MODELO GIS-MCDM PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS AO SARS-COV-19

Arthur Pimentel Gomes de Souza
Universidade Federal de Pernambuco
arthurpgdesouza@hotmail.com

Amanda Gadelha Ferreira Rosa
Universidade Federal de Pernambuco
amandagadelharosa@hotmail.com

Ciro José Jardim Figueiredo
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
ciro.figueiredo@ufersa.edu.br

Caroline Maria de Miranda Mota
Universidade Federal de Pernambuco
carolmm@ufpe.br

RESUMO

Dados os crescentes números de contaminados e vítimas fatais do novo coronavírus em escala global e o contexto de crise socioeconômica, vê-se como necessária a execução de um processo decisório pautado na priorização de medidas efetivas no controle e combate à doença visto a inexistência de medicamentos de eficácia comprovada. Logo, entender que variáveis influenciam a dinâmica local de transmissão do vírus torna-se importante para a identificação de regiões mais vulneráveis para que operações de prevenção possam ser elaboradas. Assim, o presente artigo faz uso das ferramentas de informação geográfica e modelo de tomada de decisão multicritério (GIS-MCDM). Com o apoio de técnicas estatísticas, são avaliadas variáveis sociodemográficas e padrão de movimentação de pessoas de Recife. No sentido de incrementar a velocidade da elaboração do modelo, o estudo se fundamenta na prática de *data driven*.

PALAVRAS CHAVE. Covid-19. GIS-MCDM. Priorização de áreas.

Tópicos (Apoio a Decisão Multicritério; PO na Área de Saúde)

ABSTRACT

Given the increasing rates of Covid-19 infected people and fatal victims on a global scale and the context of socio-economic crisis, it is necessary to carry out a decision-making process based on the prioritization of effective measures to control and combat the disease given the lack of drugs of proven effectiveness. Thus, understanding the variables that influence the local dynamics of virus transmission becomes important for the identification of the most vulnerable regions so the prevention actions can be developed. Based on this assumption, this article applies geographic information tools and multi-criteria decision-making model (GIS-MCDM).

KEYWORDS. Covid-19. GIS-MCDM. Areas prioritization.

Paper topics (Multicriteria Decision Aid; OR in Health)

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

Identificado recentemente na cidade de Wuhan, na província chinesa de Hubei, o novo coronavírus vem ganhando destaque devido ao seu alto contágio e à ameaça que representa para os sistemas de saúde, agravados pelo primeiro epicentro da doença ser no local de maior fluxo de transportes da China [Singhal 2020]. Em termos práticos, implica-se em um número maior de agentes infectados e, portanto, transmissores do vírus SARS-CoV-2.

De ação direta sobre o sistema respiratório [Zhu et al 2020], e até então (2 de junho de 2020) sem remédios e/ou vacinas comercializáveis, o modo que se encontra para enfrentar a disseminação da doença baseia-se em medidas protetivas de curto e médio prazo como distanciamento social – e, em casos extremos, *lockdown* – incentivadas pelos próprios órgãos governamentais.

Tais políticas mostram resultados positivos [Chinazzi et al 2020] tanto do ponto de vista empírico, em que países europeus começam a voltar com suas atividades de acordo com protocolos sanitários, quanto do ponto de vista científico. Estudos têm demonstrado a relevância das ações de quarentena respaldada na modelagem de predição pela estimação da taxa de crescimento [Li et al 2020], desenvolvimento de *framework* baseado em equações diferenciais de primeira ordem [Ambikapathy e Krishnamurthy 2020], análise dos fatores de números de: pessoas suscetíveis, pessoas contaminadas que não estão em quarentena, contaminados em quarentena e casos confirmados [Zhao e Chen 2020] e ARIMA [Singh et al 2020a].

Concomitantemente aos modelos puramente matemáticos, a análise espacial do espalhamento da doença também ganha relevância e respalda os processos decisórios à medida que a apresentação de elementos visuais facilita a compreensão de cenários [Boulos 2020]. Dado o caráter dinâmico da propagação do Covid-19, os fatores tempo e mobilidade obtêm destaque [Linka et al 2020] devido às variações de tendência decorrentes da implementação gradual de políticas de manejo de disseminação do vírus. Contudo, pretende-se neste trabalho explorar o uso de modelos GIS-MCDM na atual conjuntura de pandemia num dado tempo t_i, uma avaliação estática.

