



TRILHA PRINCIPAL

# Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão

Renato A. Krohling, & Talles T.M. de Souza

**Resumo** — Neste trabalho, será aplicada a técnica de apoio à decisão conhecida como TOPSIS (técnica para avaliar o desempenho de alternativas através de similaridade com a solução ideal na sigla em inglês) para dois estudos de casos. Primeiro, para avaliar as melhores alternativas de contenção em caso de acidentes com derramamento de óleo no mar e em seguida para seleção das melhores alternativas ao avaliar um imóvel para alugar. Os resultados são promissores e demonstram a viabilidade da técnica.

**Palavras chave** — Tomada de decisão, análise multicritério, TOPSIS.

## I. INTRODUÇÃO

PROBLEMAS de tomada de decisão multicritério (inglês: *multicriteria decision making*) são geralmente caracterizados por um número finito de alternativas e por múltiplos critérios (atributos) muitas vezes conflitantes e por um vetor de pesos indicando a importância de cada critério. Muitos esforços e avanços significativos foram feitos para o desenvolvimento de várias metodologias para solucionar diversos problemas de tomada de decisão multicritério.

Uma técnica de tomada de decisão bastante usada, conhecida como TOPSIS (inglês: *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution*) é uma técnica para avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal [7]. De acordo com essa técnica, a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa [2, 6]. A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de *benefício* e minimiza os critérios de *custo*; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de *custo* e minimiza os critérios de *benefício*. Resumindo, a solução ideal positiva é composta de todos os melhores valores atingíveis dos critérios

de benefício; já a solução ideal negativa consiste em todos os piores valores atingíveis dos critérios de custo. Nos últimos anos TOPSIS vem sendo aplicado para problemas de tomada de decisão em diversas áreas no Brasil. Uma metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água, sendo agregados por meio dos métodos TOPSIS e ELECTRE TRI foi proposta em [1]. Em [5] foi utilizada a técnica TOPSIS para avaliação dos serviços de saneamento em municípios da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, MG. Em [10] foi desenvolvida um método de priorização de ações em vigilância na presença de agrotóxicos em águas superficiais que foi aplicada em sub-bacias. Nesse caso, TOPSIS foi aplicado para seleção e hierarquização das sub-bacias com maior potencial de contaminação. Em [11] foi usado TOPSIS para apoio à decisão na escolha do corredor de transporte para escoamento da produção de granéis agrícolas. Em [14, 15] foi proposta uma metodologia para orientar decisões estratégicas na implantação de projetos prioritários para a infraestrutura de transporte no Brasil usando TOPSIS. Em [8, 9] foi aplicado fuzzy TOPSIS para o problema de derramamento de óleo no litoral sul do ES. Em [16] foi investigada a seleção de gestores de fundos de investimento utilizando TOPSIS.

Nesse artigo, o objetivo será aplicar a técnica TOPSIS para dois estudos de casos: i) para avaliar as melhores alternativas de contenção em caso de acidentes com derramamento de óleo no mar para o litoral sul do Espírito Santo; ii) para seleção das melhores alternativas ao avaliar um imóvel para alugar. O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 será descrito a técnica TOPSIS. Resultados para dois estudos de caso são apresentados na seção 3. Conclusões e direções para trabalhos futuros finalizam o artigo na seção 4.

## II. TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

A matriz de decisão  $A$  composta por *alternativas* e *critérios* é descrita por

$$A = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & \left( \begin{matrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right) & & \end{matrix} \quad (1)$$

R.A. Krohling é Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Prof. colaborador do Programa de Pós-Graduação em Informática, PPGI, da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Av. Fernando Ferrari, s/n. Prédio CT VII CEP 29060-270, Vitória, ES (e-mail: [krohling.renato@gmail.com](mailto:krohling.renato@gmail.com)).

