 90% a primeira delas, seguida de Lockdown. Elas representam as preferências dos decisores entre minimizar a disseminação do coronavírus e suavizar as perdas econômicas. Este estudo serve para apoiar os decisores na implementação de políticas que auxiliem na mitigação da pandemia.

PALAVRAS CHAVE. COVID-19, TOPSIS, Métodos para Tomada de Decisão Multicritério.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has brought several challenges to society. To help public governments, this paper aimed to create and classify different policies to mitigate the pandemic, generated by an agent-based model. Using the “COVID-ABS” package, different scenarios were proposed, varying the percentage of social isolation from 0% (doing nothing) to 100% (Lockdown). Then, the multicriteria TOPSIS method was used to evaluate each one of these policies, considering epidemiological criteria (number of infected, dead and hospital admissions) and economic criteria (GDP for people and companies). The results indicate that the best alternatives are those with high isolation rates, with 90% being the best one, followed by Lockdown. They represent the decision makers preferences between minimizing the spread of the coronavirus and decreasing economic losses. This study may support governments in implementing policies that help in mitigating the pandemic.

KEYWORDS. COVID-19. TOPSIS. Multicriteria decision making.

1. Introdução

O surto da doença causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV2) foi identificado em Wuhan, na China, em dezembro de 2019 [Huang et al., 2020]. O aumento incontrolável na transmissão da Covid-19, nome dado à doença causada pelo SARS-CoV2, e sua disseminação global colocaram a Organização Mundial da Saúde (OMS) no mais alto nível de alerta. Em 30 de janeiro de 2020 a OMS declarou o surto da doença e, pouco tempo depois, em 11 de março, já estava declarada como pandemia. No Brasil, o primeiro caso confirmado aconteceu em 25 de fevereiro, quando um homem de São Paulo testou positivo para o vírus. Desde então, o país vem sendo severamente afetado. Dada a falta de implementação de políticas de isolamento sérias e monitoramento por parte do governo, em 29 de junho de 2020, o país alcançou a marca superior a 1.370.000 casos confirmados e 58.300 mortes.

No campo da Inteligência Artificial (IA), a comunidade científica tem utilizado modelos baseados em agentes (ABM, *Agent-based models* em inglês) para simulação de cenários na pandemia, como em Giordano et al. [2020] e Silva et al. [2020]. ABM são uma boa opção para simular sistemas complexos e dinâmicos devido à sua simplicidade de implementação e resultados muito próximos quando comparados aos sistemas reais de eventos passados. Silva et al. [2020], utilizando uma modelagem baseada no SEIR (Suscetível - Exposto - Infectado - Recuperado), propuseram um pacote chamado “COVID-ABS”¹ que permite a geração de diferentes cenários epidemiológicos e econômicos. No final, os autores sugeriram que os cenários com Lockdown (isto é, bloqueio total - obrigatoriedade do distanciamento social) eram os mais sugeridos. Contudo, tanto eles quanto Moser e Yared [2020] e Sibley et al. [2020] argumentaram que esta imposição do Estado é a mais eficaz para controle da doença, porém afeta diretamente a economia.

Vê-se, portanto, que adotar uma estratégia de mitigação do vírus e, principalmente, contar com a compreensão de todos os envolvidos no processo é uma tarefa difícil. Na visão gerencial e de governo, a decisão da melhor política pública é complexa, pois ela leva em consideração vários fatores. Tomando como base os cenários gerados por meio do COVID-ABS, eles podem ser vistos como alternativas a serem implementadas pelos governantes, ou melhor, como políticas de enfrentamento da situação. Cada alternativa possui múltiplos critérios de avaliação, relacionados à COVID-19 (número de infectados, mortos ou aqueles que demandam atendimento hospitalar - UTI ou não) ou econômicos (pessoas e empresas). Neste último, o governo perde dinheiro para que pessoas e empresas ganhem - e isso é consequência da alternativa implementada.

Diferentes métodos de apoio à tomada de decisão multicritério (MCDM, *Multicriteria Decision Making* em inglês) estão disponíveis na literatura. Eles vêm sendo empregados em inúmeras áreas como descreveram as revisões propostas em Zavadskas et al. [2014], Mardani et al. [2015] e Alves [2018]. Alguns deles são mencionados na subseção 2, como o TOPSIS, ou Técnica de Ordem de Preferência por Semelhança a uma Solução Ideal desenvolvido por Tzeng e Huang [1981]. Este método, segundo Behzadian et al. [2012], tem um número maior de aplicações em logística e gerenciamento de cadeia de fornecedores, engenharia e manufatura, seguido de negócios e marketing. Recentemente, o TOPSIS foi utilizado para avaliar os principais fatores de risco da COVID-19. Majumder et al. [2020] reportaram que a contaminação devido ao contato é a alternativa mais significativa de disseminação do coronavírus. Esta aplicação revela a flexibilidade do método e mostra que ele pode ser utilizado para avaliar ações de combate, controle ou monitoramento da pandemia.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar diferentes cenários considerando critérios epidemiológicos e econômicos relacionados à COVID-19. Onze diferentes cenários foram criados se-

