

## Aplicação da metodologia ELECTRE I de apoio da decisão multicritério na priorização de transporte de mercadoria

Marcílio José Bezerra Cunha (UFPE) [marciliocunha@ig.com.br](mailto:marciliocunha@ig.com.br)

### Resumo

*A partir década de 60, a transformação do ambiente competitivo levou à busca por metodologias e modelos de decisão que fossem mais flexíveis, e adequados a constantes mudanças de cenários. Surgiram, então, as metodologias multicritérios de apoio à decisão, voltadas para o tratamento de problemas de decisões complexos, caracterizados pela existência de vários critérios, de naturezas diversas. Com diferentes escalas de valores e muitas vezes conflitantes entre si, má definição ou não compreensão das alternativas e suas conseqüências. Liga-se a metodologia ELECTRE I, no apoio ao processo de decisão, fornecendo ao decisor ferramentas que o levem a explorar o problema de transporte, com o objetivo de encontrar uma solução onde vários pontos de vistas, às vezes contraditórios, são considerados. Pretende-se, ao final do trabalho, ter produzido uma visão geral sobre o processo de decisão na priorização de transporte de mercadoria.*

*Palavras chave: Decisão multicritério, Transporte, Sobreclassificação.*

### 1. Introdução

Em muitas ocasiões deparamos com decisões difíceis de tomar em que as conseqüências são importantes e os resultados, incertos. Com freqüência, nos sentimos mal ao tomar decisões nessa circunstância e, após tomá-las, ficamos angustiados aguardando seus resultados. Estas situações ocorrem tanto na nossa vida particular como na profissional. Em todas as categorias profissionais, estão a todo o momento enfrentando problemas de decisão na sua área de atuação como parte de suas responsabilidades.

Este trabalho abordará o tema focado na estrutura de um processo de decisão com seqüência de etapas onde o decisor identifica as alternativas existentes, suas conseqüências e escolhe a alternativa que apresenta para si o maior retorno.

Na primeira parte, será descrita a teoria da utilidade e em seguida as metodologias ELECTRE de apoio à decisão multicritério, para a priorização dos sistemas de transporte, no contexto de transporte de uma mercadoria.

Na segunda parte, decisão multicritério, apresentando um resumo dos métodos de suporte à decisão e uma comparação entre eles.

Na terceira parte, apresentação do estudo de caso e finalmente, conclusões.

### 2. Descrição do Problema

As decisões fazem parte do dia à dia dos executivos de uma organização ou de uma sociedade que busca, através de diversos métodos, solucionar problemas que apresentam mais de uma alternativa. De maneira sumária, podemos descrever a estrutura de um processo de decisão como uma seqüência de etapas em que o decisor identifica as alternativas existentes, suas respectivas conseqüências e, em seguida, escolhe a alternativa que apresenta o maior retorno ou vantagem para si (BEKMAN & OLIVEIRA, 1980). Entretanto, as decisões mais complexas podem envolver um número maior de alternativas que não permite ao decisor a

avaliação direta das conseqüências. Este tipo de decisão exige uma estruturação mais rígida, que permita a quantificação das conseqüências das alternativas (KEENEY & RAIFFA, 1976).

A teoria da utilidade, que a partir de agora chamaremos de TU, é uma das alternativas que apresenta uma metodologia direcionada a auxiliar o decisor neste tipo de problema. A metodologia existente na teoria da decisão consiste em se maximizar a utilidade esperada das conseqüências de cada ação. Em determinadas situações, indivíduos fazem seu processo de escolha baseada não apenas no valor das conseqüências, mas sobretudo no risco associado a cada alternativa. Assim, decisões distintas para um mesmo problema são tomadas por pessoas de acordo com a sua disposição em assumir riscos. Assim, os tomadores de decisão são classificados em três categorias: averso ao risco; propenso ao risco; ou neutro ao risco (KEENEY & RAIFFA, 1986) a definição do conjunto de ações não depende, apenas do problema a solucionar e dos tomadores de decisão. Está relacionada fortemente com todos os elementos que influenciam o processo de decisão: definição dos critérios, modelagem das preferências, estado das variáveis do problema e a escolha do método de decisão a utilizar. Além disso, muitas vezes, em face da dificuldade de definição “a priori”, o conjunto de ações é definido progressivamente ao longo do processo (VINCKE, 1992).

No caso do problema do transporte da carga em estudo, a TU é empregada para avaliar o valor das conseqüências de cada opção de transporte, através de uma função utilidade. Basicamente são definidos quatro atributos ou critérios de escolha de um modal de transporte: o preço, o tempo, nível de atraso e dano à mercadoria.