T.T.M. de Souza é aluno de Engenharia de Computação do Departamento de Informática da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Av. Fernando Ferrari, s/n. Prédio CT VII CEP 29060-270, Vitória, ES (e-mail: [talles@gmail.com](mailto:talles@gmail.com)).

onde  $A_1, A_2, \dots, A_m$  são alternativas viáveis,  $C_1, C_2, \dots, C_n$  são critérios,  $x_{ij}$  indica o desempenho da alternativa  $A_i$  segundo o critério  $C_j$ . O vetor de peso  $W = (w_1, w_1, \dots, w_n)$  composto pelos pesos individuais para cada critério  $C_j$  satisfaz  $\sum_{i=1}^n w_j = 1$ . Os dados da matriz  $A$  têm origens diferentes, por isso ela deve ser normalizada a fim de transformá-la numa matriz adimensional para que seja possível comparação entre os vários critérios. Neste trabalho, a matriz  $A$  é normalizada para cada critério  $C_j$  de acordo com:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \text{ com } i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Desta maneira, uma matriz de decisão normalizada  $A_n$  representa o desempenho relativo das alternativas e pode ser descrita por  $A_n = (p_{ij})_{m \times n}$ , com  $i = 1, \dots, m$ , e  $j = 1, \dots, n$ .

A seguir sera descrita a técnica de tomada de decisão multicritério TOPSIS.

#### A. TOPSIS (Técnica para avaliar o desempenho de alternativas através da similaridade com a solução ideal)

Em geral, os critérios de avaliação podem ser classificados em dois tipos: *benefício* e *custo*. O critério *benefício* significa que um valor maior é melhor enquanto que para o critério *custo* vale o inverso. O algoritmo para calcular a melhor alternativa segundo a técnica TOPSIS [6] é descrito de acordo com os seguintes passos:

**Passo 1:** Cálculo das soluções ideais positivas  $A^+$  (benefícios) e das soluções ideais negativas  $A^-$  (custos) da seguinte forma:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+) \quad (2)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-) \quad (3)$$

onde

$$p_j^+ = (\max_i p_{ij}, j \in J_1; \min_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (4)$$

$$p_j^- = (\min_i p_{ij}, j \in J_1; \max_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (5)$$

onde  $J_1$  e  $J_2$  representam respectivamente o critério *benefício* e *custo*.

**Passo 2:** Cálculo das distâncias Euclidianas entre  $A_i$  e  $A^+$  (benefícios) e entre  $A_i$  e  $A^-$  (custos) da seguinte forma:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2} \text{ com } i = 1, \dots, m. \quad (6)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2} \text{ com } i = 1, \dots, m. \quad (7)$$

**Passo 3:** Cálculo da proximidade relativa  $\xi_i$  para cada alternativa  $A_i$  em relação à solução ideal positiva  $A^+$  conforme:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (8)$$

A seguir será ilustrado o uso da técnica para dois estudos de caso.

### III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

#### A. Estudo de Caso 1: Derramamento de óleo no litoral sul do Espírito Santo

O primeiro estudo de caso considera um problema envolvendo um eventual acidente com derramamento de óleo no mar no litoral sul do Estado do Espírito Santo [3]. As informações da matriz de decisão apresentadas aqui estão contidas em [8, 9]. A matriz de decisão na Tabela 1 é composta por 10 alternativas e 2 critérios, dos quais  $C_1$  consiste em um critério de *custo*, e  $C_2$  em um critério de *benefício* de acordo com a metodologia usada para TOPSIS. A normalização da matriz de decisão foi realizada de acordo com a descrita para cada técnica conforme descrito na sessão anterior. O vetor de pesos [8] para os dois critérios  $W = (w_1, w_2) = (0.5107, 0.4893)$ . O resultado da aplicação da técnica TOPSIS está mostrado na Tabela 2. Pode-se notar que a alternativa 8 representa a melhor estratégia de acordo com TOPSIS.

#### B. Estudo de Caso 2: Avaliação de preço de imóveis

O segundo estudo de caso considera um problema envolvendo a avaliação de preço de aluguel de imóveis na cidade de volta Redonda, RJ. As informações da matriz de decisão apresentadas aqui estão contidas em [4, 13].

A matriz de decisão  $A$  na tabela 3 é composta por 15 alternativas e 8 critérios. A matriz de decisão normalizada está mostrada na tabela 4. O vetor de pesos está listado na tabela 5. Os resultados da aplicação da técnica TOPSIS esta mostrado na tabela 6. Pode-se notar que a alternativa 5 representa a melhor estratégia de acordo com TOPSIS.

