

Proposta de um problema de decisão multicritério envolvendo a compra de um vaso de pressão

Rodrigo Machado Tavares (UFPE) rmachado@ufpe.br
Adiel Teixeira de Almeida, Ph.D. (UFPE) aalmeida@ufpe.br

Resumo

O presente trabalho apresenta um simples exemplo de problema de decisão multicritério, a fim de mostrar a importância de mesma, através de sua aplicabilidade no contexto da vida prática. Para isso, foi elaborado um caso hipotético, o qual foi analisado seguindo os conceitos da decisão multicritério. Tal caso consiste na escolha de um vaso de pressão a ser adquirido por uma grande organização; é, portanto, um problema característico de decisão multicritério, pois muitos fatores (i.e., critérios) estão influenciando na decisão final. Sendo assim, buscou-se estruturar tal problema de decisão com o intuito de facilitar a tomada de decisão final. Sendo assim, estabelecida a situação, identificaram-se todos os agentes envolvidos, as alternativas (i.e., as ações potenciais), as conseqüências e outros parâmetros importantes para o processo decisório. Logo em seguida, utilizou-se o método ELECTRE I, como um modelo matemático de apoio à tomada de decisão. Espera-se que este exemplo teórico possa dar uma idéia geral de como se pode aplicar os conhecimentos da decisão multicritério, a fim de se lidar com problemas práticos da realidade, facilitando assim o seu entendimento e subsequente resolução.

Palavras chave: decisão multicritério; ELECTRE I; ações potenciais.

1. Introdução

O problema de decisão multicritério proposto neste trabalho diz respeito a seguinte questão:

Dada a existência de uma grande companhia a qual fabrica sorvetes e se caracteriza por ter um sistema bastante complexo, durante uma inspeção de segurança num determinado subsistema, constatou-se que um dos vasos de pressão, o qual armazena O₂ (oxigênio) a fim de liquefaz-lo para que este fluido seja utilizado a *posteriori* numa outra de pasteurização (a qual está inserida numa outra etapa do processo) não estava desempenhando bem a sua função, tendo em vista que o tempo de vida útil do mesmo já estava chegando ao limite de tolerância de sua operacionalidade. Sendo assim, o novo responsável técnico (essa situação de insegurança foi ocasionada pela má gestão do responsável técnico anterior que, dentre outras negligências, não se atentou a fazer manutenções do tipo preventivas) assumiu tal posição na empresa tendo que assumir o erro do anterior. Esse erro humano indubitavelmente gerou um problema de decisão, pois para que o sistema pudesse operar normalmente e sem mais perdas na produção teriam que substituir tal vaso de pressão que já estava com a sua confiabilidade praticamente comprometida. Com isso, começou-se a fazer uma pesquisa de mercado a fim de obter o melhor vaso de pressão a ser adquirido pela companhia. Para tal companhia a melhor opção, isto é, o melhor vaso de pressão seria aquele o qual atendesse a uma série de critérios (fatores que influenciam no processo decisório) relevantes sob o ponto de vista da empresa; tem-se, portanto um problema de decisão multicritério prático e real. Os critérios que foram levados em consideração são os seguintes:

- **Custos** (estão procurando o que possua o menor custo de todos);

- **Desempenho** (estão buscando um vaso de pressão que tenha a mesma ou uma melhor qualidade que o outro; aquele que proporcione a mesma produtividade do anterior);
- **Segurança** (estão buscando um vaso que apresente um mecanismo o mais seguro possível com dispositivos especiais de proteção, para que, caso uma falha ocorra em tal equipamento, o risco de um acidente seja minorado, ou seja, com conseqüências não tão severas. Por exemplo, o risco de uma possível explosão e conseqüente incêndio, deverá ser o menor possível, haja vista os impactos negativos gerados por tais eventos, que muitas vezes são irreversíveis para empresa);
- **Confiabilidade** (estão buscando um vaso que tenha a confiabilidade a mais alta possível, isto é, aquele que o fabricante assegure que dadas às circunstâncias locais, características da máquina, condições de uso e manutenção, o tempo para que ocorra a primeira falha seja um tempo razoavelmente alto - taxa de falha, algo na ordem $\lambda = 0,000001$);

OBS.1: No que se refere, ainda a confiabilidade do vaso de pressão atual (o que está na fábrica, o qual se quer trocar), o mesmo começa a apresentar um aumento em sua taxa de falha, comprometendo assim a sua confiabilidade, pois o seu tempo de vida útil já foi ultrapassado.

