



III MCSM

Modelagem Computacional no
Sertão Mineiro



PPGMCS
Programa de Pós-Graduação em
Modelagem Computacional e Sistemas

CAPACIDADE MÉDICA GERAL OU ATENÇÃO PRIMÁRIA? TOPSIS-ENTROPIA NOS 12 CRITÉRIOS DA SAÚDE NA RMBH

Arthur Leite Setragni¹, - arthursetragni@gmail.com

Aline Lunkes², - alinelunkesazl@gmail.com

Angélica C. G. Santos³, - angelicacidalia@gmail.com

Matheus Pereira Libório³, - m4th32s@gmail.com

Petr Iakovlevitch Ekel¹, - petr.ekel2709@gmail.com

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Belo Horizonte, MG, Brasil

²Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Alegrete, RS, Brasil

³Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Montes Claros, MG, Brasil

Abstract. *Mais médicos e leitos deveriam, em princípio, indicar melhor qualidade do sistema de saúde. Este trabalho testa essa expectativa nos 34 municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), construindo um Índice de Qualidade da Saúde Municipal (IQSM) via TOPSIS com pesos por entropia sobre os 12 critérios originais de estrutura, resultado e financiamento, sem exclusão de município ou critério. O IQSM ordena os 34 municípios numa escala contínua de proximidade relativa à solução ideal. Os pesos por entropia concentram 40,3% em mortalidade materna (C8), evento raro e volátil entre municípios pequenos, que domina o índice agregado; Itaguara, com o pior índice de internações por condições sensíveis à atenção primária (ICSAB) da amostra, ocupa a primeira posição do ranking por ter registrado zero óbitos maternos em 2022, enquanto Pedro Leopoldo e Sabará, com ICSAB favorável, ficam nas últimas posições por concentrarem óbitos maternos no ano. Esse resultado ilustra como um índice agregado, construído sobre todos os critérios disponíveis sem seleção prévia, pode mascarar o próprio padrão de capacidade versus resultado que este trabalho investiga, reforçando a necessidade de examinar as variáveis brutas, ou índices construídos com critérios cuidadosamente selecionados, em vez de um score único indiscriminado.*

Keywords: *Internações evitáveis, Atenção primária à saúde, TOPSIS, Entropia de Shannon, Índice composto de saúde*

1. INTRODUÇÃO

Avaliar sistemas de saúde por indicadores compostos é importante porque a condição de saúde de uma população é inerentemente multidimensional, envolvendo acesso, equidade, efetividade, eficiência, qualidade, responsividade e desfechos, e nenhuma medida isolada capta bem esse conjunto (Firza & Mazzitelli, 2025). Indicadores compostos surgem justamente para sintetizar múltiplas medidas em um score único que facilite visão global, comparação e comunicação pública (Libório et al., 2024).

O método TOPSIS é amplamente empregado na avaliação de sistemas de saúde para sintetizar múltiplos indicadores em um escore comparável entre diferentes unidades de análise, como países, regiões, municípios ou hospitais, com a posição relativa determinada pela proximidade a soluções ideais positiva e negativa (Hwang & Yoon, 1981). Estudos recentes, como Nasser & Alghawli (2024), demonstram a aplicabilidade dessa abordagem na avaliação e classificação de sistemas de saúde por meio da integração de múltiplos indicadores.

Neste trabalho, os 12 critérios originais de estrutura, resultado e financiamento são sintetizados num único Índice de Qualidade da Saúde Municipal (IQSM) via TOPSIS com pesos por entropia de Shannon, para os 34 municípios da RMBH, sem exclusão de município ou critério em nenhuma etapa. Internações por Condições Sensíveis à Atenção Primária (ICSAB) são, por definição, hospitalizações evitáveis quando a atenção primária funciona bem; Macinko et al. (2011) mostraram que oferta de atenção primária e oferta hospitalar têm influências diferentes sobre internações evitáveis, e Castro et al. (2015), em grandes municípios brasileiros, concluíram que a distribuição adequada de médicos e a mudança efetiva do modelo de atenção seguem sendo desafios centrais. Este trabalho investiga se um índice agregado sobre todos os critérios disponíveis, sem seleção prévia, reproduz ou obscurece esse padrão. Além desta introdução, a seção 2 apresenta o referencial teórico, a seção 3 os métodos, a seção 4 os resultados e a discussão, e a seção 5 conclui o trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O TOPSIS (do inglês *Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*) (Hwang & Yoon, 1981) classifica alternativas pela proximidade a uma solução ideal positiva e pelo afastamento de uma negativa, em seis etapas. A matriz de decisão $X = [x_{ij}]$, com $i = 1, \dots, n$ municípios e $j = 1, \dots, m$ critérios, é normalizada vetorialmente,

