



Definindo políticas de combate à COVID-19 com o método híbrido de apoio à tomada de decisão multicritério CRITIC-TOPSIS

Jonathas Vinícius Gonzaga Alves Araujo¹, Marcos dos Santos²; Carlos Francisco Simões Gomes³; Sileno Marcos Araujo Ortin⁴; Enderson Luiz Pereira Júnior⁵

Resumo: O mundo tem enfrentado de forma intensa a pandemia do Covid-19 e seus desafios para combatê-la. Com intuito de assistir autoridades públicas no combate à disseminação do vírus, este artigo propôs a utilização do método TOPSIS em conjunto com o método CRITIC. Foi empregado o pacote “COVID-ABS” para simulação de diferentes cenários diversificando entre o percentual do isolamento social de 0% (não fazer nada) e lockdown (isolamento social de 100%), considerando fatores epidemiológicos (quantidade de pessoas contaminadas, mortos e internações) e econômicos (PIB pessoas e empresas). Os resultados apontam que a melhor alternativa para frear a disseminação do vírus é o lockdown, seguida da alternativa de isolamento social de 0%. Não obstante, aponta-se que estudos futuros que incluam outros fatores relevantes tais como novos critérios podem alterar esta recomendação de forma significativa.

Palavras-chave: COVID-19; TOPSIS; CRITIC; Apoio à Decisão Multicritério.

Abstract: The world has faced the Covid-19 pandemic and it challenges to combat it. In order to assist public authorities in combating the spread of the virus, this article proposed the use of the TOPSIS method in conjunction with the CRITIC method. The package “COVID-ABS” was used to simulate different scenarios diversifying between the 0% of social isolation (not to do anything) and lockdown (100% of social isolation), considering epidemiological factors (quantity of people infected, deaths and hospitalizations) and economics (people and companies GDP). The results indicate that the best alternative of reducing the spread of the virus is the lockdown, followed by the alternative of 0% social isolation. However, it is convenient that future studies that include other relevant factors such as new criteria can significantly alter this recommendation.

Keywords: COVID-19; TOPSIS; CRITIC; Multicriteria Decision Aid.

¹ Instituto Militar de Engenharia (IME) - jonathasvga@ime.eb.br

² Instituto Militar de Engenharia (IME) - marcosdossantos@ime.eb.br

³ Universidade Federal Fluminense (UFF) - cfsg1@bol.com.br

⁴ Faculdade de Tecnologia (FATEC-CPS) - sileno.ortin@fatec.sp.gov.br

⁵ Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul) - endersonjr@gmail.com

1. Introdução

Recentemente, o mundo foi impactado pela pandemia da doença conhecida popularmente como Covid-19 que fez milhões de vítimas (até maio de 2021 contabilizaram-se mais de 160.000.000 casos e mais de 3.000.000 de mortes) (JOHNS HOPKINS UNIVERSITY & MEDICINE, 2021).

Diante da relevância deste cenário, é possível perceber a complexidade que permeia os diversos processos decisórios que influenciam não somente consequências econômicas e sociais do país, mas também as relacionadas com a saúde, neste caso, condições de vida ou de morte (SALES, 2020).

Recentemente, analistas de risco vêm utilizando diversos modelos matemáticos para modelar e analisar o risco de transmissão de Covid-19. Esse tipo de análise tem sido de extrema importância para embasar decisões nos mais altos níveis no gerenciamento da nova conjuntura da saúde pública nacional (CUEVAS, 2020).

Entre relevantes exemplos de trabalhos que analisam riscos durante a pandemia, Souza et al. (2020) exploram modelos baseados em agentes (ABM, *Agent-based models* em inglês) para simular possíveis cenários na pandemia. Os autores consideram que ABM são uma boa alternativa para representar sistemas complexos e dinâmicos e compará-los com sistemas reais de acontecimentos passados. Silva et al. (2020) empregam o modelo epidêmico SEIR (Suscetível – Exposto – Infectado e Recuperado), onde o pacote nomeado pelos autores como COVID-ABS possibilita a reprodução de variados cenários epidemiológicos e econômicos e permite recomendações de controle da doença como, por exemplo, a adoção do lockdown que apesar de ser a opção de maior efetividade é também a que mais abala de forma direta a economia do país (MOSER; YARED, 2020).