Tendo em vista a aplicabilidade do GIS-MCDM em contextos de tomada de decisão espacial [Souza et al 2018][Figueiredo e Mota 2019], o presente trabalho tem como objetivo a aplicação de um modelo para o apoio a decisões de políticas públicas para o enfrentamento da Covid-19.

No contexto atual de pandemia, as ferramentas de visualização espacial têm sido utilizadas na elaboração de *dashboards* interativos, a exemplo pode-se mencionar o painel do estado de Pernambuco [SEPLAG 2020]. [Requia et al 2020] faz uso de GIS aliado ao método AHP para estimar os municípios brasileiros cujos casos excederão a capacidade do sistema de saúde. Contudo, pouco se tem de GIS-MCDM para identificação de vulnerabilidade local dados os aspectos característicos de áreas.

Para tanto, o estudo se vale da análise da vulnerabilidade local aos casos de contaminação pelo novo coronavírus na cidade de Recife, Pernambuco, cumprindo-se os seguintes requisitos: (1) seleção e coleta de dados, (2) entendimento da dinâmica de contágio da doença no local de estudo por meio de ferramental estatístico, (3) elaboração de modelo de decisão para identificação da vulnerabilidade dos bairros de Recife.

O texto está dividido em seis seções. A seção 2 apresenta um *overview* sobre GIS-MCDM. A seção 3 explana a metodologia utilizada. Na seção 4 são mostrados os resultados, enquanto na seção 5 levantam-se algumas discussões. Os agradecimentos são tratados na seção 6.

2. GIS-MCDM

Existe uma vasta gama de métodos multicritério voltados a diferentes finalidades, contextos e abordagens de aplicações. Eles podem ser combinados com métodos de estruturação de problemas para alinhar o modelo à estrutura de preferências do decisor e, assim, produzir resultados úteis [Marttunen et al 2017]. Cabe ao analista identificar abordagens adequadas à situação sob análise, que possibilitem um processo decisório colaborativo e de fácil compreensão para o decisor.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

No tocante a problemas de decisão que envolvem um arcabouço espacial, normalmente demanda-se avaliar múltiplos critérios, ocasionando desdobramentos econômicos, ambientais e demográficos sobre a sociedade. O GIS-MCDM (*Geographical Information System - Multi-criteria Decision Making*) surge como forma efetiva de integrar e transformar dados espaciais e julgamentos de um decisor, obtendo-se informações complementares. Deste modo, permite-se a execução de ações amparadas pela modelagem de preferências e, ao mesmo tempo, pela disposição visual de cenários [Malczewski 2006][Ozturk e Batuk 2011].

A aplicação da abordagem GIS-MCDM tem se mostrado interessante em estudos de ensaios de desastre de águas subterrâneas tendo em vista a tratativa qualitativa e quantitativa que consegue implementar à original técnica de catástrofe [Singh et al 2020b]. O GIS também tem sido integrado à abordagem multicritério na identificação de alternativas ambientalmente viáveis para instalar fazendas fotovoltaicas, possibilitando análise detalhada das restrições geográficas [Rediske et al 2020].

Recentemente modelos na área de segurança pública têm integrado a análise espacial à metodologia multicritério. [Pereira et al 2018] utilizaram o índice de Moran e o método PROMETHEE II a fim de identificar as áreas mais vulneráveis a homicídios em um bairro. [Rosa et al 2019] exploraram os fatores críticos à ocorrência de crimes patrimoniais mediante técnicas de regressão com o propósito de construir um modelo decisório via método DRSA para classificar os setores censitários quanto à vulnerabilidade.

[Figueiredo e Mota 2019] utilizaram GIS-MCDM para identificar áreas críticas em violência em um contexto de múltiplos decisores. [Mota et al 2020] desenvolveram um modelo com o intuito de apontar a vulnerabilidade e propensão a atos violentos de um conjunto de divisões territoriais, tendo como diferencial o emprego de GIS-MCDM a partir da análise *a priori* das preferências por meio de construto holístico.