¹Disponível publicamente em: https://bit.ly/COVID19_ABSsystem

guindo o modelo COVID-ABS proposto por Silva et al. [2020], sendo que em 1 cenário os agentes se movimentam normalmente, 9 cenários de isolamento social variando o controle de 10% a 90%, e 1 cenário de Lockdown. Cada cenário foi considerado uma alternativa a ser avaliada pelo método multicritério TOPSIS. A classificação final tende a refletir as preferências do decisor (ou seja, governantes) diante do julgamento da importância dos critérios. Esta decisão pode ser reavaliada dependendo do comportamento da pandemia, adesão da sociedade civil às políticas implementadas e da situação econômica do país.

O restante do trabalho é organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o referencial teórico acerca de modelos de simulação para o COVID-19 e tomada de decisão multicritério; na Seção 3 é apresentada a metodologia; na Seção 4 são discutidos os resultados encontrados; e na Seção 5 são apresentadas as conclusões.

2. Referencial Teórico

2.1. Modelos de Simulação para COVID-19

Para uma discussão acerca do ABM e suas vantagens, sugere-se a leitura de Van Dyke Parunak et al. [1998] e Figueredo et al. [2014]. No relatório divulgado por Ferguson et al. [2020], um modelo de simulação individual foi usado para explorar cenários para o COVID-19 na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, além de permitir analisar o impacto de intervenções não farmacêuticas na demanda de serviços de saúde. Bossert et al. [2020] combinaram dados socioeconômicos e de tráfego para analisar a propagação do COVID-19 na África do Sul, considerando cenários com isolamento social. Os resultados sugerem que somente estratégias com alto índice de isolamento social, como Lockdown, são úteis para mitigar a doença. Chang et al. [2020] analisaram vários cenários que podem ser aplicados na Austrália e destacaram que 90% de isolamento social e restrições de viagens internacionais é possível controlar a doença em 13 semanas.

Uma das características mais desejáveis do ABM é a possibilidade de simular diferentes fatores sociais, econômicas e epidemiológicos em conjunto. Por outro lado, permite-se ainda a simulação detalhada de características intrínsecas de cada um desses fatores, a exemplo do estudo do uso universal de máscaras integradas ao distanciamento social em Braun et al. [2020] e Kai et al. [2020]. Dada a flexibilidade e eficiência deste tipo de modelagem, trabalhos anteriores empregaram ABM para simular tópicos específicos no contexto do COVID-19, como políticas de teste (Gopalan e Tyagi [2020]), estratégias para reabertura de edifícios públicos (D'Orazio et al. [2020]), tratamentos hipotéticos eficazes (Hoertel et al. [2020]) e a estratégia espaço-temporal de vacinação (Grauer et al. [2020]).

2.2. Tomada de Decisão Multicritério

Há inúmeras aplicações de métodos de tomada de decisão multicritério listadas na literatura [Zavadskas et al., 2014; Mardani et al., 2015; Alves, 2018]. MCDM cresceu como parte da Pesquisa Operacional, com vistas de fornecer uma base matemática lógica para a tomada de decisão. Conforme destacado por Durbach e Stewart [2012], os métodos MCDM podem ser decompostos em uma matriz de decisão D conforme representada em (1). Esses métodos usam um vetor de pesos representando a importância de cada critério para o decisor. Quanto mais próximo de 1 (considerando que o vetor está normalizado), mais importante é o critério. Quanto mais próximo de 0, menos importante. Os critérios podem representar custos ou benefícios. No primeiro busca-se os menores valores e no segundo os maiores.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

onde A_i , $i = 1, \dots, n$ representa as soluções alternativas, C_j , $j = 1, \dots, m$, os critérios avaliados, x_{ij} é a avaliação da alternativa A_i em relação ao critério C_j . $W = w_1, \dots, w_m$ representa um vetor de pesos, sendo $w_j \geq 0$ e $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

Com esta notação, cada método usa uma diferente estratégia para fornecer uma classificação final para as alternativas que tende a refletir as preferências do decisor. O método TOPSIS, proposto por Tzeng e Huang [1981], visa escolher uma alternativa que esteja o mais próximo possível da solução ideal positiva (PIS) e o mais distante possível da solução ideal negativa (NIS). A primeira almeja como referência os melhores valores alcançados pelas alternativas, enquanto o NIS considera os piores valores. PIS maximiza os benefícios e minimiza custos, e NIS o oposto. Isto quer dizer que cada critério requer ser maximizado ou minimizado. Antes da execução do método, o decisor informa se o critério é do tipo custo ou benefício. Este método é o segundo mais utilizado na literatura (depois do AHP - Análise Hierárquica de Processos, de Thomas L. Saaty [1980]) e o primeiro em número de extensões. O estado da arte deste método pode ser encontrado em Behzadian et al. [2012], Alves [2018] e Çelikkilek e Tüysüz [2020].