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

Os pesos w_j seguem a entropia de Shannon (Karagiannis & Karagiannis, 2020), que orienta pesos objetivos por conteúdo informacional, sem depender de julgamento de especialistas,

$$H'_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \quad p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad (2)$$

com $w_j = (1 - H'_j) / \sum_{k=1}^m (1 - H'_k)$; critérios cuja distribuição entre os municípios é mais próxima da uniformidade têm H'_j mais alta e recebem menor peso. A matriz ponderada é $v_{ij} = w_j h_{ij}$, e as soluções ideais positiva (A^+) e negativa (A^-) tomam, para cada critério, o melhor e o pior valor observado conforme a polaridade (benefício ou custo). A proximidade relativa de cada município é

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \quad D_i^\pm = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^\pm)^2}, \quad (3)$$

onde $CC_i \in [0, 1]$ e valores mais altos indicam maior proximidade ao ideal.

3. METODOLOGIA

A matriz de decisão reúne os 34 municípios da RMBH (Lei Complementar Estadual nº 89/2006) e os 12 critérios originais de saúde e financiamento, com dados de 2022

do Departamento de Informática do SUS (DATASUS) e do Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde (SIOPS), sem exclusão de município ou critério em nenhuma etapa. C1, C2, C3, C4, C9, C10, C11 e C12 são benefício (quanto maior, melhor); C5, C6, C7 e C8 são custo (quanto menor, melhor).

Aplicamos as Equações (1)–(3) sobre a matriz completa, obtendo o IQSM como a proximidade relativa CC_i de cada município.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pesos por entropia (Tabela 1) concentram 40,33% em C8 (mortalidade materna), evento raro e por isso mais volátil entre municípios pequenos, mais que o dobro do segundo maior peso, 18,20% em C5 (mortalidade infantil).

Tabela 1: Pesos por entropia dos 12 critérios

Critério	Peso	Critério	Peso
C8 Mort. materna	40,33%	C2 Leitos/1k	17,56%
C5 Mort. infantil	18,20%	C12 Gasto/Transf.	5,41%
C1 Médicos/1k	8,13%	C9 Despesa pc	3,15%
C6 ICSAB	2,60%	C11 Transf. SUS pc	1,79%
C3 Cobertura ESF	1,17%	C10 % Receita própria	0,36%
C4 Equipes ESF/1k	1,02%	C7 Mort. DCNT	0,27%

Itaguara, com o pior ICSAB da amostra (3,44%, mais de quatro desvios-padrão acima da média de 1,08%, achado central das versões anteriores deste estudo), ocupa a **primeira posição** do ranking do IQSM ($CC = 0,793$), porque registrou zero óbitos maternos em 2022 (C8= 0), o critério de maior peso. Em sentido oposto, Pedro Leopoldo e Sabará, com ICSAB favorável (0,59% e 1,42%, abaixo da média), ocupam as duas **últimas posições** ($CC = 0,277$ e $0,323$), por concentrarem os maiores valores de mortalidade materna da amostra (144,93 e 143,88 por 100 mil nascidos vivos, contra a média de 20,96). A Figura 1 mapeia o IQSM dos 34 municípios.