Um estudo recente sobre avaliações de imóveis usando uma abordagem híbrida combinando TODIM e redes neurais foi proposta em [12]. Da mesma forma, TOPSIS também poderia ser usado. A técnica TOPSIS é baseada em métricas de distância, i.e., a melhor alternativa é aquela que está mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa.

## IV CONCLUSÕES

Neste artigo, foi aplicada a técnica de apoio à decisão conhecida como TOPSIS (*técnica para avaliar o desempenho de alternativas através de similaridade com a solução ideal* na sigla em inglês) para dois estudos de caso: i) para avaliar as melhores alternativas de contenção em caso de acidentes com derramamento de óleo no mar para o litoral sul do Espírito Santo; ii) para seleção das melhores alternativas ao avaliar um imóvel para alugar.

Para os estudos de caso investigados, pode-se observar a viabilidade de TOPSIS. A técnica TOPSIS é efetiva e muito simples em termos de implementação computacional. Uma de suas vantagens é que o algoritmo não exige sintonia de quaisquer parâmetros. Para matrizes de decisão com incertezas descritas por números *fuzzy* a técnica *fuzzy TOPSIS* [9] é indicada para tais problemas.

## AGRADECIMENTOS

Talles T.M. de Souza agradece o apoio da UFES pela bolsa de iniciação científica. Os autores também agradecem o Editor chefe e os dois revisores pelas sugestões que contribuíram para melhorar o artigo.

## REFERÊNCIAS

- [1] Castro, L.M.A. de. Proposição de metodologia para avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água. Tese de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2007.
- [2] Ertuğrul, I. & Karakaşoğlu, N. Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 36(1), pp. 702-715, 2009.
- [3] Ferreira, J.P. Análise de estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado no litoral do Espírito Santo utilizando modelagem computacional, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.
- [4] Gomes, L.F.A.M. & Rangel, L.A.D. An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties, *European Journal of Operational Research*, 193, 204-211, 2009.
- [5] Heller, P.G.B. Avaliação dos serviços de saneamento de quatro municípios da bacia hidrográfica do Rio das Velhas/MG. Uma abordagem da dimensão tecnológica. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2007.
- [6] Huang, J. Combining entropy weight and TOPSIS method for information system selection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, CIS 2008*, pp. 1281-1284, 2008.
- [7] Hwang, C. L. & Yoon, K. P. *Multiple attributes decision making methods and applications*. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- [8] Krohling, R.A. & Campanharo, V.C. Fuzzy TOPSIS para tomada de decisão multicritério: Uma aplicação para o caso de acidentes com derramamento de óleo no mar, Anais do XLI SBPO - *Simpósio Brasileiro em Pesquisa Operacional, SOBRAPO*, Porto Seguro, BA, de 1-4 de setembro, 2009.
- [9] Krohling, R.A. & Campanharo, V.C. Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea. *Expert Systems with Applications*, 38(4), pp. 4190-4197, 2011.
- [10] Menezes, C.T. Métodos para priorização de ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais: Um estudo em Minas Gerais. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia. Universidade Federal de

Minas Gerais. Minas Gerais, 2007.

- [11] Miranda, L.M. de. Contribuição a um modelo de análise multicritério para apoio à decisão da escolha do corredor de transporte para escoamento da produção de grãos agrícolas de Mato Grosso. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- [12] Moreira, D.S., Silva, R.S. & Fernandes, A.M.R. Engenharia de avaliações de imóveis apoiada em técnicas de análise multicritério e redes neurais artificiais, *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, n.6, pp. 49-58, 2010.
- [13] Rangel, L.A.D & Gomes, L.F.A.M. Avaliação multicritério de imóveis residenciais: Uso combinado dos métodos UTA-CR e TODIM. *Investigación Operativa*, v. XVII, p. 113-127, 2009.
- [14] Silva, R.B da. Análise estruturada das dimensões do desenvolvimento sustentável e a interdependência com a função transporte: Proposta de metodologia para orientar decisões estratégicas na implantação de projetos prioritários para a infraestrutura de transporte no Brasil. Tese de Doutorado em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.
- [15] Silva, R.B. da & Cavalcanti Netto, M.A. Uma estrutura de apoio à decisão para orientar a escolha de projetos prioritários para a infraestrutura de transporte no Brasil, Anais do XLII SBPO - *Simpósio Brasileiro em Pesquisa Operacional, SOBRAPO*, Bento Gonçalves, RS, de 30 de Agosto – 03 de Setembro, 2010.
- [16] Valladares, C.F.G. O processo para seleção de gestores de fundos de investimento utilizando o método multicritério TOPSIS. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Administração. Faculdades Ibmecc RJ, 2011.