No contexto de pandemia do COVID-19 há poucas pesquisas que exploram o tema numa perspectiva de tomada de decisão multicritério. Maqbool e Khan [2020] utilizaram o método DEMATEL para avaliar 10 diferentes barreiras enfrentadas pelos governos e população como prevenção à COVID-19. A principal delas foi a “falta de recursos para a implementação de medidas sociais e de saúde pública”, representada pela falta de recursos públicos, alocação inadequada de recursos, decisões imediatistas (mentalidade de curto alcance), falta de interesse etc. Majumder et al. [2020] investigaram os fatores de risco associados com as mortes causadas pela propagação do coronavírus. “Contaminação por contato com a pessoa infectada” foi classificado pelo TOPSIS como o principal deles, seguido de contaminação verbal e, por último, comestíveis. Yang et al. [2020] desenvolveram um método baseado no conceito do conjunto esférico normal fuzzy para auxiliar na seleção de máscaras faciais pela população e otimizar seu uso por todos. Albahri et al. [2020] propuseram uma abordagem que mescla modelos de aprendizado de máquina e MCDM para elencar os pacientes mais críticos com COVID-19 que necessitam de transfusão de plasma convalescente.

Na visão da sociedade e ambiente que carecem ser reestruturados para controlar a pandemia do COVID-19, Elavarasan e Pugazhendhi [2020] destacaram alguns pontos que estão diretamente cobertos e/ou relacionados ao objetivo deste artigo, são eles: em Governos, inclui-se tomada de decisão, gestão pública, satisfação da necessidades do sistema de saúde e planos futuros; em Público, cooperação com o governo e adesão ao distanciamento social; e Ambientes, relação com impacto econômico. Por meio do modelo proposto por Silva et al. [2020] com a avaliação dos cenários por MCDM é possível compreender melhor, de acordo com as preferências sobre cada critério, as possíveis ações de enfrentamento da doença.

3. Metodologia

O modelo COVID-ABS proposto por Silva et al. [2020] foi empregado neste trabalho por ser aberto e facilmente parametrizável, além de possibilitar a simulação de cenários que incluem tanto critérios epidemiológicos quanto econômicos. A diversidade dos parâmetros e a flexibilidade

desse modelo permite a simulação de diferentes escalas espaciais e demográficas, diferentes estágios da epidemia, e intervenções sócio-econômicas.

Neste trabalho foram criados onze cenários, representando diferentes políticas sociais de enfrentamento à pandemia do novo coronavírus. Os parâmetros de modelo COVID-ABS foram ajustados conforme Tabela 1. Focou-se na variação gradual dos níveis de isolamento social, de 0 a 100%. Nesse sentido, o primeiro cenário, portanto, equivale ao isolamento social de 0%, equivalente a não fazer nada. O segundo cenário é um cenário com isolamento parcial de 10% da população, depois de 20% e assim sucessivamente. O último cenário representa o isolamento total, com 100% de isolamento social, também conhecido como Lockdown.

Variável	Domínio	Valor Simulado	Fonte
Sócio-Demográficas			
α_1 - Largura	$\mathbb{N}^+$	500	Definida empiricamente.
α_2 - Comprimento	$\mathbb{N}^+$	500	Definida empiricamente.
α_3 - Tamanho da população	$\mathbb{N}^+$	300	Definida empiricamente.
α_4 - Distribuição etária	$[0, 100]$	$\beta(2, 4)$	IBGE [Acess: June 02, 2020b]
α_5 - Tamanho médio das famílias	$\mathbb{N}^+$	3	IBGE [Acess: June 02, 2020a]
α_6 - Mobilidade	$\mathbb{N}^+$	10	Definida empiricamente.
α_7 - Taxa de desabrigados	$[0, 1]$	0.0005	IPEA [Acess: June 02, 2020]
Epidemiológicas			
β_1 - Distância de contágio	$\mathbb{R}^+$	1	Ferguson et al. [2020]
β_2 - Probabilidade de contágio	$[0, 1]$	0.9	Ferguson et al. [2020]
β_3 - Tempo de incubação	$\mathbb{N}^+$	5 – 6	Lima [2020]; Li et al. [2020]
β_4 - Tempo de transmissão	$\mathbb{N}^+$	8 – 10	Lauer et al. [2020]
β_5 - Tempo de recuperação	$\mathbb{N}^+$	20	Housen et al. [Acess: June 02, 2020]
β_6 - Taxa de internação por idade	$[0, 1]$	Vide fonte	Ferguson et al. [2020]
β_7 - Taxa de internação em UTI por idade	$[0, 1]$	Vide fonte	Ferguson et al. [2020]
β_8 - Taxa de fatalidade por idade	$[0, 1]$	Vide fonte	Ferguson et al. [2020]
β_9 - % inicial de infectados	$[0, 1]$	0.01	Definido pelos autores.
β_{10} - % inicial de imunes e recuperados	$[0, 1]$	0.01	Definido pelos autores.
β_{11} - Limite crítico do Sistema de Saúde	$[0, 1]$	0.05	Proporção da população referente à disponibilidade de leitos de UTI
Econômicas			
γ_1 - Distribuição de renda		Vide fonte	IndexMundi [Acess: June 02, 2020]; World Bank [Acess: June 03, 2020]
γ_2 - Negócios por 100 mil habitantes	$\mathbb{R}^+$	0,01875	IBGE [Acess: June 03, 2020]
γ_3 - PIB total	$\mathbb{R}^+/\text{R\$}$	1.000.000, 00	Definido pelos autores.
γ_4 - Fatia governamental do PIB	$[0, 1]$	0.01	Definido pelos autores.
γ_5 - Fatia comercial PIB das	$[0, 1]$	0.05	Definido pelos autores.
γ_6 - Fatia poulaçional do PIB	$[0, 1]$	0.04	Definido pelos autores.
γ_7 - Renda mínima líquida	$\mathbb{R}^+/\text{R\$}$	900, 00	
γ_8 - Despesa mínima	$\mathbb{R}^+/\text{R\$}$	600, 00	
γ_9 - Taxa de desemprego	$[0, 1]$	0.12	Exame [Acess: June 03, 2020]
γ_{10} - Taxa de informalidade	$[0, 1]$	0.40	Exame [Acess: June 03, 2020]; Sebrae [May, 2019]
γ_{11} - População Economicamente Ativa (PEA)			$16 < \text{PEA} < 65$

