

Seleção de materiais com métodos de decisão multicritério TOPSIS e VIKOR 2-tuple

Material selection with TOPSIS and VIKOR 2-tuple multicriteria decision making methods

Thiago Mateus do Nascimento*, Dalmarino Setti†

RESUMO

A seleção de materiais é uma etapa fundamental no desenvolvimento dos projetos de Engenharia nas suas diversas modalidades. O modelo computacional linguístico *2-tuple* tem sido amplamente utilizado no processamento de informação linguística. Este artigo tem por objetivo aplicar os métodos TOPSIS e VIKOR *2-tuple* na etapa de classificação da seleção de materiais para um suporte de ferramenta (*tool holder*) para uma fresadora. Os materiais estudados foram selecionados por meio de um método de triagem linguístico *2-tuple*, no qual resultou em um conjunto de vinte materiais candidatos para a etapa de classificação. Foram utilizados cinco critérios de classificação para a seleção do material: módulo de elasticidade, resistência a tensão de compressão, tenacidade a fratura, coeficiente de perda mecânica e dureza. Os materiais melhor colocados em ambos os métodos TOPSIS e VIKOR *2-tuple* foram: superliga à base de cobalto MP159 material (M2), aço de alta liga AF1410 material (M3), aço Fe-5Cr-Mo-V material (M5), liga de níquel-cromo HASTELLOY X material (M13) e liga de tungstênio-níquel-cobre CMW 1000 material (M19). Considerando o custo comparativo dos materiais, os aços AF1410 material (M3) e Fe-5Cr-Mo-V material (M5) foram considerados os melhores materiais para fabricar o suporte de ferramenta (*tool holder*).

Palavras-chave: seleção de materiais, métodos de tomada de decisão, *2-tuple*, TOPSIS, VIKOR.

ABSTRACT

The materials selection is a fundamental step in the development of engineering projects in their various modalities. The 2-tuple linguistic computational model has been widely used in processing linguistic information. This paper aims to apply the TOPSIS and VIKOR 2-tuple methods in the classification step of material selection for a tool holder for a milling machine. The materials studied were selected using a 2-tuple linguistic screening method, resulting in twenty candidate materials for the classification step. Five ranking criteria were used for material selection: modulus of elasticity, compressive stress strength, fracture toughness, mechanical loss coefficient, and hardness. The top-ranked materials in both TOPSIS and VIKOR 2-tuple methods were: cobalt-based superalloy MP159 material (M2), high alloy steel AF1410 material (M3), Fe-5Cr-Mo-V steel material (M5), nickel-chromium alloy HASTELLOY X material (M13) and tungsten-nickel-copper alloy CMW 1000 material (M19). Based on the cost of the materials, AF1410 material (M3) and Fe-5Cr-Mo-V material (M5) were considered the best materials to fabricate the tool holder.

Keywords: material selection, decision making methods, *2-tuple*, TOPSIS, VIKOR.

1 INTRODUÇÃO

Os projetos de Engenharia possuem objetivos específicos de desempenho, custo e durabilidade. Em vários casos esta limitação ocorre devido ao material selecionado em sua aplicação, isto demanda um estudo detalhado em cima desse tema. Para o desenvolvimento da seleção de materiais, durante os diferentes projetos se requer conhecimento das funções específicas de cada componente ou produto em desenvolvimento, portanto, vários critérios devem ser levados em consideração. Uma seleção realizada de forma equivocada

*Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil; tmascimento@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco; dalmarino@utfpr.edu.br



pode acarretar efeitos e reações negativas como diminuição de produtividade, lucro e até mesmo a reputação da empresa (CHATTERJEE; CHAKRABORTY, 2011). Sendo assim, vários métodos de seleção de materiais foram estudados e desenvolvidos, dos quais, a utilização dos métodos de tomada de decisão baseados no modelo linguístico *2-tuple* se mostram promissores (SETTI *et al*, 2019; LIU; LIU; WU, 2013).

Este trabalho tem como questão: os métodos de tomada de decisão TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*) e VIKOR (*Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) *2-tuple* podem ser aplicados a seleção de materiais? Este trabalho objetiva aplicar os métodos TOPSIS e VIKOR *2-tuple* na etapa de classificação da seleção de materiais para um suporte de ferramenta (*tool holder*), estudo de caso desenvolvido por Çalişkan *et al* (2013) com os métodos TOPSIS e VIKOR convencionais.

2 MÉTODOS

2.1 Modelo Computacional Linguístico *2-tuple*

Introduzido por Martínez e Herrera (2000), sendo utilizado para elevar a acurácia da computação linguística. Este modelo simbólico realiza a extensão do uso de índices para modificar a representação da aproximação linguística *fuzzy*, incluindo um novo parâmetro à representação linguística básica.

2.1.1 Definição 1 (Herrera e Martínez, 2000, 2001)

A tradução simbólica é um valor numérico acessado entre $[-0,5; 0,5)$ que se refere a diferença de informação na contagem de informação β , avaliada no intervalo $[0; g]$ do conjunto S e o valor mais próximo de $\{0; \dots; g\}$, que indica o índice do termo linguístico mais próximo em S .

Este modelo define um conjunto de funções de transformação entre valores numéricos e a variável linguística *2-tuple*, facilitando os processos computacionais.

2.1.2 Definição 2 (Herrera e Martínez, 2000, 2001)

Sendo $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ um conjunto de termos linguísticos e $\beta \in [0, g]$ um valor que suporta o resultado de uma operação de agregação simbólica. Uma variável linguística *2-tuple* que expressa a informação equivalente a β , considerando que $\Delta: [0, g] \rightarrow \bar{S}$, é obtida com $\Delta(\beta) = (s_i, \alpha)$, sendo que s_i é o termo com índice $i = \text{round}(\beta)$ e $\alpha = \beta - i$, $\alpha \in [-0,5; 0,5)$, portanto, temos:

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha \quad (1)$$

com *round* definindo que o índice i representa o inteiro mais próximo de β , e α sendo o valor numérico.

2.2 Método TOPSIS *2-tuple*

O método TOPSIS, descrito por Hwang e Yoon (1981), é utilizado para avaliar o desempenho de múltiplos atributos para identificar soluções por similaridade a partir de um conjunto finito de alternativas, sendo que, a alternativa escolhida deve possuir a menor distância possível com a solução positiva ideal (A^+) e a maior distância possível da solução ideal negativa (A^-). O método TOPSIS foi adaptado para o modelo *2-tuple* por Wei (2010), a versão desse autor foi adequada ao desenvolvimento deste trabalho, Eq. (7).

Começamos estabelecendo um conjunto de termos linguísticos a serem utilizados no processamento de informações. Então, converter as variáveis linguísticas *2-tuple* para o seu equivalente β utilizando a Eq. (1).

Identificamos as soluções positivas e negativas ideais percorrendo a Eq. (2) e Eq. (3).



$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} | j \in J2), |i = 1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} | j \in J2), |i = 1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

sendo $J1$ o conjunto dos critérios de benefício e $J2$ o conjunto dos critérios de custo. Em seguida, utilizamos a Eq. (4) e Eq. (5) para calcular a distância entre os termos e as soluções positivas e negativas ideais.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^n |\beta_{ij} - \beta_j^+| * w \quad (4)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n |\beta_{ij} - \beta_j^-| * w \quad (5)$$

sendo w o peso do critério. Então, obtemos a semelhança com a solução positiva ideal com a Eq. (6).

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (6)$$

2.3 Método VIKOR 2-tuple

Proposto inicialmente por Opricovic e Tzeng (2004). Este método avalia o benefício (S_j) e o prejuízo (R_j) relativo a cada alternativa. O VIKOR 2-tuple foi proposto por Wu *et al.* (2015), versão utilizada neste trabalho.

Iniciamos convertendo a informação linguística 2-tuple para seu equivalente em β . Em seguida, iniciamos a aplicação do método identificando as melhores (f_i^+) e as piores (f_i^-) alternativas dos critérios definidos.

$$f_i^+ = \left\{ \left(\max_j f_{ij} | i \in I1 \right), \left(\min_j f_{ij} | i \in I2 \right) | j = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (7)$$

$$f_i^- = \left\{ \left(\min_j f_{ij} | i \in I1 \right), \left(\max_j f_{ij} | i \in I2 \right) | j = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (8)$$

com $I1$ representando os critérios de benefício e $I2$ representando os critérios de custo.

O próximo passo é calcular os valores de S_j e R_j para cada alternativa, sendo w_i o peso de cada critério.

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_i * (f_i^+ - f_{ij})}{f_i^+ - f_i^-} \quad (9)$$

$$R_j = \max_i \left[\frac{w_i * (f_i^+ - f_{ij})}{f_i^+ - f_i^-} \right] \quad (10)$$

Com o resultado da Eq. (10) e Eq. (11) podemos identificar os melhores e piores valores para cada S_j e R_j .

$$S^+ = \min_j S_j \quad (11)$$

$$S^- = \max_j S_j \quad (12)$$

$$R^+ = \min_j R_j \quad (13)$$

$$R^- = \max_j R_j \quad (14)$$

$$Q_j = \frac{v * (S_j - S^+)}{S^- - S^+} + \frac{(1-v) * (R_j - R^+)}{R^- - R^+} \quad (15)$$

O valor de v representa o peso da estratégia de seleção utilizada. Valores mais próximos de um priorizam o benefício e próximos de zero priorizam o prejuízo das alternativas. Por convenção, $v = 0,5$.

Com valores de Q_j , fazemos a classificação, quanto menor S_j , R_j e Q_j , melhor classificada é a alternativa. Os resultados são avaliados conforme Opricovic e Tzeng (2004) para se determinar a solução de compromisso.

2.4 Estudo de Caso de Seleção de Materiais: tool holder

O *tool holder* é um suporte que recebe múltiplos esforços, portanto, o material utilizado na fabricação deve possuir algumas propriedades específicas para exercer sua função durante a usinagem. As propriedades utilizadas como critério de seleção, segundo Çalişkan *et al.* (2013), são: módulo de elasticidade (YM), resistência a tensão de compressão (CS), tenacidade a fratura (FT), coeficiente de perda mecânica (MLC) e



dureza (H). No trabalho desses autores o critério de custo também foi considerado, porém neste trabalho o critério de custo não foi considerado na etapa de classificação dos materiais candidatos, pois o custo de um material é muito relativo, e existem variações de acordo com localidades, aplicações e disponibilidade, o que causa distorções na etapa de classificação, o custo pode ser avaliado na etapa de documentação do método de Ashby. O peso do critério custo foi diluído proporcionalmente entre os outros cinco critérios.

Diferente do trabalho de Çalişkan *et al.* (2013), o conjunto de materiais utilizados nesse trabalho foi obtido da dissertação de Daros (2021), desenvolvido triagem *2-tuple* com uma base de dados de 4000 materiais.

3 RESULTADOS

Os pesos para aplicação dos métodos TOPSIS e VIKOR *2-tuple* foram ajustados de acordo com a parcela individual do critério em relação a sua soma total. O resultado obtido está na Tab. 2.

Tabela 1 – Pesos dos critérios de decisão.

Critério	YM	CS	FT	MLC	H
Peso	0,3379	0,0916	0,2392	0,2183	0,1137

Fonte: A autoria própria (2021).

Os critérios de seleção e seus pesos (Tab. 1) foram adaptados para se obter uma etapa de classificação que priorize o desempenho dos materiais, desta maneira, na etapa de documentação do método Ashby (ASHBY, 2012), o custo dos materiais poderá ser analisado com base nos fatores de preço, acessibilidade do material, e o estado do mercado atual, o que torna o processo de seleção de materiais contextualizado com as condições econômicas locais. Os métodos TOPSIS *2-tuple* e VIKOR *2-tuple* foram aplicados a partir das informações apresentadas na Tab. 2 e por meio das equações apresentadas nas seções 2.2 e 2.3.

A Tabela 2 apresenta as propriedades dos materiais candidatos na forma de variáveis do modelo linguístico *2-tuple*. E os resultados da aplicação dos métodos TOPSIS e VIKOR *2-tuple*.

Tabela 2 – Propriedades dos materiais candidatos e a classificação dos materiais candidatos por método.

Material	Propriedades dos materiais em variáveis linguísticas <i>2-tuple</i>					TOPSIS 2- <i>Tuple</i>	VIKOR 2- <i>Tuple</i>
	YM	CS	FT	MLC	H	C_i^+	Q_j
M1	(s ₉ ; -0,449)	(s ₈ ; -0,410)	(s ₇ ; -0,300)	(s ₄ ; -0,487)	(s ₉ ; -0,387)	0,458 (14°)	0,401 (9°)
M2	(s ₉ ; -0,196)	(s ₉ ; -0,239)	(s ₁₀ ; -0,500)	(s ₂ ; -0,083)	(s ₉ ; -0,244)	0,641 (3°)	0,104 (2°)
M3	(s ₉ ; -0,485)	(s ₉ ; -0,169)	(s ₁₀ ; -0,449)	(s ₄ ; -0,212)	(s ₉ ; -0,315)	0,752 (1°)	0,124 (3°)
M4	(s ₈ ; -0,033)	(s ₈ ; -0,458)	(s ₉ ; -0,482)	(s ₄ ; -0,300)	(s ₇ ; -0,307)	0,477 (12°)	0,879 (15°)
M5	(s ₉ ; -0,456)	(s ₉ ; -0,178)	(s ₉ ; -0,143)	(s ₄ ; -0,212)	(s ₉ ; -0,229)	0,701 (2°)	0,151 (4°)
M6	(s ₉ ; -0,500)	(s ₈ ; -0,400)	(s ₁₀ ; -0,479)	(s ₂ ; -0,083)	(s ₈ ; -0,321)	0,528 (8°)	0,408 (10°)
M7	(s ₈ ; -0,033)	(s ₇ ; -0,063)	(s ₈ ; -0,271)	(s ₄ ; -0,225)	(s ₇ ; -0,307)	0,398 (15°)	0,959 (17°)
M8	(s ₈ ; -0,033)	(s ₈ ; -0,377)	(s ₉ ; -0,411)	(s ₃ ; -0,125)	(s ₈ ; -0,310)	0,462 (13°)	0,907 (16°)
M9	(s ₈ ; -0,033)	(s ₆ ; -0,052)	(s ₈ ; -0,500)	(s ₅ ; -0,436)	(s ₆ ; -0,067)	0,377 (17°)	0,968 (18°)
M10	(s ₉ ; -0,471)	(s ₇ ; -0,114)	(s ₉ ; -0,339)	(s ₄ ; -0,462)	(s ₈ ; -0,470)	0,554 (7°)	0,326 (7°)
M11	(s ₈ ; -0,033)	(s ₉ ; -0,469)	(s ₉ ; -0,062)	(s ₃ ; -0,304)	(s ₈ ; -0,081)	0,515 (9°)	0,854 (14°)
M12	(s ₁₀ ; -0,478)	(s ₈ ; -0,102)	(s ₇ ; -0,500)	(s ₂ ; -0,500)	(s ₈ ; -0,424)	0,371 (20°)	0,376 (8°)
M13	(s ₉ ; -0,471)	(s ₈ ; -0,377)	(s ₁₀ ; -0,387)	(s ₄ ; -0,500)	(s ₇ ; -0,454)	0,615 (5°)	0,267 (5°)
M14	(s ₈ ; -0,033)	(s ₉ ; -0,426)	(s ₁₀ ; -0,497)	(s ₃ ; -0,409)	(s ₉ ; -0,387)	0,583 (6°)	0,785 (12°)
M15	(s ₈ ; -0,033)	(s ₈ ; -0,345)	(s ₉ ; -0,416)	(s ₄ ; -0,462)	(s ₈ ; -0,462)	0,507 (10°)	0,848 (13°)



M16	(s ₉ ; -0,471)	(s ₇ ; -0,246)	(s ₈ ; -0,252)	(s ₃ ; -0,459)	(s ₇ ; -0,148)	0,373 (18°)	0,533 (11°)
M17	(s ₈ ; -0,033)	(s ₇ ; -0,321)	(s ₈ ; -0,292)	(s ₄ ; -0,350)	(s ₇ ; -0,165)	0,384 (16°)	0,975 (19°)
M18	(s ₁₀ ; -0,386)	(s ₁₀ ; -0,445)	(s ₆ ; -0,261)	(s ₂ ; -0,083)	(s ₁₀ ; -0,494)	0,479 (11°)	0,304 (6°)
M19	(s ₁₀ ; -0,500)	(s ₈ ; -0,361)	(s ₁₀ ; -0,500)	(s ₂ ; -0,083)	(s ₈ ; -0,500)	0,638 (4°)	0,003 (1°)
M20	(s ₈ ; -0,033)	(s ₇ ; -0,125)	(s ₈ ; -0,187)	(s ₃ ; -0,107)	(s ₈ ; -0,401)	0,372 (19°)	1,000 (20°)

Legenda: (M1) AISI 1030, temperado em água e revenido a 205°C; (M2) superliga à base de cobalto, multifásica, MP159, tratada com solução, trefilada a frio e envelhecida; (M3) aço de alta liga, AF1410, tratado por solubilização e envelhecimento; (M4) aço de baixa liga de alta resistência, YS550, laminado a quente; (M5) liga intermediária, aço aeronáutico Fe-5Cr-Mo-V, temperado e revenido; (M6) superliga à base de ferro, liga cromo-níquel, A-286, tratada com solução e envelhecida; (M7) aço de fase complexa, YS500, laminado a frio; (M8) aço de fase dupla, YS600, laminado a frio; (M9) aço ferrítico-bainítico, YS330, laminado a quente; (M10) aço de baixa liga, AISI 5160, normalizado; (M11) aço martensítico, YS1200, laminado a quente; (M12) molibdênio, liga 363, TZM; (M13) liga de níquel-cromo, HASTELLOY X, tratada com solução; (M14) aço com endurecimento por prensa, 22MnB5, austenizado e temperado em água, não revestido; (M15) aço inoxidável, martensítico, AISI 416, trabalhado a frio; (M16) aço ferramenta, AISI S5, recozido; (M17) aço TRIP, YS400, laminado a frio; (M18) carboneto de tungstênio-cobalto (74,8); (M19) liga de tungstênio-níquel-cobre, CMW 1000; (M20) aço TWIP, YS500, laminado a frio.

Fonte: Daros (2021).

Çalışkan *et al.* (2013) obteve diferentes primeiros lugares para os métodos TOPSIS e VIKOR em seu trabalho, sua escolha foi o aço aeronáutico Fe-5Cr-Mo-V, temperado e revenido. Neste trabalho foram cinco os materiais melhor colocados em cada método, superliga à base de cobalto (M2), aço de alta liga, AF1410 (M3), aço aeronáutico Fe-5Cr-Mo-V (M5), liga de níquel-cromo, HASTELLOY X (M13) e liga de tungstênio-níquel-cobre, CMW 1000 (M19). Assim, qualquer desses cinco materiais poderia ser utilizado na fabricação do suporte de ferramenta (*tool holder*), a decisão poderia ser tomada com base no custo e disponibilidade. Dessa forma o material M3 aço de alta liga, AF1410, tratado por solubilização e envelhecimento, primeiro colocado no método TOPSIS *2-tuple* e terceiro colocado no método VIKOR *2-tuple*, se sobressaiu em alguns aspectos aos outros, pois, mesmo no método VIKOR *2-tuple* em que é o terceiro colocado, o seu valor de benefício ($S_3 = 0,329$) é melhor até que o benefício ($S_{19} = 0,331$) do primeiro colocado e o aço aeronáutico Fe-5Cr-Mo-V, temperado e revenido (M5) podem ser os materiais indicados para a confecção do *tool holder* em termos de propriedades mecânicas e de custo comparativo.

4 CONCLUSÃO

Com o objetivo de aplicar os métodos TOPSIS e VIKOR *2-tuple* na etapa de classificação da seleção de materiais para um suporte de ferramenta (*tool holder*) se destacam as seguintes conclusões: foi observada a convergência entre os cinco primeiros colocados em ambos os métodos *2-tuple*, entretanto, considerando o custo comparativo, o material M3, aço de alta liga, AF1410, tratado por solubilização e envelhecimento e o aço aeronáutico Fe-5Cr-Mo-V, temperado e revenido (M5) foram considerados os melhores materiais para fabricar o suporte de ferramenta (*tool holder*). Este estudo apresenta como principal contribuição o uso do critério de custos como critério final de seleção após a aplicação dos critérios técnicos na etapa de classificação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UTFPR – Pato Branco pelo auxílio financeiro fornecido por meio da concessão da bolsa de Iniciação Científica para a realização da pesquisa e desenvolvimento deste trabalho, e ao professor Dalmarino Setti pelo conhecimento e suporte que me foram passados durante todo o caminho percorrido até aqui.

REFERÊNCIAS

ASHBY, Michael. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. ISBN 978-85-352-4521-9.

CHATTERJEE, Prasenjit; CHAKRABORTY, Shankar. Material selection using preferential ranking methods. **Materials and Design**, [s. l.], v. 35, p. 384-393, 2012.

ÇALIŞKAN, H. KURŞUNCU, B. KURBANOĞLU, C. ŞEVKI Y. G. Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods. **Materials and Design**, [s. l.], v. 45, p. 473-479, 2013.

DAROS, R. **2SM: método de triagem multicritério linguístico para aplicação no processo de seleção de materiais**. 2021, 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco.

HERRERA, F., MARTINEZ, L. A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words. **IEEE Trans. Fuzzy Syst.** 8, 746–752, 2000.

HERRERA, F., MARTÍNEZ, L. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. **IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern.** 31, 227–234, 2001. <https://doi.org/10.1109/3477.915345>

HWANG, C. YOON, K. Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, 1981.

LIU, H. LIU, L. WU, J. Material selection using an interval 2-tuple linguistic VIKOR method considering subjective and objective weights. **Materials and Design**. [s. l.], v. 52, p. 158-167, 2013.

OPRICOVIC, S., TZENG, G. H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational research**, v. 156, n. 2, p. 445-455, 2004.

SETTI, D.; VERONA, M. N; MEDEIROS, B. B.; RESTELLI, A. Materials selection using a 2-tuple linguistic multi-criteria method. **Materials Research**, v. 22 (suppl. 1), 2019.

WEI, G. W. (2010). Extension of TOPSIS method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information. **Knowledge and Information Systems**, v. 25, n. 3, p. 623–634.

WU, Z.; XU, K.; ZHONG, L. A consensus based VIKOR method using the 2-tuple linguistic model. In: Xu J., Nickel S., Machado V., Hajjiyev A. (eds) **Proceedings of the Ninth International Conference on Management Science and Engineering Management. Advances in Intelligent Systems and Computing**, vol 362. Berlin: Springer Verlag, 2015. p. 435-446.