Como ocorre na maioria das análises de problemas de decisão complexos, a avaliação de alternativas para o controle da pandemia de Covid-19 engloba diversos critérios de avaliação, entre eles a quantidade de contaminados, o número de óbitos e ainda a quantidade de pessoas que podem necessitar de atendimento hospitalar (UTI ou não). Ainda outros critérios de ambientes externos ao da saúde devem ser considerados. Por exemplo, análises devem considerar impactos nas áreas econômicas e sociais já que consequências advindas das soluções adotadas certamente influenciarão na condição financeira do governo, pessoas físicas e empresas (SOUZA et al., 2020).

Diversos métodos de multicritério de apoio à decisão (MCDA – *Multicriteria Decision Aid* em inglês) que podem potencialmente apoiar decisões complexas no contexto explorado neste artigo estão disponíveis na literatura científica. Entre eles, o TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*, em inglês), Técnica de Ordem de Preferência por Similaridade, desenvolvido no ano de 1981 por Tzeng e Huang.

A proposta do TOPSIS é ranquear alternativas utilizando como critério comparativo as distâncias ideais positivas e negativas, onde a melhor alternativa será a mais próxima à solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa (KROHLING; SOUZA, 2011). Ou seja, as soluções ideais positivas e ideais negativas são definidas para cada critério, levando em conta se o critério é monotônico de custo ou de lucro. Nos critérios monotônicos de custo, a alternativa que representa a solução ideal é a de menor valor, enquanto nos critérios monotônicos de lucro, a alternativa escolhida será a que apresentar o maior valor. (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

Outro método multicritério de tomada de decisão é o método de Importância dos Critérios por meio da Correlação entre Critérios, o CRITIC (*Criteria Importance Through Intercriteria Correlation*, em inglês), que se dispõe principalmente, neste trabalho, a determinar o peso dos critérios.

O objetivo do presente artigo é auxiliar decisores na escolha da condição de isolamento que afetaria menos negativamente o país, explorando os benefícios que a aplicação do método TOPSIS juntamente com o método CRITIC possa gerar no auxílio do controle da pandemia de COVID-19 no Brasil. Enquanto o método CRITIC deverá ser utilizado para gerar os pesos dos critérios que serão adotados para o estudo, o método TOPSIS deverá ser explorado para o ranqueamento das alternativas.

De acordo com Diakoulaki (1995), a adoção do método CRITIC permite três benefícios a saber: definir pesos objetivos quando um tomador de decisão não existe, facilitar ao tomador de decisão a expressar sua opinião sobre a importância relativa do critério e reduzir o caráter subjetivo do processo de tomada de decisão, enquanto o método TOPSIS permite as seguintes vantagens em sua aplicação, como fornecer como resultado a melhor e a pior alternativa simultaneamente, não considera a importância relativa das distâncias entre a solução mais positiva e a mais negativa e, por necessitar de pesos, os critérios precisam ter uma utilidade hierárquica crescente ou decrescente para o decisor (AYALA, 2013).

O presente artigo segue a seguinte estrutura: a Seção 2 apresenta o referencial teórico com um breve resumo a respeito dos principais métodos multicritérios, seguido da Seção 3 com a metodologia, contendo explicações acerca dos métodos escolhidos pelo presente artigo, os métodos TOPSIS e CRITIC. Em seguida, a Seção 4 traz os resultados da junção dos métodos com tabelas ilustrando os dados utilizados e obtidos incluindo sucintos comentários, estando logo após a conclusão na Seção 5 com um parecer técnico e sugestões para próximos trabalhos ficando, por fim, as referências utilizadas neste trabalho.

2. Referencial Teórico

Segundo Gomes e Gomes (2019), o processo de tomada de decisão pode ser definido como consequência de uma preferência da melhor opção dentre as possibilidades, por meio de pessoa ou grupo, que, por sua vez, recebe a denominação de decisor.

Assim, pode-se definir o que é conhecido como método de decisão multicritério, que objetiva solucionar questões buscando responder, baseado em modelos bem definidos, questões abordadas ao longo da tomada de decisão (OLIVEIRA et al., 2021). São métodos que possuem a capacidade de auxiliar os decisores no contexto de dúvidas e complexidades (WANG, 2010).

Diversos métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão estão disponíveis e são extensamente explorados na literatura. Entre tais métodos, o AHP – método de análise hierárquica (do inglês *Analytic Hierarchy Process*) sendo um dos primeiros métodos projetados para solucionar problemas de decisão com múltiplos critérios quantitativos e qualitativos (REIS; LOBLER, 2012); o ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*) que expressa limites de concordância e discordância entre as alternativas de decisão (GOMES et al., 2004); PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment*

Evaluations) em que seu desempenho se dá ao ordenar e selecionar alternativas de acordo com determinado conjunto de critérios (GOMES et al., 2004).