Tabela 1: Parâmetros do modelo COVID-ABS, adaptado de Silva et al. [2020]

No modelo COVID-ABS cada iteração é equivalente à uma hora e para o presente trabalho todos os cenários foram simulados com 1440 iterações (equivalente a 2 meses) de forma a considerar rotinas sociais como trabalho, horas livres de finais de semana e mesmo rotinas financeiras como o pagamento de salários e impostos. Com o objetivo de tornar os resultados mais robustos às variações aleatórias, cada cenário foi executado 35 vezes e os valores dos critérios de decisão consideram o valor médio dessas execuções.

O método TOPSIS foi utilizado para ordenar os cenários (alternativas), dadas as pre-

ferências dos decisores por meio de pesos atribuídos aos critérios. A formulação deste método parte da matriz de decisão D , descrita em (1), e um vetor de pesos. Neste trabalho, os pesos foram obtidos a partir da média simples dos julgamentos de dois decisores.

Tomando como base o proposto por Behzadian et al. [2012], os próximos passos do TOPSIS são:

1. Determinar a matriz de decisão normalizada ponderada (WNDM). O valor normalizado ponderado v_{ij} é obtido pela multiplicação dos pesos dos critérios pela matriz normalizada (normalização vetorial).

$$v_{ij} = w_j \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (2)$$

onde w_j é o peso do j -ésimo critério, x_{ij} é o valor de cada alternativa em cada critério j , $\sum_j^m w_j = 1$, $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, m$.

2. Determinar a Solução Ideal Positiva (PIS, A^+) e a Solução Ideal Negativa (NIS, A^-) pelas equações a seguir:

$$A^+ = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} = \{\max_i v_{ij} | i \in J'\}; (\min_i v_{ij} | i \in J'') \quad (3)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} | i \in J'); (\max_i v_{ij} | i \in J'')\} \quad (4)$$

onde J' é associado com critério de benefício e J'' é associado com critério de custo. J' são maximizados e J'' minimizados.

3. Para cada alternativa, calcular a distância D_i^+ entre os elementos da matriz WNDM com o PIS e a distância D_i^- com a NIS.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_i^*)^2} \quad (5)$$

com $i = 1, \dots, n$.

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (6)$$

com $i = 1, \dots, n$.

4. Calcular o coeficiente de aproximação (*Closeness Coefficient*, CC_i) de acordo com (7), isto é, o desempenho global de cada alternativa.

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (7)$$

5. Classificar em ordem decrescente as alternativas pelo CC_i .

A saber, foi utilizado o código do COVID-ABS disponibilizado por Silva et al. [2020]. De forma a incentivar a reproducibilidade e a validade desta proposta, o TOPSIS também foi implementado em Python e está disponível em http://bit.ly/covid_abs_topsis.

4. Resultados e Discussão

Após a execução dos experimentos no COVID-ABS, foram produzidas para cada cenário os critérios de avaliação: $C1$ - percentual máximo de infectados; $C2$ - percentual máximo de mortos; $C3$ - percentual máximo de internações hospitalares (casos de média gravidade); $C4$ - percentual máximo de internações em Unidades de Tratamento Intensivo (UTI), correspondente aos casos mais graves; $C5$ - variação percentual do PIB (ou riqueza) das pessoas físicas e $C6$ - variação percentual do PIB das pessoas jurídicas (negócios) e a variação percentual do PIB governamental. A curva de infecção, da qual é extraída o critério $C1$, e o critério $C6$ em cada cenário estão representados na Figura 1.