OBS.2: Uma outra informação técnica é que o vaso de pressão é cilíndrico e constituído de aço. Alguns aspectos que vão influenciar na confiabilidade e conseqüentemente na segurança (pois tais áreas do conhecimento são intrínsecas) e que vale a pena citar, para uma melhor compreensão da importância do fator segurança dentro de quaisquer empresas, a fim de assegurar a sobrevivência destas:

- Defeitos de fabricação (soldagens, fissuras, rachaduras, problemas no controle de qualidade, erro humano, erros de montagem, entre outros);
 - Cargas externas aleatórias;
 - Erros humanos (jamais confundir com falha humana, pois tal termo, cientificamente falando, é incorreto. Falha, assim como erro é um tipo de desvio na operação normal de quaisquer sistemas podendo levar ou não ao “insucesso” do mesmo. Sendo assim, falha e erro são coisas distintas, por mais que muitas pessoas confundam tais conceitos; o que é um tanto plausível, pois os mesmos são bastante intrínsecos. Sendo assim, é um erro pensar que existe falha humana, ou como alguns dizem “ato falho”. Quem falha é a máquina, o homem erra!). Esse conceito é bastante importante numa área do conhecimento que está crescendo muito na atualidade, que é justamente a confiabilidade humana;
 - Eventos não previstos (aleatórios) – em decorrência da natureza probabilística;
 - Desgaste (fadiga, corrosão, envelhecimento –tempo operacional, fricção, cargas cíclicas, entre outros).
-
- **Tempo de entrega** (estão buscando um vaso cujo fabricante tenha a credibilidade em entrega-lo e instalá-lo o mais rápido possível, haja vista que a produção do sistema já começa a sofrer impactos pelo mau desempenho do vaso de pressão. Pelos estudos realizados pelos responsáveis técnicos da empresa, estabeleceu-se um limite de tolerância de até 20 dias – tempo hábil para que não hajam paradas bruscas na produção, nem tampouco lucros cessantes; com isso constata-se que o fabricante também está dando prioridade ao “fator distância-tempo”).

2. Detalhamento dos critérios de escolha

Com base no que foi elucidado na seção anterior, observa-se, portanto que são 05 critérios que estão influenciando na escolha do vaso de pressão para substituir o vaso de pressão existente. Portanto, o melhor vaso de pressão, dentro do contexto definido pela organização, será aquele que atender a todos esses 05 critérios da melhor forma. É relevante salientar, apesar da notoriedade de tal aspecto, que todos os critérios são conflitantes. Tal aspecto é uma característica intrínseca a qualquer problema de decisão multicritério e é justamente a natureza de tais conflitos que vai estabelecer a complexidade do problema decisório.

Tendo esse plano traçado, passou-se então para a etapa de pesquisa de mercado. Nessa etapa, a equipe responsável pela aquisição de equipamentos e máquinas da empresa, através das informações pré-definidas (i.e., os critérios de decisão), vai procurar definir o conjunto das possíveis ações. Em outras palavras, tal equipe, consciente ou inconscientemente, está fazendo resolvendo a primeira etapa do problema de decisão multicritério, que seria, escolher as possíveis ações, dentre um espaço amostral n qualquer. Ou seja, essa etapa de pesquisa de mercado é como se fosse um "peneiramento" a fim de reduzir o número n de opções existentes (alternativas possíveis, ou seja, ações). Sendo assim, o problema nessa etapa inicial se categoriza como sendo um problema de seleção, pois tem o caráter excludente. Portanto, constatou-se que somente 03 vasos de pressão estavam dentro dos requisitos pré-estabelecidos. Logo, as opções são as seguintes:

- Vaso de Pressão do tipo 1;
- Vaso de Pressão do tipo 2;
- Vaso de Pressão do tipo 3.