Existem alguns exemplos de aplicações destes métodos no contexto da pandemia, como Albahri et al. (2020) que realizaram uma estrutura de exame laboratorial multibiológico para a priorização de pacientes com COVID-19 utilizando o método AHP; Singh e Avikal (2020) que determinaram uma abordagem de tomada de decisão para priorização de atividades preventivas na COVID-19 manipulando também o método AHP; Sayan et al. (2020) que avaliaram a capacidade de teste de diagnóstico para COVID-19 operando o método PROMETHEE; Yildirim et al. (2021) que também abordaram uma avaliação comparativa do tratamento de COVID-19 com o método PROMETHEE; Costa et al. (2021) que utilizaram o método ELECTRE-Mor, que é uma variação do método ELECTRE primário, em sua abordagem “Escolhendo hospitais voadores na luta contra a Pandemia COVID-19” e Pereira et al. (2020) que empregou o método ELECTRE para melhoria da eficiência da gestão da manutenção em um sistema de distribuição de água.

O TOPSIS visa avaliar o desempenho das alternativas por meio da similaridade da mesma com a solução ideal (HWANG; YOON, 1981). Logo, por ser uma ferramenta amplamente conhecida, recentemente, tem sido aplicada na avaliação dos principais fatores de risco da Covid-19 (SOUZA et al., 2020).

Segundo Krohling e Souza (2011), em sua prática, o TOPSIS está embasado na seleção de uma alternativa que esteja mais próxima possível da solução ideal positiva (a que reforça os critérios de benefício e reduz critérios de custo) e mais distante da solução ideal negativa (a que aumenta critérios de custo e minimiza critérios de benefício).

O método CRITIC, por sua vez, foi proposto por Diakoulaki, Mavrotas e Papayannakis em 1995, tendo o objetivo de definir a importância dos atributos, sem estarem em contradição, além do peso dos mesmos ser determinado utilizando a matriz de decisão. Esta ferramenta é caracterizada por não necessitar da independência dos atributos e pela transformação dos critérios qualitativos em critérios quantitativos (ALINEZHAD; KHALILI, 2019).

De maneira pragmática, métodos multicritérios de apoio à decisão podem ser empregados de modo individual ou de forma combinada. Visto que cada ferramenta dispõe de suas vantagens e limitações, combiná-las objetiva usufruir dos benefícios específicos de cada uma (LIMA JUNIOR et al., 2013).

É interessante ressaltar o benefício de ser possível combinar esses métodos e assim buscar obter uma análise de sensibilidade cada vez mais assertiva, gerando mais segurança ao processo de tomada de decisão, visto que a mesma estaria embasada em dados mais apurados (COSTA et al., 2020).

Yang (2019) utilizou o método TOPSIS e o método de ponderação CRITIC para avaliar o benefício econômico de projetos de geração distribuída e afirmou que o primeiro método foi otimizado ainda mais com a combinação do segundo. Afirmou também que a praticabilidade e racionalidade do mesmo foi comprovada por meio de estudo de caso, confirmando a utilidade e funcionalidade do modelo híbrido.

3. Metodologia

O trabalho propõe-se a utilização dos dados fornecidos pelo modelo COVID-ABS exposto por Silva et al. (2020). O referido modelo dispõe de diversos cenários que envolvem tanto critérios epidemiológicos quanto econômicos. Os variados parâmetros e a versatilidade possibilitam simulações de escalas espaciais e demográficas distintas, incluindo vários estágios da epidemia e ações socioeconômicas. O artigo referido elaborou onze cenários diferentes retratando diversas atuações sociais de combate à pandemia.

A Tabela 1 demonstra os padrões adaptados do modelo COVID-ABS. A partir dos dados obtidos com a respectiva tabela, foram definidos 11 cenários apresentados na Tabela 2, que serão utilizados como as alternativas a serem ranqueadas pelo método TOPSIS, onde o primeiro cenário retrata o isolamento social de 0%, que representa não tomar nenhuma atitude, o segundo cenário um isolamento parcial de 10%, o terceiro de 20% e assim em diante. O último cenário, por sua vez, demonstra um isolamento total (100%) nomeado de lockdown.