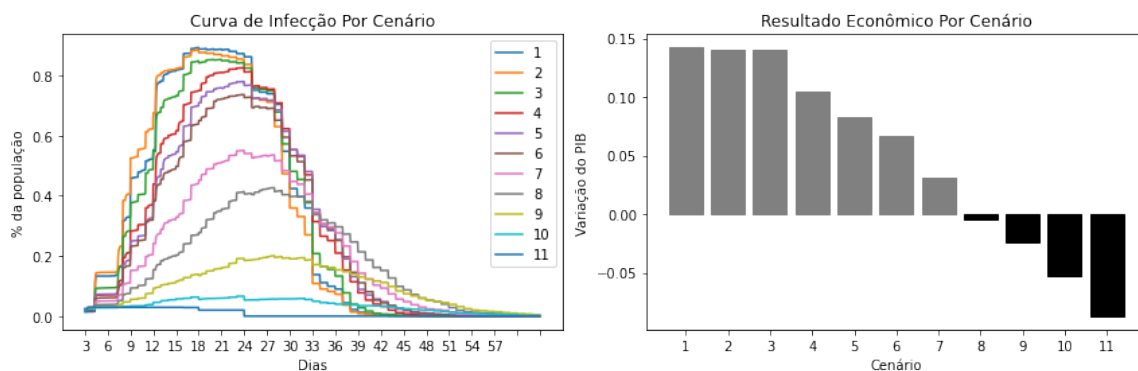


Figura 1: Amostra da simulação dos cenários propostos

Os valores máximos de cada parâmetro foi utilizado para a matriz de decisão D , representada na Tabela 2. Perceba, entretanto, que o PIB do Governo não foi considerado um critério. Entende-se que o Governo perde dinheiro para que os demais ganhem. Por isso não foi incluído.

Cenário	C1: Infectados	C2: Mortos	C3: Internações	C4: Casos Graves	C5: PIB Pessoas	C6: PIB Negócios	PIB Governo
A1: 0% (Não fazer nada)	0.916272	0.110956	0.089818	0.000590	-0.141817	0.165193	0.014460
A2: 10% isolamento	0.885429	0.109429	0.084952	0.000571	-0.196017	0.140170	0.016525
A3: 20% isolamento	0.853143	0.106286	0.079810	0.000857	-0.204683	0.140187	0.018915
A4: 30% isolamento	0.825905	0.102667	0.075048	0.000857	-0.175191	0.104488	0.016970
A5: 40% isolamento	0.780190	0.105143	0.077048	0.000667	-0.163578	0.082702	0.016195
A6: 50% isolamento	0.736667	0.093238	0.066857	0.000667	-0.153132	0.066399	0.017528
A7: 60% isolamento	0.551048	0.072857	0.049143	0.001619	-0.122949	0.031384	0.019066
A8: 70% isolamento	0.426857	0.061714	0.038476	0.001429	-0.093921	-0.004884	0.019731
A9: 80% isolamento	0.201048	0.033143	0.015810	0.001429	-0.080097	-0.024124	0.023929
A10: 90% isolamento	0.066381	0.010952	0.005238	0.001143	-0.057878	-0.052935	0.026763
A11: 100% (Lockdown)	0.045629	0.009952	0.008449	0.001099	-0.059182	-0.075627	0.037264

Tabela 2: Valores epidemiológicos e econômicos relacionados a cada cenário com diferentes níveis de isolamento, de 0% à isolamento total.

Julgamentos de dois especialistas foram coletados, considerando uma escala de importância de 0 a 10 para cada critério. Os valores, apresentados na Tabela 3, foram normalizados e depois agrupados pela média simples.

Seguindo os passos descritos, gerou-se a matriz WNDM. A partir dela calculou-se PIS e NIS, medidas de separação D^+ e D^- e o CC_i . Estes resultados, incluindo a classificação final das alternativas, estão sumarizados na Tabela 4.

Formato dos dados	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Julgamento DM1	7	3	5	3	5	3
Julgamento DM2	10	4	8	7	8	6
Pesos ajustados	0.2508	0.1042	0.1891	0.1390	0.1891	0.1274