A maior parte dos problemas de decisão, como o da escolha do modal transporte, exige a análise simultânea de mais, de um atributo.

O atributo preço pode estar associado a um maior tempo de transporte, a possibilidade de atraso e dano à mercadoria. Nesta situação, as perdas indiretas referem-se, por exemplo, ao custo da não disponibilidade da mercadoria para atendimento de necessidade do cliente, a falta da mercadoria para sua utilização ou reposição de estoque. É desta forma que a TU insere-se em um problema de decisão, uma vez que o processo de elicitação de preferências permite agregar ao modelo à subjetividade das conseqüências dos atributos.

Uma das etapas existentes na TU consiste em modelar as preferências de um decisor através da função utilidade. Um conceito fundamental dentro da TU é o **equivalente certo**, também conhecido como o preço de venda. Durante a fase de elicitação das preferências do decisor, é possível determinar um valor para a conseqüência na qual o decisor ficará indeciso entre optar por este valor, o **equivalente certo**, ou de permanecer na incerteza do problema, como no estudo de caso que apresentaremos a seguir:

Envolve um processo de elicitação da escolha do meio de transporte mais adequado para transportar uma carga entre duas localidades distantes por um decisor conforme quatro critérios:

Transporte	Preço (R\$)	Tempo (horas)	Nível de Atraso	Danos à mercadoria
<b>Aéreo</b>	1.900,00	30	1	1
<b>Aéreo</b>	1.250,00	50	1	1
<b>Rodoviário</b>	900,00	90	0,50	0,50
<b>Rodoviário</b>	700,00	140	0,25	0,50
<b>Marítimo</b>	600,00	150	0,12	0

<b>Marítimo</b>	450,00	160	0	0
-----------------	--------	-----	---	---

Ao decisor, foi explicada a situação, preparando apo ambiente de forma que o decisor estivesse mais interagindo possível com o problema. O decisor como executivo de uma empresa, deverá escolher um dos modais que ofereça um custo e tempos razoáveis.

O procedimento para avaliação da função utilidade envolve uma preparação inicial do decisor pelo analista, a fim de que o decisor perceba os conceitos da TU possa estar o suficiente motivado para expressar suas preferências. Basicamente são reconhecidas as seguintes etapas em um procedimento de avaliação de preferências (KEENEY E RAIFFA, 1986).

- Preparação para avaliação;
- Identificação de características quantitativas relevantes;
- Especificação de restrições quantitativas;
- Escolha da função utilidade;
- Avaliação de consistência.

Entretanto, as decisões mais complexas podem envolver um número maior de alternativas que não permitem ao decisor a avaliação direta das conseqüências. Este tipo de decisão exige uma estruturação mais rígida, que permita a quantificação das conseqüências das alternativas (KEENEY & RAIFFA, 1976).

De acordo com EHRLICH (1996), são três as ocasiões em que a associação de uma utilidade aparece em problema de decisão. A primeira delas relaciona-se às situações em que os valores monetários não são os mais apropriados para as conseqüências, quando se faz necessário empregar uma escala subjetiva de utilidade para estas conseqüências. A segunda ocasião refere-se a situações em que a representação da incerteza por valor esperado se torna inadequada por não levar em conta a preferência do decisor pelo risco. A última delas relaciona-se com situações em que é necessária a satisfação simultânea de diversos objetivos quantificados.

A escolha da alternativa que irá solucionar o problema pressupõe inicialmente a determinação de um atributo que descreva as conseqüências dos atos do decisor.

A TU permite avaliar estas conseqüências através de um processo de elicitación de referências que busca incorporar ao problema o comportamento do decisor em relação ao risco. Este processo permite criar uma nova escala denominada de escala de utilidade, que estabelece para cada conseqüência um valor de utilidade. O processo de escolha será então realizado a partir desta nova escala que agrega os aspectos de incerteza inerente ao problema de decisão.

Diversos tipos de atributos podem ser empregados com esta finalidade, e a escolha de um deles irá depender do tipo de problema.

No estudo de caso iremos aplicar metodologias ELECTRE de apoio à decisão multicritério, para a priorização dos sistemas de transporte, dentro do contexto de transporte, de uma mercadoria. A família ELECTRE é originária na escola francesa (por vezes chamada de escola européia), propõe um procedimento para redução do conjunto de alternativas explorando o conceito de dominância. São utilizados conceitos de **Índice de Concordância** para medir a vantagem relativa de cada alternativa sobre todas as outras e o **Índice de Discordância** para medir a relativa desvantagem. Segundo GOMES (1998), a noção central da família ELECTRE e de métodos assemelhadas, baseia-se na sobreclassificação (OUTRANKING ou SURCLASSEMENT). Existem razões claras e positivas que justificam

seja uma preferência, seja uma presunção de preferência em favor de uma (bem identificada) das duas ações, mas sem nenhuma separação significativa seja estabelecida entre as situações de preferência estrita, de preferência fraca e de indiferença. Propriedades da relação binária:

S

**aSa'** → (a P a' ou a Q a' ou a I a')

A rigor a relação, a de **sobreclassificação** é uma relação assimétrica.