Nesse modelo COVID-ABS cada reprodução corresponde a uma hora e todos os contextos foram simulados com 1440 processos (coincidindo a 2 meses), levando em conta hábitos sociais como atividade laboral, tempo livre de finais de semana e mesmo costumes financeiros como salário e impostos.

Tabela 1 – Parâmetros do modelo COVID-ABS, adaptado de Silva et al. (2020).

Variável	Domínio	Valor Simulado	Fonte
Sócio-Demográficas			
α_1 - Largura	N^+	500	Definida empiricamente
α_2 - Comprimento	N^+	500	Definida empiricamente
α_3 - Tamanho da população	N^+	300	Definida empiricamente
α_4 - Distribuição etária	[0, 100]	$\beta(2, 4)$	IBGE [Acess: June 02, 2020b]
α_5 - Tamanho médio das famílias	N^+	3	IBGE [Acess: June 02, 2020a]
α_6 - Mobilidade	N^+	10	Definida empiricamente
α_7 - Taxa de desabrigados	[0, 1]	0.0005	IPEA [Acess: June 02, 2020]
Epidemiológicas			
β_1 - Distância de contágio	R^+	1	Ferguson et al. [2020]
β_2 - Probabilidade de contágio	[0, 1]	0.9	Ferguson et al. [2020]
β_3 - Tempo de incubação	N^+	5 - 6	Lima [2020]; Li et al. [2020]
β_4 - Tempo de transmissão	N^+	8 - 10	Lauer et al. [2020]
β_5 - Tempo de recuperação	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		0,01875	IBGE [Acess: June 03, 2020]
γ_3 - PIB total	$R^+/R\$$	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	[0, 1]	0.05	Definido pelos autores
γ_6 - Fatia populacional do PIB	[0, 1]	0.04	
γ_7 - Renda mínima líquida	$R^+/R\$$	900,00	
γ_8 - Despesa mínima	$R^+/R\$$	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 < PEA < 65

Fonte: Souza et al. (2020)

Com a finalidade de tornar as informações finais mais íntegras às variações aleatórias, Souza et al. (2020) reproduziu cada cenário 35 vezes com os parâmetros da Tabela 1 e os valores dos critérios na matriz de decisão levam em consideração o valor médio dessas execuções.

O uso do método TOPSIS se deu para ranquear os cenários, isto é, as alternativas, da melhor para a pior, conforme as preferências dos tomadores de decisão por meio dos pesos dados aos critérios. O método foi elaborado a partir da matriz de decisão D, retratado em (5), e um vetor de pesos provenientes do método CRITIC.

3.1 TOPSIS

O método TOPSIS ranqueia as alternativas associando-as com o aspecto ideal e não-ideal. A preferência sobre alguma alternativa é dada por esse modelo a partir da distância entre dois pontos. Os pontos são denominados como PIS (*positive ideal solution*) referindo-se ao ponto ideal e o chamado de NIS (*negative ideal solution*) tratando-se do ponto não-ideal, já que, de acordo com Silva et al. (2020), era suposto saber o caminho que a via “pulso” poderia percorrer para reconhecer a parte onde pode ocorrer uma reação positiva ou negativa, considerando as distâncias positivas e negativas ideais de acordo com o decisor.

O método consiste em 6 passos:

- 1º Passo: a produção da matriz de decisão;
- 2º Passo: o cálculo da matriz normalizada;
- 3º Passo: o cálculo da matriz com os pesos;
- 4º Passo: a assimilação da PIS e da NIS;
- 5º Passo: o cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (D+) e a situação ideal negativa e cada alternativa (D-);
- 6º Passo: o cálculo da similaridade para a posição ideal positiva.

Para Gomes e Gomes (2019), há quatro principais procedimentos de normalização apresentados nas equações de (1) a (4) que são frequentemente utilizados no cálculo da normalização da matriz. O método em questão utiliza o 4º procedimento, representado pela Eq. (4).