Tabela 3: Julgamentos dos especialistas sobre o peso dos critérios (W_j)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D+	D-	CCi	Ordem
A1	0.1058	0.0418	0.0829	0.0234	-0.0573	0.0669	0.1372	0.1088	0.4424	5
A2	0.1022	0.0412	0.0784	0.0227	-0.0793	0.0568	0.1395	0.0971	0.4103	7
A3	0.0985	0.0400	0.0737	0.0340	-0.0828	0.0568	0.1361	0.0933	0.4067	8
A4	0.0954	0.0387	0.0693	0.0340	-0.0708	0.0423	0.1284	0.0818	0.3891	10
A5	0.0901	0.0396	0.0711	0.0264	-0.0661	0.0335	0.1259	0.0788	0.3851	11
A6	0.0850	0.0351	0.0617	0.0264	-0.0619	0.0269	0.1170	0.0781	0.4003	9
A7	0.0636	0.0274	0.0453	0.0643	-0.0497	0.0127	0.1048	0.0798	0.4323	6
A8	0.0493	0.0232	0.0355	0.0567	-0.0380	-0.0019	0.0968	0.0931	0.4901	4
A9	0.0232	0.0125	0.0146	0.0567	-0.0324	-0.0097	0.0873	0.1240	0.5869	3
A10	0.0076	0.0041	0.0048	0.0454	-0.0234	-0.0214	0.0913	0.1453	0.6142	1
A11	0.0052	0.0037	0.0078	0.0436	-0.0239	-0.0306	0.0998	0.1452	0.5925	2
PIS	0.0052	0.0037	0.0048	0.0227	-0.0234	0.0669				
NIS	0.1058	0.0418	0.0829	0.0643	-0.0828	-0.0306				

Tabela 4: Matriz de desempenho ponderada e normalizada (WNDM), solução ideal positiva (PIS) e negativa (NIS), medidas de separação D^+ e D^- , coeficiente de aproximação CC_i e ranking final de cada alternativa

A ordenação final das alternativas é $A10 \succ A11 \succ A9 \succ A8 \succ A1 \succ A7 \succ A2 \succ A3 \succ A6 \succ A4 \succ A5$. A melhor alternativa portanto, é a A10 que representa o isolamento social de 90% da população. A segunda foi a A11 que representa o isolamento total, ou Lockdown. Por meio da modelagem, elas refletem os pesos dos dois decisores nas avaliações dos critérios.

As quatro melhores alternativas correspondem exatamente àquelas com os maiores níveis de isolamento. Todavia, observe que a alternativa A1 (0% de isolamento = Não fazer nada) ficou em 5o. lugar. Depois, A7, ou 60% de isolamento. Esta proximidade entre as duas alternativas e o fato de elas terem ficado razoavelmente bem colocadas é um reflexo dos pesos altos que foram dados aos dois critérios econômicos.

Estes resultados permitem compreender que alternativas com baixo isolamento social são pouco ou nada eficientes na disseminação da COVID-19 e ainda impactam negativamente a economia. Cenários com alto índice de isolamento, como Lockdown, tendem a ser as melhores classificados quando os pesos de importância para os critérios epidemiológicos são altos e os econômicos são baixos ou médios. Embora a economia seja afetada negativamente nestes casos, ela pode ser recuperada em curto espaço de tempo, conforme indicaram Silva et al. [2020], uma vez que achata-se as curvas de infecção e as pessoas retornam às suas atividades. Por outro lado, pesos de importância altos para critérios econômicos e epidemiológicos continuam indicando a necessidade de isolamento, altos índices de contaminação e afetam a economia. Pesos baixos para os critérios epidemiológicos e altos para econômicos tendem a classificar as alternativas com baixo índice de isolamento, porém as curvas de contágio crescem significativamente.

Embora não seja o escopo deste trabalho, vale chamar a atenção para o engajamento da sociedade civil nas políticas de isolamento. Alternativas como o Lockdown têm sido indicadas em várias pesquisas e ela tende a cumprir um papel importante no controle da pandemia. O papel dos governos, neste caso, é (ou deveria ser) apenas o de assegurar o cumprimento destas políticas. Entende-se, também, que mesmo baseando em dadas reais, esta pesquisa reproduz um experimento

em ambiente controlado e para uma população limitada. Por isso, sugere-se a inclusão de novos fatores, epidemiológicos ou econômicos, seja no modelo de simulação ou de tomada de decisão.

5. Conclusão

A pandemia do COVID-19 criou um cenário de inúmeros desafios sociais, em especial para os tomadores de decisão do poder público que são responsáveis pela criação das políticas de enfrentamento da epidemia. O planejamento e implementação dessas políticas deve considerar inúmeros aspectos epidemiológicos, sociais e econômicos, que usualmente são conflitantes entre si.

Para avaliar a construção dessas políticas foi empregado o modelo de simulação multi-agente COVID-ABS, um modelo aberto e flexível que permite simular múltiplos aspectos em conjunto. Utilizando esse modelo foram construídos onze cenários, onde a disseminação do COVID-19 foi simulada considerando taxas de isolamento variando de 0% (Não fazer nada) até 100% (Lockdown). Cada cenário representa uma política social de controle do surto da doença, e após sua simulação são retornados seis critérios de decisão, a saber: percentual máximo de infectados, percentual máximo de mortos, percentual máximo de internações hospitalares, percentual máximo de internações em UTI e a variação percentual da riqueza de pessoas físicas e jurídicas.