Assim, existe uma combinação de duas etapas:

**Primeira Etapa: Construção** (uma ou várias relações de **sobreclassificação** são construídas). Compara-se alternativas levando-se todos os critérios em consideração. Obtém-se um modelo das preferências sob a forma de uma ou várias relações binárias – as relações que podem ser precisas (crisp), ou valoradas (qualificadas).

As relações de **sobreclassificação** são construídas a partir do princípio da concordância-discordância, o qual leva à uma alternativa ser **pelo menos tão boa quanto outra** alternativa quando uma maioria considerada suficiente de critérios apóia esta proposição (princípio de concordância) e a oposição da minoria não é considerada for demais (princípio da não-discordância (GOMES, 1998).

Em geral o princípio da concordância-discordância não conduz a relações binárias que satisfaçam as propriedades de transitividade e completude. Os pesos dos critérios representam suas importâncias relativas.

**Segunda Etapa: Investigação** (das relações de **sobreclassificação** são utilizadas com vistas à uma recomendação) portanto, seleção de um subconjunto de alternativa, ordenação de todas as alternativas.

Para o problema, iremos utilizar o **Electre I** que foi projetado para solução de **problemas de escolha**, devido à forma como as relações de sobreclassificação são exploradas.

### 3. Decisão multicritério

Decisão multicritério é um conceito existente, nos diversos tipos de problemas de decisão, quer sejam de natureza econômica, industrial, política e, de natureza econômica, industrial, política e, até mesmo social. Dificilmente existem situações a serem tratadas sob um único enfoque, normalmente vários aspectos, ou critérios, devem ser simultaneamente considerados, objetivando a identificação da melhor, ou das melhores opções (VINCKE, 1992). O apoio à decisão baseia-se em modelos explicitados, formalizados ou não, que o analista de decisão, utiliza em busca de resposta às questões postas, pelos decisores, ao longo do processo, levando-se, muitas vezes a recomendações de ação, ou simplesmente a um favorecimento de uma evolução do processo mais consistente com os objetivos e sistemas de valores dos decisores (ROY, 1996).

Vincke (1992), apresenta as famílias de abordagens das metodologias de suporte à decisão, classificadas em três grandes grupos:

- TEORIA DA UTILIDADE MULTIATRIBUTO (MULTIPLE ATTRIBUTE UTILITY THEORY – MAUT), que consiste na agregação de diferentes pontos de vistas em uma única função que deve ser subseqüentemente otimizada (escola americana)  
Modelos: MAUT; AHP; SMART.
- MÉTODOS DE SUBORDINAÇÃO E SÍNTESE (ESCOLA FRANCESA), que a partir da construção das relações de sobreclassificação (OUTRANKING), as quais representam as preferências estabelecidas pelo decisor, buscam explorá-las de tal forma que auxiliie o

decisor na solução do problema. Diferencia-se principalmente, da escola americana, por admitir a possibilidade de incomparabilidade entre alternativas.

Modelos: ELECTRE; PROMETHÉ E; QUALIFLEX; OROEST; MELCHIOR

- MÉTODOS INTERATIVOS, que utilizam a abordagem de tentativas e erros.  
Modelos: STEM; TRIMAP

Um dos aspectos existentes na comparação de resultados obtidos através dos diversos métodos, usados no apoio multicritérios a decisão, é a natureza da compensação entre critérios. Segundo VINCKE (1992), o modelo aditivo **MAUT** é fortemente compensatório. Por ser um método de agregação dos diversos critérios, o modelo aditivo não possibilita a avaliação de importância relativa entre critérios, contrabalançando as possíveis desvantagens existentes em outras. Nos métodos não compensatórios a importância relativa é admitida e as ações bem balanceadas.

As importâncias relativas são geralmente chamadas de peso e, em alguns métodos, números são utilizados para representá-los.

Comparando resultados obtidos em diferentes métodos, assumindo pesos equivalentes, uma interpretação da finalidade dos pesos em cada método é necessária.