Assim sendo, o problema tem os seguintes conjuntos:

Conjunto de ações:

$$A = \{a, b, c\}$$

Onde: a : vaso de pressão do tipo 1;
b : vaso de pressão do tipo 2;
c : vaso de pressão do tipo 3.

Conjunto dos critérios:

$$C = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5\}$$

Onde: Z_1 : custos;
 Z_2 : segurança;
 Z_3 : desempenho;
 Z_4 : confiabilidade;
 Z_5 : tempo de entrega.

Logo após tal etapa, o problema pode ser resolvido como sendo um problema dos tipos: classificação ou ordenação. Dando, portanto, prosseguimento, têm-se algumas características dos três vasos de pressão em função dos critérios (atributos adotados):

- Custos: no que se refere aos custos, que deve abranger a todos os custos (diretos e indiretos, tais como, preço do vaso, custos de instalação, custos de manutenção, custos de transporte etc.) tem-se a seguinte tabela:

Vaso de pressão	Custos (R\$)
a	50.000,00
b	57.900,00
c	45.000,00

Tabela 1 – Custos de cada vaso de pressão

- Desempenho: em função do que se é exigido pela empresa (isto é, de como eles definem o que venha a ser desempenho para eles), utilizou-se uma escala verbal para mensurar tal critério. Em outras palavras, para poder transformar variáveis com aspectos de natureza mais qualitativa (subjéctiva) para variáveis de natureza quantitativa (a fim de que o decisor possa melhor visualizar tal informação através dos números), tem-se:

Vaso de pressão	Desempenho
a	3
b	5
c	1

Tabela 2 – Desempenho de cada vaso de pressão

Onde:

- 1 – razoável;
- 3 - bom;
- 5 – muito bom.

- Segurança: com relação a este item crucial, classificou-se os vasos de pressão quanto a segurança que eles podem oferecer com base num conjunto de graus de riscos inerentes ao processo (ex.: risco de corrosão interna – stress corrosion crack, pit, entre outros - risco de corrosão externa, risco de um BLEVE* etc.), sendo assim tem-se:

Vaso de pressão	Segurança
a	1
b	3
c	5

Tabela 3 – Segurança de cada vaso de pressão

Onde:

- Pouco seguro = elevado grau de riscos = 1
- Razoavelmente seguro = moderado grau de riscos = 3
- Seguro = baixo grau de riscos = 5

***OBS.3:** Bleve = boiling liquid- expanding vapor explosion

- Confiabilidade: com base nos dados fornecidos pelos fabricantes dos vasos de pressão, bem como, numa análise de confiabilidade, em sistemas de componentes reparáveis, realizada por um especialista, obtiveram-se, por exemplo, em relação ao vaso 1 e ao vaso 2, os seguintes resultados:

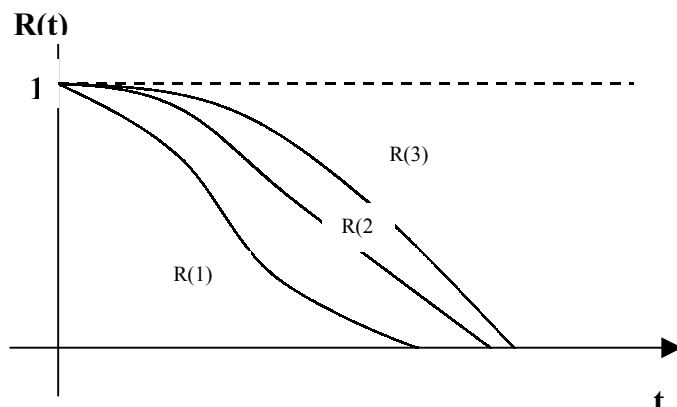


Figura 1 – Gráfico Confiabilidade versus Tempo

Comparando-se os valores obtidos através das estimativas de probabilidade usando o conhecimento *a priori* do especialista tomando-se como base o teorema de Bayes, traçou-se gráficos de distribuição de probabilidade (um exemplo é o gráfico acima). Sendo assim, tem-se:

Vaso de pressão	Confiabilidade
a	0,00001
b	0,0001
c	0,001

Tabela 4 – Confiabilidade de cada vaso de pressão

Onde:

Para $\lambda = 0,00001$ o vaso de pressão é considerado muito confiável

Para: $\lambda = 0,0001$, confiável

E para $\lambda = 0,001$, razoavelmente confiável

- Tempo de entrega: no que se refere a este critério, tem-se a seguinte informação:

Vaso de pressão	Tempo de entrega
a	(Em até) 6 dias
b	(Em até) 9 dias
c	(Em até) 15 dias

Tabela 5 – Tempo de entrega para cada vaso de pressão

Fazendo, portanto um resumo tem-se:

Crit. / ações	Z ₁ (Custos)	Z ₂ (Segurança)	Z ₃ (Desempenho)	Z ₄ (Confiabilidade)	Z ₅ (Tempo de entrega)
a	B	B	C	A	A
b	C	A	B	B	B
c	A	C	A	C	C

Tabela 6 – Resumo avaliatório de cada vaso de pressão em relação aos critérios adotados

Onde se tem a seguinte legenda:

A = melhor opção;

B = segunda melhor opção;

C = pior opção.

Com tal tabela, se montou, mesmo que de forma intuitiva, um sistema de preferências. Em outras palavras, observou-se as “importâncias” que cada ação assume em relação a outra tendo-se como referência os critérios. Pode-se então constatar o seguinte:

- a é preferível em Z₄ e Z₅;
- b é preferível em Z₂;
- c é preferível em Z₁ e Z₃.

Com tais características observadas, constata-se que existe uma gama de conflitos nos objetivos da missão da empresa. O decisor terá que lidar com esta complexidade, através de um *trade-off* (i.e., compensação), que deverá ser feita através de um modelo de apoio a decisão multicritério mais viável neste problema. O uso de tal modelo será detalhado no item 4.

3. Elucidação do problema

Nessa parte do trabalho, tentar-se-á "refinar" as informações dadas do problema multicritério elaborado. Isto é, em função do perfil traçado (de forma macroscópica) do problema, buscar-se-á identificar todos os atores envolvidos, definir a metodologia (seria montar a estrutura do problema, o qual já foi definida anteriormente), classificar as possíveis ações inerentes ao processo decisório e estabelecer a problemática de referência (isto é, qual é o tipo de solução a qual se deseja dar ao problema decisório em questão).

Sendo assim, com base nos conceitos inerentes a decisão multicritério, bem como no contexto apresentado no problema de decisão multicritério em questão, pode-se definir os seguintes atores (agentes envolvidos nesse processo de decisão):

- Decisor: a esse papel corresponde não um indivíduo, mas um grupo de indivíduos da organização (empresa) que tem o poder final de decisão. Esse grupo de indivíduos é constituído justamente pelo "alto escalão" da organização (os sócios acionistas, que nesse caso totalizam o número de 12 pessoas);
- Analista: corresponde justamente ao papel do responsável técnico, juntamente com a sua equipe técnica de apoio. Portanto nesse caso, o analista assume também a função de especialista, onde o mesmo lidera uma equipe de profissionais qualificada a fim de um mesmo objetivo;
- Cliente: nesse papel, têm-se as empresas as quais recebem o produto final da organização, portanto essa é a parte que sofrerá de forma direta os impactos em função da tomada de decisão final. Ou seja, são eles que irão sofrer as conseqüências do que se decidir neste processo decisório. Eles não participam diretamente do processo decisório, contudo influenciam de forma significativa o mesmo. Sendo assim, quem de fato vai "direcionar" o rumo das ações a serem realizadas durante as etapas de estudo do processo decisório é o cliente, pois o objetivo-mor de tal decisão é a satisfação dos fornecedores que têm o contato direto com os consumidores. São eles que de fato vão definir as diretrizes a serem tomadas pelos decisores no processo decisório.