Para a ordenação das alternativas foi empregado método multicritério TOPSIS, que considera as preferências de dois tomadores de decisão. As preferências, representadas por pesos associados a cada critério, são agregados usando a média simples. O resultado final mostrou que a solução de compromisso é o cenário com 90% de isolamento social, capaz de salvar o maior número de vidas enquanto suaviza as perdas econômicas. Exceto para os casos onde os critérios econômicos são considerados os mais importantes, os resultados indicaram que as alternativas com alto índice de isolamento, como o Lockdown, são as melhores classificadas.

Para trabalhos futuros considerar-se-ão novos fatores sociais, epidemiológicos e econômicos, como o uso de máscaras faciais, distanciamento social e subsídios financeiros para pessoas físicas e jurídicas, e seus efeitos na tomada de decisão.

Agradecimentos

Lucas Pimenta de Souza agradece à Diretoria de Extensão do IFNMG Campus Januária pelo apoio financeiro para a participação no evento. Petrônio C. L. Silva e Paulo V. C. Batista agradecem pelo apoio financeiro recebido pelo Edital 21/2020 - PROEX/PROPPI/Reitoria do Instituto Federal do Norte de Minas. Marcos Antônio Alves declara que o presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da CAPES - Brasil

Referências

- Albahri, O., Al-Obaidi, J. R., Zaidan, A., Albahri, A., Zaidan, B., Sali, M., Abdlhadi, A., Dawood, K., Mohammed, R., Abdulkareem, K. H., et al. (2020). Helping doctors hasten covid-19 treatment: Towards a rescue framework for the transfusion of best convalescent plasma to the most critical patients based on biological requirements via ml and novel mcdm methods. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, p. 105617.
- Alves, M. A. (2018). *Proposta de agregação robusta de múltiplos métodos com incertezas em problemas de tomada de decisão multicritério*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. URL doi.org/10.5281/zenodo.3762766.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., e Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of topsis applications. *Expert Systems with applications*, 39(17):13051–13069. URL doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056.

- Bossert, A., Kersting, M., Timme, M., Schröder, M., Feki, A., Coetzee, J., e Schlüter, J. (2020). Limited containment options of covid-19 outbreak revealed by regional agent-based simulations for south africa. *arXiv preprint arXiv:2004.05513*.
- Braun, B., Taraktaş, B., Beckage, B., e Molofsky, J. (2020). Phase transitions and social distancing control measures for sars-cov-2 on small world networks. *arXiv preprint arXiv:2005.09751*.
- Çelikkilek, Y. e Tüysüz, F. (2020). An in-depth review of theory of the topsis method: An experimental analysis. *Journal of Management Analytics*, 7(2):281–300. URL doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528.
- Chang, S. L., Harding, N., Zachreson, C., Cliff, O. M., e Prokopenko, M. (2020). Modelling transmission and control of the covid-19 pandemic in australia. *arXiv preprint arXiv:2003.10218*.
- D’Orazio, M., Bernardini, G., e Quagliarini, E. (2020). How to restart? an agent-based simulation model towards the definition of strategies for covid-19”second phase”in public buildings. *arXiv preprint arXiv:2004.12927*.
- Durbach, I. N. e Stewart, T. J. (2012). Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 223(1):1–14. URL doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.038.
- Elavarasan, R. M. e Pugazhendhi, R. (2020). Restructured society and environment: A review on potential technological strategies to control the covid-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, p. 138858. URL doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138858.
- Exame (Acess: June 03, 2020). Desemprego sobe para 12,2% no 1o trimestre e atinge 12,9 milhões, diz ibge. <https://exame.com/economia/brasil-tem-desemprego-de-122-no-primeiro-trimestre-diz-ibge/>.
- Ferguson, N., Laydon, D., Nedjati Gilani, G., Imai, N., Ainslie, K., Baguelin, M., Bhatia, S., Boonyasiri, A., Cucunuba Perez, Z., Cuomo-Dannenburg, G., et al. (2020). Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (npis) to reduce covid19 mortality and healthcare demand. Technical report, Imperial College London, London.
- Figueredo, G. P., Siebers, P. O., Owen, M. R., Reps, J., e Aickelin, U. (2014). Comparing stochastic differential equations and agent-based modelling and simulation for early-stage cancer. *PloS one*, 9(4):e95150.
- Giordano, G., Blanchini, F., Bruno, R., Colaneri, P., Di Filippo, A., Di Matteo, A., e Colaneri, M. (2020). Modelling the covid-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in italy. *Nature Medicine*, p. 1–6. URL doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7.
- Gopalan, A. e Tyagi, H. (2020). How reliable are test numbers for revealing the covid-19 ground truth and applying interventions? *arXiv preprint arXiv:2004.12782*.
- Grauer, J., Löwen, H., e Liebchen, B. (2020). Strategic spatiotemporal vaccine distribution halves deaths due to an infectious disease. *arXiv preprint arXiv:2005.04056*.
- Hoertel, N., Blachier, M., Blanco, C., Olfson, M., Massetti, M., Limosin, F., e Leleu, H. (2020). Facing the covid-19 epidemic in nyc: a stochastic agent-based model of various intervention strategies. *medRxiv*.

- Housen, T., Parry, A. E., e Sheel, M. (Acess: June 02, 2020). How long are you infectious when you have coronavirus? <https://theconversation.com/how-long-are-you-infectious-when-you-have-coronavirus-135295>.
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., Xiao, Y., Gao, H., Guo, L., Xie, J., Wang, G., Jiang, R., Gao, Z., Jin, Q., Wang, J., e Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in wuhan, china. *Lancet*, 395(10223):497–506. URL [doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
- IBGE (Acess: June 02, 2020a). Censo demográfico: Tabela 2019 - moradores em domicílios particulares permanentes por densidade de moradores por cômodo e número de banheiros. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2019>.
- IBGE (Acess: June 02, 2020b). Pirâmide etária. <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18318-piramide-etaria.html>.
- IBGE (Acess: June 03, 2020). Demografia das empresas e empreendedorismo 2017: taxa de sobrevivência foi de 84,8%. http://bit.ly/ibge_release_demografia_empresas.
- IndexMundi (Acess: June 02, 2020). Income distribution: Percentage share of income or consumption is the share that accrues to subgroups of population indicated by deciles or quintiles. <https://www.indexmundi.com/facts/visualizations/income-distribution/#country=br>.
- IPEA (Acess: June 02, 2020). Estimativa da população em situação de rua no brasil. http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7289/1/td_2246.pdf.
- Kai, D., Goldstein, G.-P., Morgunov, A., Nangalia, V., e Rotkirch, A. (2020). Universal masking is urgent in the covid-19 pandemic: Seir and agent based models, empirical validation, policy recommendations. *arXiv preprint arXiv:2004.13553*.
- Lauer, S. A., Grantz, K. H., Bi, Q., Jones, F. K., Zheng, Q., Meredith, H. R., Azman, A. S., Reich, N. G., e Lessler, J. (2020). The incubation period of coronavirus disease 2019 (covid-19) from publicly reported confirmed cases: estimation and application. *Annals of internal medicine*, 172(9):577–582.
- Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Ren, R., Leung, K. S., Lau, E. H., Wong, J. Y., et al. (2020). Early transmission dynamics in wuhan, china, of novel coronavirus–infected pneumonia. *New England Journal of Medicine*.
- Lima, C. M. A. d. O. (2020). Informações sobre o novo coronavírus (covid-19). *Radiologia Brasileira*, 53(2):V–VI.
- Majumder, P., Biswas, P., e Majumder, S. (2020). Application of new topsis approach to identify the most significant risk factor and continuous monitoring of death of covid-19. *Electronic Journal of General Medicine*, 17(6). URL doi.org/10.29333/ejgm/7904.
- Maqbool, A. e Khan, N. Z. (2020). Analyzing barriers for implementation of public health and social measures to prevent the transmission of covid-19 disease using dematel method. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. URL doi.org/10.1016/j.dsx.2020.06.024.

- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., e Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1):516–571. URL doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139.
- Moser, C. A. e Yared, P. (2020). Pandemic lockdown: The role of government commitment. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- Sebrae (May, 2019). Estudo sobre o empreendedorismo informal no brasil 2018. Technical report, Sebrae.
- Sibley, C. G., Greaves, L. M., Satherley, N., Wilson, M. S., Overall, N. C., Lee, C. H., Milojev, P., Bulbulia, J., Osborne, D., Milfont, T. L., et al. (2020). Effects of the covid-19 pandemic and nationwide lockdown on trust, attitudes toward government, and well-being. *American Psychologist*. URL psycnet.apa.org/fulltext/2020-39514-001.pdf.
- Silva, P. C., Batista, P. V., Lima, H. S., Alves, M. A., Guimarães, F. G., e Silva, R. C. (2020). Covid-abs: An agent-based model of covid-19 epidemic to simulate health and economic effects of social distancing interventions. *Chaos, Solitons Fractals*, 139. ISSN 0960-0779. URL <http://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110088>.
- Thomas L. Saaty (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York.
- Tzeng, G.-H. e Huang, J.-J. (1981). *Multiple attribute decision making*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Van Dyke Parunak, H., Savit, R., e Riolo, R. L. (1998). Agent-based modeling vs. equation-based modeling: A case study and users' guide. In Sichman, J. S., Conte, R., e Gilbert, N., editors, *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, p. 10–25, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-49246-7.
- World Bank (Acess: June 03, 2020). Lac equity lab: Income inequality - composition by quintile. <https://www.worldbank.org/en/topic/poverty/lac-equity-lab1/income-inequality/composition-by-quintile>.
- Yang, Z., Li, X., Garg, H., e Qi, M. (2020). Decision support algorithm for selecting an antivirus mask over covid-19 pandemic under spherical normal fuzzy environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10):3407. URL doi.org/10.3390/ijerph17103407.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., e Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on mcdm/madm methods. *Technological and economic development of economy*, 20(1):165–179. URL doi.org/10.3846/20294913.2014.892037.