Nos métodos não compensatórios em geral, os pesos representam constantes de escala-valores que possibilitam os critérios serem expressos numa mesma escala mesmo havendo diferença de preferências relativas para diferentes critérios. No método dos pesos médios e no modelo aditivo da **MAUT**, os pesos  $w$  e  $k$  são, respectivamente, constantes de escala.

No caso de métodos, não compensatórios, a interpretação dos pesos é diferente; o peso atua diretamente como parte do valor preferido. No método **ELECTRE I**, o  $p$  não pode ser comparado ao  $w$  e  $k$ , por conseguinte, a comparação entre os diversos métodos somente pode ser efetuada se os pesos têm a mesma interpretação. Onde isto não se verifica não faz nenhum sentido comparar os resultados.

Segundo Roy (1968, apud VINCKE, 1992) o método **ELECTRE I** foi desenvolvido para aplicação em problemas multicritérios, de escolha. Seu objetivo é, portanto, obter um subconjunto  $N$  de ações, tal que, qualquer ação que não está em  $N$ , é sobreclassificada por, pelo menos, uma ação que pertence a  $N$ . Este subconjunto, tão pequeno quando possível, não é, por conseguinte, o conjunto das melhores ações, e sim, aquele que contém os melhores compromissos, possíveis de serem encontradas, entre as ações (VINCKE, 1992).

Olson (1996), apresenta o **ELECTRE I** utilizando a seguinte variante.

### ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (C).

$$C(a,b) = \frac{\sum (W^+ + 0,5 W^-)}{\sum (W^+ + W^- + W^{--})}$$

### ÍNDICE DE DISCORDÂNCIA (D)

$$D(a,b) = \text{Max} \frac{(\sum bk - Z_k)}{Z_k^* - Z_k^-}, \text{ para todo } k \text{ onde } b > a$$

Relação de sobreclassificação, ou sobreclassificação (s):  $C \geq p$  e  $D \leq q$ , onde,

$W^+$  corresponde a soma dos pesos dos critérios para os quais **a** é preferível a **b**.

$W^=$  corresponde a soma dos pesos dos critérios para os quais **a = b**.

$W^-$  corresponde a soma dos pesos dos critérios para os quais **b** é preferível a **a**.

$Z_{ak}$  avaliação de **a** em relação ao critério **k**.

$Z_k^*$  melhor grau de avaliação obtido para o critério **k**.

$Z_k^-$  pior grau de avaliação obtido para o critério **k**.

**p** limiar de concordância

**q** limiar de discordância

Para facilitar o procedimento, utiliza-se uma normatização da avaliação das alternativas de modo que  $Z_k^* = 1$  e  $Z_k^- = 0$ . Com isto, o denominador da relação para **D**, fica igual a 1. Esta forma será utilizada ao longo deste estudo.

Este método não exige necessariamente que a relação **S** seja transitiva. Isto é, considerando três ações, **a<sub>1</sub>** e **a<sub>2</sub>** e entre **a<sub>2</sub>** e **a<sub>3</sub>** podem ser independentes e distintas, e não forçam a obrigatoriedade de preferência entre **a<sub>1</sub>** e **a<sub>3</sub>** (GOMES, 1998a).

É iniciada uma análise de sensibilidade para os parâmetros utilizados no método, ou seja, o peso relativo entre os critérios **p<sub>j</sub>**, e os limiares de concordância **p** e discordância **q**, variando-os e estudando-se a robustez dos resultados em relação a estas alterações (VINCKE, 1992).

#### 4. Estudo de caso

Introduzimos ao problema de transporte de mercadoria, quatro atributos utilizando o ELECTRE. Iremos considerar preço, tempo, nível de atraso, danos à carga.

A relação entre os critérios definição os pesos com ações bem balanceadas. Os pesos têm significado de votos. A validação é feita pela normalização dos pesos. Depois de apresentado o problema, e os quatro critérios, o decisor foi questionado sobre a importância de um sobre os outros, definindo os pesos dos critérios, seriam:

Preço → 0,40      Atraso → 0,10

Tempo → 0,40      Dano a carga → 0,10.

A seguir o problema foi montado, onde foi apresentado ao decisor com valores de **p** e **q**.

Para os valores diferentes de **p** e **q** definiu qual seria o que expressa a sua preferência.

Complementando as informações para os critérios introduzidos, dado-se para a melhor opção de cada critério, o valor **1** e para a pior opção o valor **0**.

	Transporte	Preço (R\$)	Tempo (horas)	Nível de Atraso	Danos à mercadoria
A	Aéreo	1.900,00	30	1	1
B	Aéreo	1.250,00	50	1	1
C	Rodoviário	900,00	90	0,50	0,50
D	Rodoviário	700,00	140	0,25	0,50
E	Marítimo	600,00	150	0,12	0
F	Marítimo	450,00	160	0	0

Para as outras alternativas encontramos o seu valor em relação ao intervalo.