A presente pesquisa apresenta um direcionamento holístico assim como o de [Mota et al 2020] para indicar localidades cuja população é mais vulnerável à propagação do Covid-19. Neste sentido utiliza-se um enfoque orientado por dados indicativos da organização socioeconômica e da dinâmica comercial destes locais, especialmente em uma situação de isolamento social. O estudo se apropria do método multicritério DRSA - *Dominance-based Rough Set Approach* - em conjunto com uma modelagem geográfica como meio de tornar visíveis os locais que requerem maior intervenção.

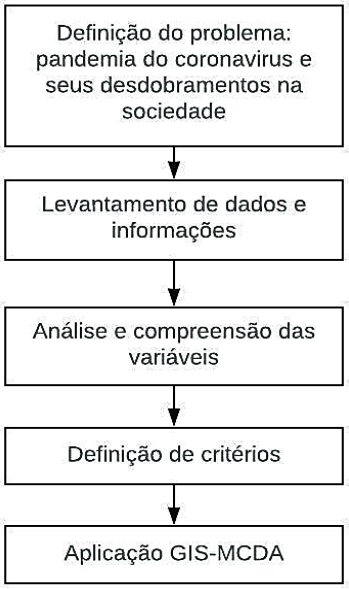
O DRSA é uma abordagem que segue os pressupostos elementares da Teoria dos Conjuntos Rough [Pawlak 1998], contudo estabelece uma novidade ao instituir elementos para a composição do princípio de dominância do qual se utiliza os métodos de decisão por meio da regra de decisão "se…, então" para expressar preferências [Greco et al 2002]. O decisor emite suas preferências acerca de um subconjunto das alternativas, ou de todas elas, a fim de identificar padrões de resposta, gerando-se regras para classificá-las e avaliando-se a coerência do próprio decisor [Chakar e Saad 2012].

3. Metodologia

O presente estudo visa o desenvolvimento de um modelo de apoio a decisão para classificar os bairros da cidade do Recife de acordo com o grau de propensão à disseminação da Covid-19, conforme estruturado na Figura 1. Com isto, busca-se apoiar os gestores públicos no planejamento de medidas de mitigação dos casos e intervenção nos locais mais críticos.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Figura 1: Metodologia



A delimitação da região de estudo decorreu das elevadas taxas de infecção pelo novo coronavírus na capital pernambucana até o dia 23 de abril de 2020 em comparação às demais cidades do estado. Desta forma, buscou-se explorar em quais regiões da cidade o vírus apresenta maior tendência de propagação devido a características locais no âmbito social, econômico e espacial.

Dados acerca de atributos dos bairros e da população residente foram obtidos mediante exploração na base do censo demográfico de 2010 [IBGE, 2016] e em plataformas georreferenciadas do Google. Com o propósito de agregar conhecimento ao processo decisório, aplicou-se as técnicas estatísticas de correlação e regressão linear múltipla aos fatores levantados. A seleção de variáveis regressoras via método *stepwise* possibilitou reduzir a um grupo diminuto de determinantes capaz de explicar a ocorrência dos casos confirmados.

Os aspectos identificados como relevantes às ocorrências da doença na análise estatística, mas que representam um elemento única de caracterização foram agregados mediante uma combinação linear ponderada. Neste caso, a solução indica uma variável *proxy* do fenômeno de interesse.

A fim de complementar a avaliação da região, recorreu-se à literatura sobre a epidemia de Covid-19 para identificar algum novo fator. Todavia, a revisão bibliográfica realizada por [Khalatbari-Soltani et al. 2020] evidencia a ausência de estudos que tratem de indicadores socioeconômicos; contudo, os autores apontaram a baixa renda como um elemento desencadeador de condições precárias de vida, as quais elevam o risco de infecção por patógenos. Isto é ratificado por uma breve análise espacial desenvolvida por [Ramírez e Lee 2020] que mostra uma associação significativa da renda com a taxa de incidência de Covid-19. Logo, a renda média dos residentes tornou-se critério, com uma relação negativa aos casos da doença.