1º Procedimento: age através do valor máximo das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (1)}$$

2º Procedimento: opera por meio da distinção de pontuações e o valor máximo e mínimo das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (2)}$$

3º Procedimento: exerce em consequência da soma das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (3)}$$

4º Procedimento: resulta da raiz quadrada da soma dos quadrados das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (4)}$$

A execução deste método é descrita de forma específica em etapas consecutivas que estão detalhadas abaixo:

1ª Etapa - Levantamento da matriz de decisão: ocorre por meio da construção de uma matriz de decisão $m \times n$ abaixo, sendo “m” as alternativas e “n” os critérios de avaliação;

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ m_{i1} & m_{i2} & & m_{ij} & & m_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nj} & \dots & m_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

2ª Etapa - Cálculo da matriz normalizada: conforme Gomes e Gomes (2019) descrevem, a normalização da matriz de decisão é exercida de diversas maneiras. Geralmente o método TOPSIS usa a normalização linear, conforme a Eq. (5) abaixo:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{Eq. (5)}$$

3ª Etapa - Cálculo da matriz com os pesos: efetua-se a multiplicação da matriz normalizada pelos pesos dos critérios equivalentes de acordo com a Eq. (6). A determinação dos pesos pode ser por meio do entendimento de valor do decisor ou de um grupo de decisores, mas o presente trabalho utilizará o método CRITIC para tal função.

$$r_{ij} = w_j n_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (6)}$$

Sendo w_j o peso do atributo ou critério e:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

4ª Etapa - Identificação da solução ideal (PIS) e da solução não-ideal (NIS): Nesta fase, elegem-se os melhores níveis, que distinguem a solução ideal (S^+) para cada um dos critérios considerados. Atua-se do mesmo modo em relação aos piores níveis, que correspondem a solução não-ideal, (S^-). São utilizadas as equações (7) e (8) destacadas abaixo:

$$S^+ = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J')\} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$S^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J')\} \quad \text{Eq. (8)}$$

5ª Etapa - Cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (D^+) e situação ideal negativa e cada alternativa (D^-): Define-se a medida de separação para cada alternativa em menção à solução ideal e não-ideal. Resultante das fórmulas (9) e (10) abaixo é feito o cálculo das distâncias euclidianas entre cada alternativa e sua solução ideal positiva (D^+) e sua solução não-ideal (D^-).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^+(x)]^2} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^-(x)]^2} \quad \text{Eq. (10)}$$

6ª Etapa - Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva: Em suma, conquista-se o coeficiente C ou resposta da aproximação da situação ideal (C) e a descrição da ordenação das alternativas, por meio da Eq. (11):

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad \text{Eq. (11)}$$

A ordenação das alternativas acontece de modo decrescente em congruência com os valores do coeficiente de aproximação, definidos no intervalo (0,0; 1,0).

As alternativas mais satisfatórias são aquelas que mostram uma pontuação mais próxima de 1,0.

3.2 CRITIC

O método CRITIC, em sua principal finalidade, busca atribuir pesos aos critérios. Objetiva determinar pesos de relativa importância em problemas de métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão. Os pesos originados integram tanto intensidade de contraste quanto conflitos que estão englobados na estrutura do problema de decisão e permite uma solução objetiva de problemas de decisão multicritério (DIAKOULAKI et al., 1995).

A matriz de decisão está embasada na colocação do método e apresentação das alternativas e os atributos são baseados nas informações consideradas pelo tomador de decisão, como mostrado na matriz abaixo:

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} & \cdots & r_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mj} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad ; i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$$

Onde r_{ij} indica o elemento da matriz de decisão para i th alternativa em j th atributo.

Passo 1: A matriz de decisão normalizada

Com objetivo de normalizar os atributos positivos e negativos da matriz de decisão, são usadas as equações (12) e (13), respectivamente:

Atributos positivos:

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-}; i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (12)}$$

Atributos negativos:

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^+}{r_i^- - r_i^+}; i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (13)}$$

Onde X_{ij} representa um valor normalizado da matriz de decisão, para i -ésima alternativa em j -ésimo atributo e $r_i^{maior} = \max(r_1, r_2, \dots, r_m)$ e $r_i^{menor} = \min(r_1, r_2, \dots, r_m)$.

Passo 2: O Coeficiente de Correlação

O coeficiente de correlação entre atributos é definido pela Eq. (14) abaixo.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j) \cdot (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde \bar{x}_j e \bar{x}_k retratam a média dos atributos j th e k th. \bar{x}_j é calculado a partir da Eq. (15) abaixo. Do mesmo modo, é obtido para \bar{x}_k : Além disso, ρ_{jk} é o coeficiente de correlação entre os atributos j th e k th.

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}; i = 1, \dots, m \quad \text{Eq. (15)}$$

Passo 3: O Índice (C)

Primeiramente, o desvio padrão de cada atributo é estimado pela Eq. (16).