Tabela 1. Matriz de decisão

Alternativas	$C_1$ ( $\times 10^3$ )	$C_2$ ( $\times 10^3$ )
A1	8.627	5.223
A2	9.838	4.023
A3	10.374	3.495
A4	8.200	5.659
A5	5.854	7.989
A6	8.108	5.790
A7	6.845	7.083
A8	5.738	8.238
A9	5.858	8.189
A10	6.269	7.808

Tabela 2. Ordenamento das alternativas

	$\xi_i$	Classificação
A1	0.3695	8
A2	0.1131	9
A3	0.0000	10
A4	0.4615	7
A5	0.9568	3
A6	0.4859	6
A7	0.7584	5
A8	1.0000	1
A9	0.9816	2
A10	0.8989	4

Tabela 3. Matriz de decisão [4]

Alternativas	Critérios							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	3	290	3	3	1	6	4	0
A2	4	180	2	2	1	4	2	0
A3	3	347	1	2	2	5	1	0
A4	3	124	2	3	2	5	4	0
A5	5	360	3	4	4	9	1	1
A6	2	89	2	3	1	5	1	0
A7	1	85	1	1	1	4	0	1
A8	5	80	2	3	1	6	0	1
A9	2	121	2	3	0	6	0	0
A10	2	120	1	3	1	5	1	0
A11	4	280	2	2	1	7	4	1
A12	1	90	1	1	1	5	2	0
A13	2	160	3	3	2	6	1	1
A14	3	320	3	3	2	8	2	1
A15	4	180	1	4	1	6	1	1

Tabela 4. Matriz de decisão normalizada [4]

Alternativas	Critérios							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	0.068	0.103	0.1	0.075	0.045	0.069	0.174	0
A2	0.091	0.064	0.067	0.05	0.045	0.046	0.087	0
A3	0.068	0.123	0.033	0.05	0.091	0.057	0.043	0
A4	0.068	0.044	0.067	0.075	0.091	0.057	0.174	0
A5	0.114	0.127	0.1	0.1	0.182	0.103	0.043	0.143
A6	0.045	0.031	0.067	0.075	0.045	0.057	0.043	0
A7	0.023	0.03	0.033	0.025	0.045	0.046	0	0.143
A8	0.114	0.028	0.067	0.075	0.045	0.069	0	0.143
A9	0.045	0.043	0.067	0.075	0	0.069	0	0
A10	0.045	0.042	0.033	0.075	0.045	0.057	0.043	0
A11	0.091	0.099	0.067	0.05	0.091	0.08	0.174	0.143
A12	0.023	0.032	0.33	0.025	0.045	0.057	0.087	0
A13	0.045	0.057	0.1	0.075	0.091	0.069	0.043	0.143
A14	0.068	0.113	0.1	0.075	0.091	0.092	0.087	0.143
A15	0.091	0.064	0.033	0.1	0.045	0.069	0.043	0.143

Tabela 5. Pesos atribuídos aos critérios [4]

Critérios	Pesos atribuídos	Pesos normalizados
C1	5	0.25
C2	3	0.15
C3	2	0.10
C4	4	0.20
C5	1	0.05
C6	2	0.10
C7	1	0.05
C8	2	0.10

Tabela 6. Ordenação das alternativas

	$\xi_i$	Classificação
A1	0.5414	7
A2	0.3432	10
A3	0.3851	9
A4	0.4547	8
<b>A5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
A6	0.1364	12
A7	0.2609	11
A8	0.5627	5
A9	0.0896	14
A10	0.1200	13
A11	0.8209	2
A12	0	15
A13	0.5565	6
A14	0.8139	3
A15	0.6582	4