IQSM (TOPSIS-entropia, 12 critérios) por município

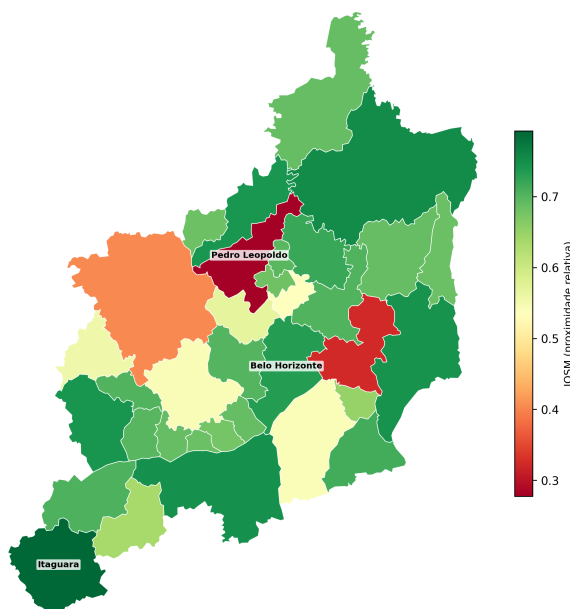


Figura 1: IQSM (TOPSIS-entropia, 12 critérios) por município da RMBH.

Esse resultado é o achado central deste trabalho: um índice agregado sobre todos os critérios disponíveis, sem seleção prévia, pode ser dominado por um único evento raro e

produzir um ranking que contradiz diretamente o padrão de ICSAB que motiva este estudo. A entropia atribui peso alto a C8 precisamente porque óbitos maternos, em municípios de poucos nascimentos, variam de forma extrema (muitos municípios com zero, poucos com valores muito altos), tornando o critério altamente “discriminante” no sentido estatístico sem que isso reflita, no caso de Itaguara, qualidade real do sistema de saúde. O IQSM aqui construído, portanto, não deve ser lido como medida da qualidade do sistema de saúde por si; ele demonstra que a agregação irrestrita de critérios, mesmo com pesos objetivos por entropia, exige seleção criteriosa das variáveis de entrada, ou suavização de eventos raros por triênio, para não mascarar o próprio fenômeno que o índice pretende medir.

Peso e importância medem coisas diferentes (Becker et al., 2017); o peso indica o quanto um critério contribui para o cálculo do IQSM, enquanto a importância, medida pela correlação de Spearman entre o IQSM e cada critério de entrada, com a polaridade de custo ajustada para benefício, na mesma direção “maior é melhor” usada na construção do índice, indica o quanto da informação desse critério está de fato representada no índice final. A Figura 2 mostra essa importância para os 12 critérios.

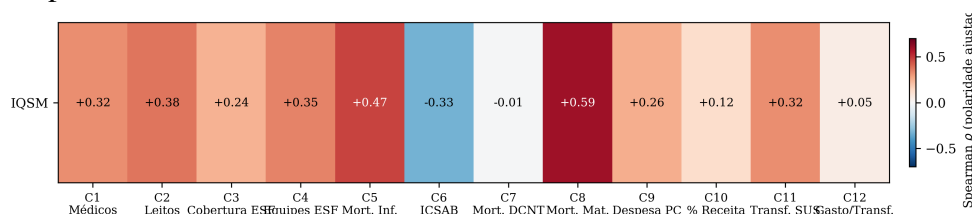


Figura 2: Importância de cada critério de entrada (correlação de Spearman com o IQSM, polaridade ajustada).

O contraste com os pesos da Tabela 1 é revelador. C8 (mortalidade materna), além do peso dominante (40,33%), tem importância forte e no sentido esperado ($\rho = +0,593$, $p < 0,001$), confirmando que domina o índice tanto na construção quanto no resultado. C6 (ICSAB), citado desde a introdução e com peso baixo (2,60%), tem importância moderada, mas no sentido **oposto** ao esperado ($\rho = -0,333$, $p = 0,054$), municípios com melhor ICSAB tendem a ter IQSM mais baixo, não mais alto. C12, com peso moderado (5,41%), tem importância praticamente nula ($\rho = 0,034$). C1 (médicos) e C2 (leitos), as duas variáveis de capacidade discutidas na introdução, têm importância positiva e na direção esperada ($\rho = 0,309$ e $\rho = 0,383$, esta última significativa a $p = 0,025$).