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; i = 1, \dots, m \quad \text{Eq. (16)}$$

Após isso, o índice (C) é calculado utilizando a Eq. (17).

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}); j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (17)}$$

Passo 4: O Peso dos Atributos

Os pesos dos atributos são estipulados pela Eq. (18).

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j}; j = 1, \dots, n \quad \text{Eq. (18)}$$

Passo final: O Ranking Final de Atributos

Os pesos dos atributos são organizados em ordem decrescente para a ordenação final dos atributos.

4. Resultados

Foram escolhidos, a nível de comparação dos resultados, os mesmos critérios estabelecidos por Souza et al. (2020), são eles: C1- percentual máximo de infectados; C2- percentual máximo de mortos; C3- percentual máximo de internações hospitalares (casos não tão graves); C4- percentual máximo de internações em UTI (Unidades de Tratamento Intensivo), que serão utilizados para os casos mais graves; C5- variação do PIB, em porcentagem, ou a riqueza de pessoas físicas e, por fim, C6- variação do PIB de negócios, pessoas jurídicas ou do PIB governamental, em porcentagem.

A matriz de decisão apresentada na Tabela 2 é composta pelos valores que serão utilizados por cada parâmetro. Souza et al. (2020) optou por não utilizar o critério PIB governamental, por entender que enquanto um governo está ganhando dinheiro, outros governos estão perdendo, da mesma forma o contrário, diferente dos outros critérios, que independem de outros governos.

Tabela 2: Valores atribuídos aos níveis de isolamento para cada cenário.

Cenários	C1: Infectados	C2: Mortos	C3: Internações	C4: Casos Graves	C5: PIB Pessoas	C6: PIB Negócios	PIB Governo
A1: 0% (Não fazer nada)	0,91627	0,1109	0,089818	0,00059	-0,141817	0,16519	0,01446
A2: 10% isolamento	0,88542	0,1094	0,084952	0,00057	-0,196017	0,14017	0,016525
A3: 20% isolamento	0,85314	0,1062	0,07981	0,00085	-0,204683	0,14018	0,018915
A4: 30% isolamento	0,82590	0,1026	0,045048	0,00085	-0,175191	0,10448	0,01697
A5: 40% isolamento	0,78019	0,1051	0,077048	0,00066	-0,163578	0,08270	0,016195
A6: 50% isolamento	0,73666	0,0932	0,066857	0,00066	-0,153132	0,06639	0,017528
A7: 60% isolamento	0,55104	0,0728	0,049143	0,00161	-0,122949	0,03138	0,019066
A8: 70% isolamento	0,42685	0,0617	0,038476	0,00142	-0,093921	0,00488	0,019731
A9: 80% isolamento	0,20104	0,0331	0,01581	0,00142	-0,080097	0,02412	0,023929
A10: 90% isolamento	0,06638	0,0109	0,005238	0,00114	-0,057878	0,05293	0,026763
A11: 100% (Lockdown)	0,04562	0,0099	0,008449	0,00109	-0,059182	0,07562	0,037264

Fonte: Souza et al. (2020)

O presente artigo utilizou o método CRITIC para a obtenção dos pesos dos critérios que podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores dos pesos de cada critérios gerados pelo método CRITIC.

C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
W_j	0,134112	0,133939	0,134176	0,244626	0,129207	0,223941

Fonte: Autores (2021).