Desta forma, utilizando os bairros como alternativas no modelo, foi possível avaliar o nível de vulnerabilidade de cada um deles a partir de uma abordagem *data driven*, ao passo que não houve um decisor direto. O estudo se valeu do processo de aprendizagem dos dados para geração de regras de decisão, partindo-se do pressuposto da avaliação do tipo "se… então…" oriunda da abordagem DRSA para a determinação das relações de dominância e classificação dos bairros [Greco et al. 2002] em três níveis distintos de vulnerabilidade (pouca vulnerabilidade, vulnerabilidade média e vulnerabilidade alta). Assim, obtém-se um indicativo para avaliar as áreas que demandam maior atenção do poder público quanto à intervenção e combate à doença.

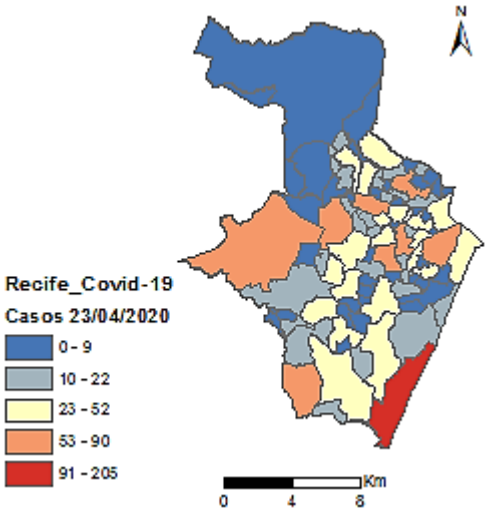
4. Resultados

4.1 Análise dos fatores determinantes

Buscou-se explorar as relações entre os casos de Covid-19 nos bairros do Recife com um conjunto de fatores característicos locais de ordem socioeconômica, demográfica e ambiental. Utilizando dados sanitários publicados no dia 23 de abril de 2020 e que estão representados na Figura 2, implementou-se testes de correlação de Pearson ρ entre os casos confirmados e 21 variáveis explanatórias. Destas, 15 são referentes a fatores como renda, grau de alfabetização, acesso a serviços públicos, concentração populacional e faixa etária dos residentes, enquanto as demais são serviços essenciais em funcionamento durante a pandemia.

Por meio do teste de correlação utilizando o coeficiente de Pearson ρ, verificou-se os fatores que apresentam associação linear com um nível de significância de 5%. Notou-se que os seguintes apresentaram uma relação positiva e forte – ou seja, ρ superior a 70% – com o acumulado de casos de Covid-19: número de residentes; número de alfabetizados; todas as faixas etárias, com destaque para pessoas acima de 60 anos com cerca de 90%; padarias; supermercados; lotéricas; e farmácias.

Figura 2: Distribuição dos casos confirmados em Recife



Implementaram-se dois modelos de regressão múltipla: o primeiro considerando os 15 determinantes socioeconômicos e demográficos, enquanto o outro inclui todos os 21 fatores iniciais. Em ambos houve a retirada de variáveis altamente correlacionadas por terem um Fator de Inflação de Variância, VIF, superior a 7,5; as restantes foram submetidas ao método *stepwise*, baseado na estatística de Akaike (AIC) durante a comparação dos modelos, para selecionar as características mais relevantes à explicação da disseminação do vírus.

No primeiro modelo, a combinação de residentes em domicílio próprio, acesso a esgoto, acesso a água encanada (a única com relação inversa aos casos) e residentes com mais de 60 anos de idade foi capaz de explicar 85% da variabilidade dos casos, conforme o coeficiente de determinação.

Quando as variáveis ambientais foram inseridas, obteve-se o conjunto: acesso a esgoto, residentes com mais de 60 anos, bancos, lotéricas, mercados, farmácias e residentes em domicílio alugado, sendo os últimos dois fatores os únicos com contribuição negativa ao volume de casos. Houve um acréscimo para 89% no poder explicativo com este modelo. Descartados na análise de regressão, os fatores padarias e terminais de ônibus foram reconsiderados visto que apresentam associação expressiva com as áreas detentoras de mais notificações.