Esse resultado reforça, por um caminho independente, o achado central deste estudo: o IQSM, construído sobre os 12 critérios sem seleção prévia, não apenas deixa de representar bem o ICSAB (importância moderada e no sentido oposto ao esperado), como tem sua composição dominada por um evento raro (mortalidade materna) pouco relacionado à pergunta original deste trabalho, sobre capacidade médica geral e atenção primária.

5. CONCLUSÃO

O TOPSIS com entropia, aplicado aos 12 critérios completos sem exclusão de dados, produz um índice de qualidade da saúde municipal dominado por mortalidade materna (40,33% do peso total), um evento raro e estatisticamente volátil em municípios pequenos. Como consequência, Itaguara, o município com pior ICSAB da amostra em análises anteriores deste estudo, ocupa a primeira posição do ranking agregado, enquanto Pedro Leopoldo e Sabará, com ICSAB favorável, ocupam as últimas posições. A análise de importância (Becker et al., 2017) confirma o problema por outro caminho: a correlação entre o IQSM e o ICSAB, com polaridade ajustada, é negativa ($\rho = -0,333$), o oposto da direção esperada. Esse achado não invalida o método, mas

demonstra concretamente por que a seleção de critérios, ou ao menos a suavização de eventos raros, é necessária antes de agregar indicadores de saúde municipal por entropia; sem isso, o índice pode inverter exatamente o padrão que se pretende investigar.

Como melhorias, sugerem-se a suavização de C8 e demais eventos raros por triênio antes do cálculo da entropia, e a comparação sistemática entre o IQSM aqui obtido e os índices construídos com critérios selecionados nas demais análises deste estudo; como trabalho futuro, propõe-se testar limiares de exclusão de critérios de entropia extrema (por exemplo, H_j^t abaixo de um piso pré-definido) como salvaguarda metodológica para aplicações futuras do TOPSIS-entropia em dados de saúde municipal.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (grant nº OET-00243-26) e ao apoio do projeto APD-00860-25.

REFERENCES

- Becker, W., Saisana, M., Paruolo, P. e Vandecasteele, I. (2017), “Weights and Importance in Composite Indicators: Closing the Gap”, *Ecological Indicators*, vol. 80, 12-22.
- Castro, A.L.B., Andrade, C.L.T., Machado, C.V. e Lima, L.D. (2015), “Condições Socioeconômicas, Oferta de Médicos e Internações por Condições Sensíveis à Atenção Primária em Grandes Municípios do Brasil”, *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 31, no. 11, 2353-2366.
- Firza, N. e Mazzitelli, D. (2025), “Composite Indicators for Performance Evaluation in Healthcare”, em Gervasi, O. et al. (orgs.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2025*, LNCS vol. 15650, Springer, Cham.
- Hwang, C.L. e Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, Nova York.
- Karagiannis, R. e Karagiannis, G. (2020), “Constructing Composite Indicators with Shannon Entropy: The Case of Human Development Index”, *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 70, 100701.
- Libório, M.P., Karagiannis, R., Diniz, A.M.A., Ekel, P.I., Vieira, D.A.G. e Ribeiro, L.C. (2024), “The Use of Information Entropy and Expert Opinion in Maximizing the Discriminating Power of Composite Indicators”, *Entropy*, vol. 26, no. 2, 143.
- Macinko, J., de Oliveira, V.B., Turci, M.A., Guanais, F.C., Bonolo, P.F. e Lima-Costa, M.F. (2011), “The Influence of Primary Care and Hospital Supply on Ambulatory Care-Sensitive Hospitalizations Among Adults in Brazil, 1999-2007”, *American Journal of Public Health*, vol. 101, no. 10, 1963-1970.
- Nasser, A.A. e Alghawli, A.S.A. (2024), “Evaluation and Clustering of Health Security Performance in Africa: A Comparative Analysis through the Entropy-TOPSIS-K-means Approach”, *African Security Review*, vol. 33, no. 3, 330-348.