Com relação ao conjunto das potenciais ações (A), dentro desse estágio têm-se as seguintes características:

Com relação à estabilidade

- O conjunto de ações não é estável, pois as estabilidades externa e interna não são satisfeitas (isto é, as influências externa e interna têm grande poder sobre as ações decisórias), logo o conjunto de ações é EVOLUTIVO;
- O conjunto de ações, por não ser fixo (não satisfazer a condição de estabilidade interna), é REVISÁVEL;
- O conjunto de ações é TRANSITÓRIO, pois não satisfaz a estabilidade externa (ou seja, não é permanente).

Com relação ao projeto

- As ações são EFETIVAS, pois podem ser executadas, tendo em vista que o projeto está desenvolvido;
- As ações são REALISTAS, pois a podem ser previstas.

Com relação à interdependência entre as ações

- As ações são FRAGMENTADAS, pois cada ação é considerada independente entre as demais, ou seja, nenhuma ação é independente da outra, tendo em vista o alto grau de interdependência entre elas.

No que se refere à escolha da problemática que melhor se enquadra ao contexto do problema elaborado, tem-se a problemática Pa. Isto porque a mesma ajuda a esclarecer a decisão por meio da escolha de um subconjunto, tão restrito quanto possível, contendo as ações que foram consideradas como melhores.

4. Considerações sobre a escolha do método de apoio à decisão multicritério

Haja vista que apesar de não existir um melhor método de decisão multicritério e, sim o melhor método para o contexto o qual se está analisando, pode-se concluir que, dentre os métodos aprendidos existentes, é recomendável que se utilize métodos consistentes. Sendo assim, recomendar-se-ia que, para uma primeira análise, se utilizem ferramentas matemáticas de decisão multicritério da família ELECTRE.

Portanto, dado que o problema exposto se caracteriza por ser um problema do tipo de seleção e que a problemática escolhida foi a $P\alpha$, utilizou-se o método ELECTRE I. Tal método consiste num modelo matemático de apoio à decisão multicritério e foi o primeiro método desenvolvido pela chamada “escola francesa”. Foi apresentado em 1968 por Roy e quer dizer *ELimitation Et Chaoix Traduissant la REalité*. É um método bastante simples, contudo com uma grande aplicabilidade. Na próxima seção, tem-se a aplicação de tal modelo ao problema proposto no presente trabalho. Vale ressaltar que não é foco de estudo do mesmo detalhar o método ELECTRE I, haja vista a rica e vasta literatura acerca de tal método. Sendo assim, na próxima seção tem-se de forma resumida a aplicação de tal método. Para maiores detalhes sobre o ELECTRE I, consultar as referências.

5. Aplicação do ELECTRE I

A primeira etapa consistiu em atribuir pesos a ações. Tais pesos “mensuram” a importância que as ações têm em relação as outras com base nos critérios. Portanto utilizou-se uma escala verbal, de 1 a 9, de onde se evolui numericamente de menos preferível a mais preferível. Portanto, depois de se montar matrizes de comparações e de se normalizar os pesos finais, obteve-se a tabela abaixo:

Crit. ações	Z_1 (Custos)	Z_2 (Segurança)	Z_3 (Desempenho)	Z_4 (Confiabilidade)	Z_5 (Tempo de entrega)
a	0,25	0,33	0,09	0,65	0,64
b	0,054	0,58	0,33	0,25	0,23
c	0,7	0,07	0,57	0,09	0,12

Tabela 7 – Tabela com os pesos

Logo em seguida, calculou-se os índices de concordância e de discordância para cada ação. O primeiro mostra, com base nos pesos calculados, o quão uma ação é preferível a uma outra. O segundo, também baseado em tais pesos, dá uma idéia da desvantagem relativa que uma ação tem em relação à outra.