A fim de agregar os seis elementos ambientais foi desenvolvido o índice Serviços essenciais de modo a compreender os bairros com maior potencial de movimentação de pessoas,

embora haja isolamento social. Para este fim, utilizou-se combinação linear ponderada. Como suporte à definição dos pesos analisou-se a faixa de valores de cada fator, o grau de importância relativo, as conclusões estatísticas, a distribuição espacial dos elementos e os conhecimentos prévios acerca da dinâmica local. Os seguintes pesos foram atribuídos aos fatores: padaria (0,17), bancos (0,20), terminais rodoviários (0,13), supermercados (0,23), farmácias (0,12).

4.2 Identificação das áreas

A princípio deve-se definir os critérios de avaliação para o modelo decisório. Os resultados estatísticos foram julgados relevantes também sob o ponto de vista das preferências de um decisor. Logo, os fatores acesso a esgoto, residentes com mais de 60 anos e residentes em domicílio alugado tornaram-se critérios. Tendo em vista a importância dos serviços essenciais para impulsionar a movimentação das pessoas em ambientes públicos, o índice relativo a estes serviços foi inserido no conjunto de critérios.

A classificação por três tipos de vulnerabilidade se deu em virtude da menor complexidade em se agrupar as alternativas em um número reduzido grupos, fazendo com que o aprendizado fosse mais rápido para uma análise inicial do espalhamento dos casos de indivíduos infectados na cidade de Recife.

Assim, ao aplicar o modelo foram obtidas 24 regras de decisão para classificação de vulnerabilidade das áreas analisadas (Tabela 1). As regras envolvem combinações de limiares do tipo >= ou <= aplicados aos critérios. Destas, 8 são dedicadas à vulnerabilidade alta, 12 à vulnerabilidade média e 4 à pouca vulnerabilidade. Juntas, as regras concedem uma avaliação com qualidade de 97,9%, o que é relevante visto o número relativamente pequeno de bairros, 94 unidades.

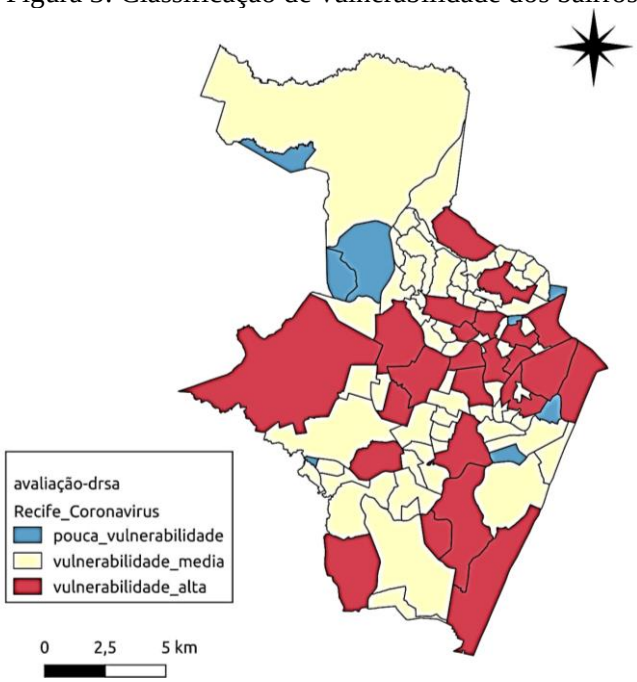
De acordo com o que verifica nos resultados plotados na Figura 3, os bairros de vulnerabilidade alta contabilizam um total de 24 locais, o que representava até a data da coleta dos dados aproximadamente 25,53% das alternativas.

Tabela 1: Regras de decisão

#	Regras	Decisão
1	dom_alug <= 0.111111	>= vulnerabilidade_alta
2	Score >= 0.233066696 & v60_ >= 3593.0	>= vulnerabilidade_alta
3	renda <= 1250.0 & sewage >= 0.419345 & v60_ >= 4009.0	>= vulnerabilidade_alta
4	Score >= 0.194256757 & sewage >= 0.887714 & v60_ >= 1246.0	>= vulnerabilidade_alta
5	sewage >= 0.758047 & v60_ >= 2674.0	>= vulnerabilidade_alta
6	sewage >= 0.941866 & v60_ >= 2129.0	>= vulnerabilidade_alta
7	sewage >= 0.915803 & v60_ >= 2380.0	>= vulnerabilidade_alta
8	dom_alug <= 0.150843 & v60_ >= 2803.0	>= vulnerabilidade_alta
9	v60_ >= 601.0	>= vulnerabilidade_media
10	renda <= 510.0	>= vulnerabilidade_media