A partir dos dados obtidos pela matriz de decisão e os pesos adquiridos com o método CRITIC, foi gerada uma nova matriz, com os valores já normalizados e ponderados juntamente com as soluções ideais e não-ideais, medidas de separação D^+ e D^- , coeficiente de aproximação CCi e o ranqueamento obtido, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz com valores normalizados e ponderados, soluções ideais e não-ideais, medidas de separação D^+ e D^- , coeficiente de proximidade CCi e o ranqueamento final de cada alternativa.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D^+	D^-	CCi	Ranking
A1	0,056575	0,053799	0,061553	0,041233	-0,0392	0,117652	0,095855	0,136047919	0,58666	2
A2	0,054671	0,053059	0,058218	0,039905	-0,05418	0,09983	0,098868	0,121115623	0,550566	4
A3	0,052677	0,051535	0,054694	0,059893	-0,05657	0,099842	0,098197	0,110405315	0,529263	5
A4	0,050996	0,04978	0,030872	0,059893	-0,04842	0,074417	0,091687	0,094463403	0,507458	6
A5	0,048173	0,050981	0,052801	0,046614	-0,04521	0,058901	0,104687	0,088217875	0,457312	7
A6	0,045486	0,045208	0,045818	0,046614	-0,04232	0,04729	0,104516	0,083626344	0,444485	8
A7	0,034025	0,035326	0,033678	0,113146	-0,03398	0,022352	0,132587	0,049933451	0,273577	11
A8	0,026356	0,029923	0,026368	0,099868	-0,02596	0,003478	0,135769	0,061925417	0,313238	10
A9	0,012414	0,01607	0,010835	0,099868	-0,02214	0,017181	0,118316	0,086578918	0,422553	9
A10	0,004099	0,00531	0,00359	0,07988	-0,016	0,037701	0,089398	0,11130551	0,554576	3
A11	0,002817	0,004825	0,00579	0,076805	-0,01636	0,053862	0,073727	0,117789315	0,615034	1
PIS	0,002817	0,004825	0,00359	0,039905	-0,016	0,117652				
NIS	0,056575	0,053799	0,061553	0,113146	-0,05657	0,003478				

Fonte: Autores (2021)

O ranqueamento final das alternativas pode ser observado na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Ranking final das alternativas.

Ranking	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
Alternativa	A11	A1	A10	A2	A3	A4	A5	A6	A9	A8	A7

Fonte: Autores (2021)

Analisando o resultado, a melhor alternativa foi a A11 (100% de isolamento), seguida da alternativa A1 (0% de isolamento), logo após a alternativa A10 (90% de isolamento), assim por diante. Foi comprovado então que o cenário de lockdown (isolamento total) é a melhor alternativa em situações que os pesos de importância para os critérios epidemiológicos são fortes e os econômicos fracos ou medianos.

5. Conclusão

O presente artigo utilizou dois métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão combinados, o método TOPSIS e o método CRITIC, com o intuito de assistir a tomadores de decisão no combate à disseminação do vírus da COVID-19. Para este fim utilizou-se dados fornecidos pelo modelo COVID-ABS para a elaboração de diferentes cenários manifestando condutas sociais distintas no enfrentamento da pandemia.

Uma das grandes vantagens de utilizar os dois métodos juntos é que o método CRITIC não depende do fator humano para gerar pesos; sua decisão é baseada somente em modelos matemáticos. Esse modo de operação em concordância com o TOPSIS para o ranqueamento dos cenários traz um resultado sem a influência de fatores externos que competem ao pensamento de um decisor.

As alternativas que obtiveram os melhores resultados apresentaram valores de coeficiente de proximidade próximos. A pesquisa obteve resultados dispersos quando comparada a pesquisa realizada por Souza et al. (2020), apesar de apresentar o mesmo primeiro lugar no ranking.

Mesmo utilizando dados reais na pesquisa, o presente artigo retrata um experimento realizado em um ambiente controlado com uma população limitada. Para trabalhos futuros, sugere-se a inclusão de novos fatores sociais, epidemiológicos e econômicos e outras combinações com diferentes métodos de análise multicritério.

6. Referências

Albahri, A. S., Al-Obaidi, J. R., Zaidan, A. A., Albahri, O. S., Hamid, R. A., Zaidan, B. B., Alamoodi, A. H. e Hashim, M. (2020). *Multi-biological laboratory examination framework for the prioritization of patients with COVID-19 based on integrated AHP and group VIKOR methods. International Journal of Information Technology and Decision Making*, 19(5), 1247-1269. doi:10.1142/S0219622020500285.

Alinezhad, A. e Khalili, J. (2019). *EVAMIX method. In New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)* (pp. 59-65). Springer, Cham, Suíça.

Ayala, N. F. e Frank, A. G. (2013). *Métodos de análise multicriterial: uma revisão das forças e fraquezas. XIII SEPROSUL – Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana*. Gramado, Brasil.

Costa, I., Junior, M., Maêda, S., Fávero, L., Costa, A., Corriça, J., Gomes, C. F. e Dos Santos, M. (2020). *Application of the AHP-TOPSIS-2N hybrid method for selection of an attack helicopter to be acquired by the Brazilian Navy*. 10.13033/isahp.y2020.018.

Costa, I., Sanseverino, A., Barcelos, M., Belderrain, M., Gomes, C. e Santos, M. (2021). *Choosing Flying Hospitals in the Fight Against the COVID-19 Pandemic: Structuring and Modeling a Complex Problem using the VFT and ELECTRE-MOR Methods. IEEE Latin America Transactions*, Vol. 19, No. 6, June 2021.