Índice de concordância	a	b	c	Índice de discordância	a	b	c
a	-----	0,63	0,82	a	-----	0,40	0,56
b	0,78	-----	0,82	b	0,25	-----	0,51
c	0,82	0,74	-----	c	0,45	0,65	-----

Tabela 8 – Tabela com os índices de concordância e de discordância

Calculados então os índices anteriormente mencionados, a próxima etapa consistiu em determinar o núcleo do grafo (i.e., Kernel), que seria, sucintamente definindo, o mínimo subconjunto dominante. Tal subconjunto depende dos valores estipulados para p (limite de preferência) e q (limite de indiferença). Para o caso do ELECTRE I, a relação de “sobreclassificação” (a qual expressa as preferências), seguiria a seguinte regra básica: índice de concordância $\geq p$ e para o índice de discordância $\leq q$.

Portanto, definindo, por exemplo, $p = 0,6$ e $q = 0,7$, constata-se a seguinte relação:

$$a > \{ b c \}$$

Com base nos índices calculados (i.e., de concordância e discordância) e nos limites estipulados (i.e., de preferência e de indiferença), observa-se que a ação **a**, sobreclassifica as demais. Sendo assim, a ação **a** se apresenta, com base no método utilizado (i.e., ELECTRE I) e no contexto apresentado, como sendo a melhor dentre as outras duas.

5. Conclusões

Tendo em vista que tal estudo de caso, apesar de ser hipotético (i.e., a fábrica de sorvetes em questão não existe de fato, portanto alguns detalhes técnicos não foram fornecidos), por apresentar muitas variáveis que o influenciam, se caracteriza por ser um sistema complexo. Sendo assim, conclui-se que o mesmo pode auxiliar no que tange a ilustração da aplicabilidade dos conceitos inerentes à decisão multicritério ao contexto prático e dinâmico das organizações.

Espera-se que o presente trabalho possa, mesmo que de forma qualitativa, mostrar que é possível se otimizar os problemas cotidianos aos quais as organizações se defrontam no dia-a-dia. Portanto, espera-se acima de tudo, que tal trabalho possa, a partir da estruturação de problema elaborado, contribuir de alguma forma para uma melhor compreensão acerca da aplicabilidade cotidiana dos axiomas e teoremas da decisão multicritério, haja vista que a arte (ou dom) de viver nada mais é que um contínuo processo de decisão com muitos critérios a influenciar em tal.

Referências

GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro. GOMES, Carlos Francisco Simões. ALMEIDA, Adiel Teixeira de. (2002) - Tomada de Decisão Gerencial – Enfoque Multicritério. Editora ATLAS S.A.- São Paulo;

VINCKE, Philippe. (1992) - Multicriteria Decision-aid. Wiley Publications;

ROY, Bernard. (1996) - Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Kluwer Academic Publishers;

ALMEIDA, Adiel Teixeira de. SOUZA, Fernando Menezes Campello de et al. - Gestão da Manutenção – na direção da competitividade. (2001) - Editora Universitária da UFPE, 1ª edição, Recife (<http://www.ufpe.br/gpsid/livros.htm>);

DROGUETT, Enrique Andrés López. (2002) - Análise da Confiabilidade de Componentes Não Reparáveis - Apóstila de introdução ao estudo da confiabilidade. UFPE- Recife;

FRIEDMAN, Raymond. (1997) - Principles of Fire Protection Chemistry. NFPA, second edition, USA;

DUTRA, Aldo Cordeiro et al. - Manual Técnico de Caldeiras e Vasos de Pressão;

Normas Regulamentadores (NR's) 13 e 23. (1998) – Editora ATLAS S.A. – São Paulo.