11	sewage >= 0.423488 & v60_ >= 371.0	>=	vulnerabilidade_media
12	renda <= 710.0 & v60_ >= 467.0	>=	vulnerabilidade_media
13	Score >= 0.05489102 & v60_ >= 67.0	>=	vulnerabilidade_media
14	dom_alug <= 0.31856 & sewage >= 0.98338	>=	vulnerabilidade_media
15	dom_alug <= 0.214674 & sewage >= 0.720109	>=	vulnerabilidade_media
16	Score <= 0.001621622 & v60_ <= 335.0	<=	pouca_vulnerabilidade
17	sewage <= 0.266756 & v60_ <= 282.0	<=	pouca_vulnerabilidade
18	dom_alug >= 0.342 & v60_ <= 224.0	<=	pouca_vulnerabilidade
19	Score <= 0.021666667 & renda >= 1010.0 & sewage <= 0.204503	<=	pouca_vulnerabilidade
20	renda >= 711.0 & v60_ <= 839.0	<=	vulnerabilidade_media
21	Score <= 0.150664778 & v60_ <= 2048.0	<=	vulnerabilidade_media
22	Score <= 0.108218541 & dom_alug >= 0.206342	<=	vulnerabilidade_media
23	dom_alug >= 0.164677 & sewage <= 0.205465	<=	vulnerabilidade_media
24	renda >= 1020.0 & sewage <= 0.587713 & v60_ <= 3513.0	<=	vulnerabilidade_media

Figura 3: Classificação de vulnerabilidade dos bairros



Considera-se que tal percentual é alto e representa um risco considerável de expansão da doença para demais localidades tendo em vista que até 23 de abril de 2020, o município de Recife, apesar de já estar tomando as devidas providências de manutenção de locais essenciais ainda não estava em *lockdown*. Isto significa que ainda havia um número significativo de pessoas circulando e, dado o estado não estacionário da dinâmica de infecção, ao longo de um determinado período a hipótese de passagem de níveis baixos de vulnerabilidade para níveis superiores não pode ser descartada. Tal fato torna-se visível com o surgimento de novos casos e aumento de vítimas fatais no município e no estado do Pernambuco como um todo [SEPLAG 2020].

5. Discussões

A análise estatística dos casos de Covid-19 e seus determinantes contribui para elucidar fatores que propiciam a propagação do vírus. Assim, o poder público pode agir de forma preventiva ao invés de apenas atuar após o avanço da doença. Deve-se ater especialmente aos bairros que atraem indivíduos da vizinhança, a fim de entender os possíveis caminhos de propagação e evitar que outros lugares se tornem novos focos da doença.

Assim, fica claro que os autores também entendem que a análise de propagação se respalda no acompanhamento espaço-temporal dos casos de indivíduos contaminados com o Covid-19. E que, inicialmente objetivando verificar a aplicação do método GIS-MCDM, o presente estudo se desenvolve no sentido de buscar mais elementos para um modelo que espelhe melhor a realidade e suporte decisões coerentes com a evolução dos casos e que ao mesmo tempo seja sensível ao ponto de captar ganhos e perdas com políticas já implementadas e ações suplementares de combate e mitigação da doença.

6. Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem aos apoios da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Referências

Ambikapathy, B., & Krishnamurthy, K. (2020). Mathematical Modelling to Assess the Impact of Lockdown on COVID-19 Transmission in India: Model Development and Validation. *JMIR Public Health and Surveillance*, *6*(2), e19368.

Boulos, M. N. K. (2004). Descriptive review of geographic mapping of severe acute respiratory syndrome (SARS) on the Internet. *International journal of health geographics*, *3*(1), 2.

Chinazzi, M., et al. (2020). The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak. *Science*, *368*(6489), 395-400.