Cuevas, E. (2020). *An agent-based model to evaluate the COVID-19 transmission risks in facilities. Computers in Biology and Medicine*. Volume 121,2020,103827, ISSN 0010-4825,https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.103827.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G. e Papayannakis, L. (1995). *Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method*. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.

Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G. e Carignano, C. (2004). Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério de decisão. Thomson. São Paulo.

Gomes, L. F. A. M. e Gomes, C. F. S. Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério, 6ª edn. Atlas, São Paulo/SP, Brazil (2019).

Hwang, C. L. e Yoon, K. P. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications survey*. Springer-Verlag. New York.

Johns Hopkins University & Medicine. COVID-19 DATA IN MOTION. 2021. Web page. <https://coronavirus.jhu.edu/>. Acessado: 2021-05-13.

Krohling, R. A. e Souza, T. T. (2011). Dois exemplos da aplicação da técnica TOPSIS para tomada de decisão. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA, Visconde de Araújo*, 8, 31-35.

Lima Junior, F. R., Osiro, L. e Carpinetti, L. C. R. (2013). Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. *Gestão & Produção*, 20(4), 781-801.

Lima Junior, F. R. e Carpinetti, L. C. R. (2015). Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. *Gestão & Produção*, 22(1), 17-34.

Moser, C. A. e Yared, P. (2020). *Pandemic lockdown: The role of government commitment* (No. w27062). *National Bureau of Economic Research*.

Oliveira, A., Gomes, C. F., Clarkson, C., Sanseverino, A., Barcelos, M., Costa, I. e Dos Santos, M. (2021). *Multiple Criteria Decision Making and Prospective Scenarios Model for Selection of Companies to Be Incubated*. *Algorithms*. 14. 111. 10.3390/a14040111.

Organização Mundial da Saúde (2020). *Coronavirus Disease (COVID-19) – World Health Organization*. Geneva, Switzerland.

Pereira, L. S., Morais, D. C. e Figueira, J. R. (2020). *Using criticality categories to evaluate water distribution networks and improve maintenance management*. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102308. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102308>.

Reis, E. D. e Löbler, M. L. (2012). O processo decisório descrito pelo indivíduo e representado nos sistemas de apoio à decisão. *Revista de Administração Contemporânea*. Curitiba.

Sales, E. M. P., Santos, J. K. M., Barbosa, T. B. e dos Santos, A. P. (2020). Fisioterapia, Funcionalidade E Covid-19: Revisão Integrativa. *Cadernos ESP-Revista Científica da Escola de Saúde Pública do Ceará*, 14(1), 68-73.

Sayan, M., Sarigul Yildirim, F., Sanlidag, T., Uzun, B., Uzun Ozsahin, D. e Ozsahin, I. (2020). *Capacity evaluation of diagnostic tests for COVID-19 using multicriteria decision-*

making techniques. Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2020
doi:10.1155/2020/1560250.

Silva, M. C., Gomes, C. F., Souza, R. e Dos Santos, M. (2020). *TOPSIS-2NE's Proposal*. LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO. João Pessoa/PB.

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, 110088.

Singh, R., & Avikal, S. (2020). *COVID-19: A decision-making approach for prioritization of preventive activities. International Journal of Healthcare Management*, 13(3), 257-262.
doi:10.1080/20479700.2020.1782661.

Souza, L. P., Alves, M. A., Guimaraes, F. G., de Lima, P. C. e Silva, P. V. D. C. B. (2020). *Tomada de decisão multicritério para classificação de políticas de enfrentamento a covid-19*.

Wang, W. P. (2010). *A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. Applied Mathematical Modelling*, 34(10), 3130-3141.

Yang, Y., Li, C., Xue, W. e Kang, S. (2019). *Economic Benefit Evaluation Analysis for Distributed Energy Generation Projects Based on CRITIC-TOPSIS model. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 252 (2019) 032059. doi:10.1088/1755-1315/252/3/032059.

Yildirim, F. S., Sayan, M., Sanlidag, T., Uzun, B., Ozsahin, D. U. e Ozsahin, I. (2021). *Comparative evaluation of the treatment of COVID-19 with multicriteria decision-making techniques. Journal of Healthcare Engineering*, 2021 doi:10.1155/2021/8864522.