	Transporte	Preço (R\$)	Tempo (horas)	Nível de Atraso	Danos à mercadoria
A	Aéreo	0	1	1	1
B	Aéreo	0,45	0,85	1	1
C	Rodoviário	0,69	0,54	0,50	0,50
D	Rodoviário	0,83	0,15	0,25	0,50
E	Marítimo	0,90	0,08	0,12	0
F	Marítimo	1	0	1	0

O passo seguinte é encontrar o **índice de concordância**:  $C(A,B) = .40 ( ) + .40 ( ) + .10 ( ) + .10 ( )$ .

Colocar: 1 se  $A > B$

0 se  $B > A$

0,5 se  $A = B$

**Índice concordância** com a fórmula para **ELECTRE I** é:

	A	B	C	D	E	F
A	-	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60
B	0,50	-	0,60	0,60	0,60	0,60
C	0,60	0,60	-	0,55	0,60	0,60
D	0,60	0,50	0,55	-	0,60	0,60
E	0,60	0,60	0,60	0,60	-	0,55
F	0,60	0,60	0,60	0,60	0,55	-

O passo seguinte é encontrar o índice de discordância:

$$D(A, B) = \text{MAX} \{ (B - A) / 1 \}$$

**Índice de discordância** com a fórmula para **ELECTRE I**:

	A	B	C	D	E	F
A	-	0,45	0,69	0,83	0,90	1,00
B	0,15	-	0,24	0,38	0,45	0,55
C	0,50	0,31	-	0,14	0,21	0,31
D	1,00	1,00	0,50	-	0,07	0,17
E	1,00	1,00	0,50	0,50	-	0,12
F	1,00	1,00	0,54	0,50	0,10	-

Atribuindo valores para o limite de concorrência (p) e o limite de discordância (q):

1º) p = .58 q = .43	2º) p = .53 q = .25	3º) p = .55 q = .40
A → {∅}	A → {∅}	A → {∅}
B → {C, D,}	B → {C,}	B → {C,D}
C → {B, D, E, F}	C → {D, E, F}	C → {B, D, E, F}
D → {E, F,}	D → {E, F,}	D → {E, F,}
E → {∅}	E → {F}	E → {F}
F → {∅}	F → {E}	F → {E}
Núcleo – {A e C}	Núcleo – {A e C}	Núcleo - {A e C}
4º) p = .50 q = .35	5º) p = .50 q = .39	6º) p = .51 q = .30
A → {∅}	A → {∅}	A → {∅}
B → {C}	B → {C,D}	B → {C}
C → {B, D, E, F}	C → {B, D, E, F}	C → {D, E}
D → {E, F,}	D → {E, F,}	D → {E, F,}
E → {F}	E → {F}	E → {F}
F → {E}	F → {E}	F → {E}
Núcleo – {A e C}	Núcleo – {A e C}	Núcleo - {A e C}

Observando os valores o decisor ficou indeciso em decorrência dos núcleos serem idênticos. A escolha recaiu entre a 3ª e a 5ª. Como as opções A e C estiverem expressas em todos os resultados, comprovam serem as melhores opções. O decisor escolheu a alternativa C (transporte rodoviário ao preço R\$ 900,00 e o tempo de 90 horas.).

## 5. Conclusões

Na primeira parte de trabalho, investigou-se a posição do tomador de decisão quanto as suas preferências, alternativas, conseqüências e as incertezas quanto aos resultados. O problema apresentado no estudo de caso serviu para ilustrar aplicação da metodologia escolhida. Em seguida, foi visto que a sobreclassificação que justificam uma presunção de preferência das duas ações. Finalmente concluímos ser a metodologia ELECTRE I, uma ferramenta simples e prática para apoio à decisão multicritério na priorização do sistema de transporte.

## Referências

- GOMES, AUTRAN, 1998 – Apoio Multicritério à Decisão - Notas de aula - Buenos Aires, Argentina.
- KEENEY, R. L. E RAIFFA, H. 1976 - Decisions Writh Multiple Objectives: Preferences and value tradeoffs. New York: Wiley.
- OLSON, D. L. e DORAI, V. K. 1992. *Implementation of the Centroid Method of Solymosi and Dombi*. European. Journal of operational research 60:1, 117 – 129.
- VINCKE, PHILIPPE. 192. *Decision – AID*, Univsersité Libre de Bruxelles, 1992.
- ROY, BERNARD, 1992. *Multicriteria Metodology for decisión aiding*. Lamsade, Universite Paris – Dauphine.