Figueiredo, C. e Mota, C. (2019). Learning Preferences in a Spatial Multiple Criteria Decision Approach: An Application in Public Security Planning. *International Journal of Information Technology & Decision Making (IJITDM)*, *18*(04), 1403-1432.

Greco, S., Matarazzo, B. e Slowinski, R. (2002). Rough approximation by dominance relations. *International journal of intelligent systems*, *17*(2), 153-171.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016). *Censo Demográfico - Resultados do universo*: características da população e domicílios. Disponível em: `https://www.ibge.gov.br/`. Acesso em: 17-03-2020.

Khalatbari-Soltani, S., Cumming, R. G., Delpierre, C. e Kelly-Irving, M. (2020). Importance of collecting data on socioeconomic determinants from the early stage of the COVID-19 outbreak onwards. *Journal of Epidemiology and Community Health*.

Li, Q., et al. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus–infected pneumonia. *New England Journal of Medicine*.

Linka, K., Peirlinck, M., Sahli Costabal, F. e Kuhl, E. (2020). Outbreak dynamics of COVID-19 in Europe and the effect of travel restrictions. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 1-8.

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science*, *20*(7), 703-726.

Marttunen, M., Lienert, J., & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. European Journal of Operational Research, 263(1), 1-17.

Mota, C. M. M., Figueiredo, C. J. J. & Pereira, D. V. S. (2020). Identifying areas vulnerable to homicide using multiple criteria analysis and spatial analysis. *Omega*, 102211.

Ozturk, D., & Batuk, F. (2011). Implementation of GIS-based multicriteria decision analysis with VB in ArcGIS. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, *10*(06), 1023-1042.

Pawlak, Z. (1998). Rough set theory and its applications to data analysis. *Cybernetics & Systems*, *29*(7), 661-688.

Pereira, D. V. S., Figueiredo, C. J. J., Mota, C. M. M. e Rosa, A. G. F. (2018). Análise de vulnerabilidade a homicídios em um bairro. In: *Anais do L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro.

Ramírez, I. J., & Lee, J. (2020). COVID-19 Emergence and Social and Health Determinants in Colorado: A Rapid Spatial Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(11), 3856.

Rediske, G., Siluk, J. C. M., Michels, L., Rigo, P. D., Rosa, C. B., & Cugler, G. (2020). Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil. *Energy*, *197*, 117167.

Requia, W. J., Kondo, E. K., Adams, M. D., Gold, D. R., & Struchiner, C. J. (2020). Risk of the Brazilian health care system over 5572 municipalities to exceed health care capacity due to the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *Science of the Total Environment*, 139144.

Rosa, A. G. F., Souza, A. P. G., Mota, C. M. M. e Figueiredo, C. J. J. (2019). Construção de um modelo multicritério para apoio a tomada de decisão em segurança pública. In: *Anais do LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Limeira.

SEPLAG. *COVID-19 no Mundo, no Brasil e em Pernambuco*. Disponível em: `https://dados.seplag.pe.gov.br/apps/corona.html`. Acesso em: 27-06-2020.

Singh, L. K., Jha, M. K., & Chowdary, V. M. (2020). Application of catastrophe theory to spatial analysis of groundwater potential in a sub-humid tropical region: a hybrid approach. *Geocarto International*, 1-20.

Singh, R. K., et al. (2020a). Prediction of the COVID-19 Pandemic for the Top 15 Affected Countries: Advanced Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Model. *JMIR public health and surveillance*, *6*(2), e19115.

Singhal, T. (2020). A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19). *The Indian Journal of Pediatrics*, 1-6.

Souza, A. P. G., Rosa, A. G. F., Sobreira Júnior, F. A. V. e Mota, C. M. M. (2018). Uma abordagem multicritério na avaliação da segurança em vias públicas. In: *Anais do XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Maceió.

Toro, P. D., Nocca, F., Renna, A., & Sepe, L. (2020). Real Estate Market Dynamics in the City of Naples: An Integration of a Multi-Criteria Decision Analysis and Geographical Information System. *Sustainability*, *12*(3), 1211.

Zhao, S., & Chen, H. (2020). Modeling the epidemic dynamics and control of COVID-19 outbreak in China. *Quantitative Biology*, 1-9.

Zhu, N., et al. (2020). A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings