

USO DE PROGRAMAS PARA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE EQUIPAMENTOS

SOFTWARE APPLICATION FOR MULTICRITERIA ANALYSIS OF EQUIPMENT

Data de entrega dos originais à
redação em: 25/02/2016,
e recebido para diagramação
em: 30/11/2016

Raffael Celestino Lima¹
Elcio Rodrigues Aranha²
Sérgio Ricardo Lourenço³

A busca para definir e escolher o equipamento correto para um determinado processo levou à criação de numerosas metodologias e programas computacionais, entretanto esses são sensíveis a influências econômicas, técnicas e culturais, gerando defasagens entre seus resultados corroborando com a necessidade de aplicação de diversos métodos simultaneamente no mesmo cenário. Nesse estudo são abordados métodos e programas para a seleção de equipamentos utilizando um processo de caracterização, apuração e classificação através de três técnicas distintas provenientes dos métodos de apoio à tomada de decisão multicritério, MCDM (Multiple-criteria decision-making). As técnicas escolhidas são a Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com Solução Ideal, TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), Método de Organização e Classificação de Preferências por Enriquecimento de Validações, PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) e Técnica de Simples Classificação com Múltiplos Atributos, SMART (Simple Multi-Attribute Ranking Technique) e seus programas de apoio. Através da aplicação das técnicas será comprovada ou não a funcionalidade destes métodos para uma aplicação generalista de seleção de equipamentos. Este artigo teve apoio financeiro do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do IFSP.

Palavras-chave: Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios. Seleção de Equipamentos, Análise Multicritério. Programas de apoio à Tomada de Decisão.

The quest to define and choose a machine using an auditable and reproducible method for a given process led the creation of numerous methodologies and computer programs, although these are sensitive to economical, technical and cultural influences, creating gaps on their results creating the necessity of applying different methods simultaneously on the same scenario. On this study methods and software are used on equipment's selection using a characterization, calculation and classification process with three different techniques from multiple-criteria decision-making methods (MCDM). The chosen techniques used are Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) and Simple Multi-Attribute Ranking Technique (SMART) and their support software. The application of those techniques will confirm, or not, the functionality of these method for a general application where an equipment must be selected. This study has the financial support from Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do IFSP.

Keywords: Multiple Criteria Decision Making, Device Selection, Multicriteria Analysis. Support Software for Decision Making.

1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e o aumento da oferta de equipamentos similares permitiu que a seleção de equipamentos pudesse ser amplamente realizada, a necessidade por aumento da produção, qualidade e controle de processos em diversos setores fez com que as ferramentas de seleção, que eram rudimentares, imprecisas e improdutivas, fossem desenvolvidas de forma a suportar critérios mais abrangentes e restritivos para classificação e seleção. A exigência por um melhor controle fomentou as melhorias tanto nos equipamentos como nas ferramentas de seleção.

Se as ferramentas são mais precisas e propiciam formas mais eficientes de seleção o problema passa a ser verificar qual dos métodos de seleção disponível é mais apropriado para uma situação específica. Este trabalho procura identificar um método passível de reprodução que possa identificar e classificar equipamentos de um grupo de estudos a partir de características discrepantes.

A seleção de equipamentos é um processo onde diversos fatores devem ser levados em conta para encontrar o melhor equipamento para uma determinada aplicação. Em função da diversidade de fatores e características para a seleção é aconselhável o uso dos métodos de apoio à tomada de decisão multicritério, MCDM (*Multiple-criteria decision-making*) para a execução da tarefa de seleção.

Apesar dos numerosos métodos MCDM disponíveis não há estudo que comprove um método consagrado para seleções específicas de equipamento. Por conta desta indeterminação este trabalho utiliza três técnicas distintas para a seleção de equipamentos em um caso particular, as técnicas utilizadas são a Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com Solução Ideal, TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), Método de Organização e Classificação de Preferências por Enriquecimento de Validações, PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) e Técnica de Simples Classificação com Múltiplos Atributos, SMART (*Simple Multi-Attribute Ranking Technique*) bem como programas computacionais de apoio à aplicação dos métodos.

2 DESENVOLVIMENTO

Para o teste das técnicas e verificação de seus resultados foi realizado um ensaio no IFSP - Câmpus Cubatão para a classificação e seleção de um condicionador de ar para salas de aula do edifício. Foram identificados cinco modelos distintos de condicionadores de ar do tipo fenda (*split*). Três destes modelos já eram utilizados no campus e os demais equipamentos do cenário foram identificados pela capacidade total de refrigeração para atendimento das salas. A capacidade de refrigeração foi calculada em quilowatts (kW) através da Eq. (1), onde x representa a área da sala em metros quadrados (m^2) e y representa a quantidade estimada de pessoas dentro do ambiente a ser climatizado. O volume foi levado em conta de forma indireta uma vez que as salas possuem altura padronizada e inferior a três metros.

¹Tecnologia em Automação Industrial – Instituto Federal de São Paulo - Campus Cubatão

²Engenharia Elétrica – Universidade Santa Cecília, Licenciatura em Eletricidade, Eletrônica e Mecânica – CEFET – PR Unidade de Curitiba, Mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade de São Paulo – Escola Politécnica

³Engenharia de Produção Metalúrgica – Faculdade de Engenharia Industrial, Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho Universidade de São Paulo, Mestrado em Planejamentos de Sistemas Energéticos – Universidade Estadual de Campinas, Doutorado em Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas

$$f(x) = 150(x + y) \quad (1)$$

Os cálculos identificaram a necessidade de 7050 kW para que a refrigeração pudesse ser realizada de forma satisfatória. Os equipamentos identificados e selecionados atendem a esta característica. Para a aplicação do método foi elaborado um questionário para que as necessidades do IFSP em relação aos condicionadores de ar pudessem ser capturadas sem interferência do pesquisador. As premissas apuradas foram: pleno funcionamento do aparelho, capacidade de refrigeração máxima acima da identificada nos cálculos, eficiência energética (menor consumo de energia) e menor preço de mercado.

Os condicionadores de ar foram identificados através dos dados disponíveis no Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) e dos websites Horvath, Refrirede e Zoom.

Os dados recolhidos de cinco modelos de equipamentos são apresentados na Tab. (1).

Tabela 1. Modelos de condicionadores de ar e suas características

Características	Consumo (kW/h)	Consumo Mensal (kWh/mês)	Capacidade de refrigeração (kW)	Eficiência energética	Custo (R\$)
Modelos					
Modelo A	3,38	71,0	8,79	2,60	3.155,00
Modelo B	3,16	66,4	8,79	2,78	3.200,00
Modelo C	3,06	71,2	8,79	2,59	2.535,00
Modelo D	2,86	57,0	8,79	3,24	3.499,00
Modelo E	3,12	65,5	8,79	2,82	2.949,00

Fonte: Horvath, INMETRO, Refrirede e Zoom.

Através dos dados recolhidos dos equipamentos foi possível estimar critérios para aplicação das metodologias, conforme premissas listadas por Lima Junior e Carpinetti (2015), que afirmam todos os critérios devem ser:

- Consistentes com as metas e objetivos da organização;
- Precisos;
- Possuírem nomes específicos;
- Calculados a partir dos atributos pertinentes;
- Universais e comparáveis a partir das condições de operação.

Após a definição dos critérios foi necessário atribuir pesos para cada uma das dimensões considerando a contribuição da característica para o atendimento das premissas definidas junto ao cliente no início do estudo.

2.1 APLICAÇÃO DA TOPSIS

Pode-se aplicar a metodologia TOPSIS, concebida por Hwang e Yoon (1981), a partir dos seguintes passos:

- Criação de uma matriz de decisão M , na qual todos os valores devem ser quantitativos, de acordo com a Eq. (2). As linhas e colunas devem representar alternativas e critérios (respectivamente), assim como m e n as quantidades alternativas e critérios.
- Definição de um vetor de pesos W de acordo com a Eq. (3), no qual os pesos w_j referem-se aos critérios que satisfazem a Eq. (4).

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1n} \\ m_{i1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{in} \\ m_{m1} & \dots & m_{mj} & \dots & m_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1n} \\ m_{i1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{in} \\ m_{m1} & \dots & m_{mj} & \dots & m_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m w_j = 1 \quad (4)$$

- Obter uma matriz de decisão R normalizada e ponderada através da Eq. (5) e dois vetores, para as soluções ideais (positiva e negativa) através dos melhores e piores valores dos critérios como demonstrado nas equações Eq. (6) e Eq. (7).

$$r_{ij} = m_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^m m_{ij}^2} \quad (5)$$

$$A^+ = \{ {}^{MAX}_j r_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, n \} = \{ r_1^+, r_2^+ \dots r_n^+ \} \quad (6)$$

$$A^- = \{ {}^{MIN}_j r_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, n \} = \{ r_1^-, r_2^- \dots r_n^- \} \quad (7)$$

- Obter as distâncias D_i^+ e D_i^- entre os valores ponderados e normalizados da matriz R e os valores das soluções ideais positiva e negativa dos vetores A^+ e A^- como demonstrado na Eq. (8) onde X representa os valores da solução ideal positiva ou negativa.
- Calcular o coeficiente de aproximação (CA), de acordo com a Eq. (9).

$$D_i^X = \sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - r_j^X)^2} \quad (8)$$

$$CA_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (9)$$

- O último passo consiste na classificação das alternativas através dos valores do CA, de forma decrescente.

2.2 APLICAÇÃO DO PROMETHEE

O programa computacional utilizado consiste numa ferramenta de auxílio a aplicação do método MCDM já citado, PROMETHEE, sua aplicação é relativamente simples e utiliza uma interface intuitiva e organizada em tabelas onde todos seus recursos estão disponíveis.

Metodologia para utilização do método:

- Definir os critérios e suas características (unidades de medidas, tipo de variável, etc.);
- Definir se é preferível uma alternativa com valor máximo ou mínimo;
- Definir os pesos dos critérios;
- Definir o comportamento da função de cada critério (linear, em degrau, exponencial, etc.);
- Definir limiares do critério (porcentagem ou absolutos);
- Definir o nomes de todas as alternativas, comentários e outras características (opcionais);
- Preencher todos os dados referentes aos critérios e alternativas;

A classificação final pode ser conferida na forma de gráficos, tabelas ou listas. O procedimento permite a avaliação com auxílio da ferramenta *Visual PROMETHEE Business Edition*[®].

A Fig. 1 demonstra a tela de desenvolvimento do programa e os itens descritos.

	<input checked="" type="checkbox"/>					
Bertrand	Consumo	Consumo Me...	Capacidade ...	Eficiência en...	Custo	
Unit	kW	kW/h	kW		R\$	
Cluster/Group	●	◆	●	■	■	
Preferences						
Min/Max	min	min	max	max	min	
Weight	15,00	15,00	30,00	20,00	20,00	
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics						
Minimum	€ 2,86	57,0	7,50	2,59	2535	
Maximum	€ 3,38	71,2	8,79	3,24	3499	
Average	€ 3,12	66,2	8,53	2,81	3068	
Standard Dev.	€ 0,17	5,2	0,52	0,24	319	
Evaluations						
<input checked="" type="checkbox"/>	Modelo A	€ 3,38	71,0	8,79	2,60	3155
<input checked="" type="checkbox"/>	Modelo B	€ 3,16	66,4	8,79	2,78	3200
<input checked="" type="checkbox"/>	Modelo C	€ 3,06	71,2	8,79	2,59	2535
<input checked="" type="checkbox"/>	Modelo D	€ 2,86	57,0	8,79	3,24	3499
<input checked="" type="checkbox"/>	Modelo E	€ 3,12	65,5	8,79	2,82	2949

Figura 1. Aplicação do método utilizando o *Visual PROMETHEE Business Edition*[®].
Fonte: *Visual PROMETHEE Business Edition*[®].

2.3 APLICAÇÃO DA SMART

O *Bubble Chart Pro 6*[®] é um programa computacional de apoio à aplicação da técnica SMART que utiliza como interface uma tabela de entrada de parâmetros e a apresentação dos resultados.

O procedimento para utilização da ferramenta segue os seguintes passos:

- Definir todos os critérios;
- Definir os pesos de cada critério;
- Definir se é preferível uma alternativa com valor máximo ou mínimo;
- Definir o tipo de variável (quantitativa, qualitativa ou data);
- Criar alternativas para serem avaliadas.

A pontuação de cada alternativa pode ser conferida na coluna “Score”. Esta coluna também determina a classificação final das alternativas.

A Fig. 2 representa a tela de desenvolvimento do programa *Bubble Chart Pro 6*[®].

Sel.	No.	Name	Pic	Value	*A (15)	*B (15)	*C (30)	D (20)	E (20)
✓	1	Modelo D	Yellow	55,3	2.860	57.000	8.790	3.240	\$3.499
✓	2	Modelo C	Pink	52,92	3.060	71.200	8.790	2.590	\$2.535
✓	3	Modelo E	Green	52,91	3.120	65.500	8.790	2.820	\$2.949
✓	4	Modelo B	Red	50,86	3.160	66.400	8.790	2.780	\$3.200
	5	Modelo A	Orange	48	3.380	71.000	8.790	2.590	\$3.155
No.	5	Sum		260	15.580	331.100	43.950	14.020	\$15.338
		Median		52,9	3.120	66.400	8.790	2.780	\$3.155
		Mean		52	3.116	66.220	8.790	2.804	\$3.067,6
		Standard Deviation		2,7	187,3	5.770.79	0	265,76	\$356,72
		Maximum		55,3	3.380	71.200	8.790	3.240	\$3.499
		Minimum		48	2.860	57.000	8.790	2.590	\$2.535

Figura 2. Aplicação do método utilizando o programa *Bubble Chart Pro 6*®.
 Fonte: *Bubble Chart Pro 6*®.

3 RESULTADOS

Após aplicação das três técnicas obteve-se classificações com algumas variações, os resultados podem ser observados na Tab. 2.

Tabela 2. Classificações obtidas através dos métodos

Classificação \ Método	TOPSIS	PROMETHEE	SMART
1º	Modelo C	Modelo D	Modelo D
2º	Modelo D	Modelo C	Modelo C
3º	Modelo E	Modelo E	Modelo E
4º	Modelo B	Modelo B	Modelo B
5º	Modelo A	Modelo A	Modelo A

Pode-se afirmar que as classificações finais dos modelos em cada uma das metodologias possuem diversos pontos em comum. Os modelos “A”, “B” e “E” possuem a mesma classificação independentemente do método utilizado. Para os modelos “C” e “D” podemos identificar similaridade na classificação obtida nas metodologias PROMETHEE e SMART.

O índice de concordância geral entre as três técnicas foi superior a 86%, porém entre os métodos PROMETHEE e SMART houve 100% de concordância.

É importante ressaltar que apesar da divergência da TOPSIS em relação às demais metodologias usadas neste estudo a técnica TOPSIS já apresentou resultados idênticos em outros trabalhos. Entre os trabalhos anteriores e relevantes podemos citar o estudo de Zanakis (1998) com relação ao Procedimento Analítico Hierárquico, AHP (*Analytical Hierarchy Procedure*) e o estudo de Santana (1996) com relação ao AHP e a Eliminação e Escolha Expressando a Realidade, ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing the Reality*).

4 CONCLUSÃO

Após a aplicação de todas as técnicas foi apontada uma melhor classificação do Modelo “D” sobre os demais equipamentos. Apesar de haver divergências entre a TOPSIS e as demais técnicas o Modelo “D” apresentou as maiores pontuações nos critérios Consumo (kWh), Consumo Mensal

(kWh/mês) e Eficiência energética em todas as técnicas. Em função da convergência dos resultados pode-se inferir que os métodos MCDM são verazes, funcionais e passíveis de reprodução para aplicações de seleção equipamentos em casos específicos. Porém em função da divergência entre a TOPSIS e as demais, ressalta-se que independente do método MCDM usado ou problema abordado, suas classificações não devem ser usadas como solução final e sim como guias para a tomada de decisão, pois uma análise e entendimento dos resultados devem ser atribuídos a uma pessoa experiente e qualificada no tema da análise.

Importante lembrar que o uso desses métodos não deve tratar apenas das implicações imediatas como o menor custo do equipamento, mas sim de dimensões mais complexas do cenário da aplicação, por exemplo, a redução do consumo de energia, capacidade de refrigeração e eficiência energética. Todos os aspectos relevantes da aplicação devem ser levados em conta a partir das métricas e necessidades identificadas junto ao cliente no início dos trabalhos/ensaios.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia. Portaria IN-METRO/MDIC n. 410 de 19 de fevereiro de 2014. **Eficiência energética – Condicionadores de ar Split Hi-Wall**. Disponível em: <<http://goo.gl/wluSLU>> Acesso em: 16 julho 2015.

BUBBLE CHART PRO. **A Whole New Way of Looking at Your Projects**. Disponível em: <<http://www.bubblechartpro.com/>> Acesso em 03 setembro 2015.

HORVATH. **Cotação – Horvath Ar Concicionado**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <raffael.lima@icloud.com> em 17 de julho de 2015.

HWANG, C. L; YOON, K. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Berlin: Springer-Verlag, 1981. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>> Acesso em: 2 abril 2015.

LIMA JUNIOR, F. R. CARPINETTI, L. C. R. **Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores**. Revista Gestão & Produção, v. 22, n. 1, p. 17-34, Março. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1190>> Acesso em: 22 abril 2015.

PROMETHEE-GAIA. **PROMETHEE-GAIA software**. Disponível em: <<http://www.promethee-gaia.net/software.html>> Acesso em 03 setembro 2015.

REFRIREDE. **Ar Condicionado Split Midea Elite 30000 BTUs Frio 220 Volts**. Disponível em: <<http://goo.gl/5tQh5L>> Acesso em: 16 julho 2015.

SANTANA, E. A. **Múltiplos critérios: uma alternativa, apesar das fragilidades das soluções**. Congresso Internacional de Engenharia Industrial, 2. Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 1996.

WEBARCONDICIONADO. **Cálculo de BTU**. Disponível em: <<http://goo.gl/c6dJb>> Acesso em: 16 julho 2015.

ZANAKIS, S. H, et al. **Multi-attribute decision making: a simulation comparison of select methods**. European Journal of Operational Research, n. 107, p. 507- 529, 1998.

ZOOM. **Ar Condicionado Split Springer Carrier 30.000BTUs 42XQM30C / 38KCA030515MC**. Disponível em: <<http://goo.gl/FoY37l>> Acesso em: 16 julho 2015.]