

Um Modelo Multicritério Fuzzy-Electre Para o Problema De Seleção de Fornecedores

Luciano Ferreira

Escola de Ciências e Tecnologia, UFRN
Programa de Pós-Graduação Em Engenharia De Produção, UFRN
Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal-RN
ferreira@ufrnet.br

Éverton Santi

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação, UFRN
Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal-RN
santi.everton@gmail.com

RESUMO

Este artigo apresenta a formulação e a resolução de um modelo híbrido de seleção de fornecedores, considerando-se para tal o método Electre II e definições oriundas da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*. Busca-se explorar vantagens conhecidas de ambas as abordagens em relação às características inerentes ao problema, principalmente ao caráter incerto das informações extraídas de forma subjetiva. Utiliza-se também o método da Entropia como abordagem auxiliar na definição dos níveis de importância dos critérios de avaliação. Apresenta-se, ao final do estudo, um estudo de caso para uma empresa do setor hospitalar, para o qual os resultados obtidos a partir do modelo elaborado se mostram de grande valia quando da necessidade da tomada de decisão mediante a incerteza.

PALAVRAS CHAVE. Problema de Seleção de Fornecedores, Teoria dos Conjuntos Fuzzy, Método Electre

Apoio à Decisão Multicritério, PO na Administração e Gestão da Produção

ABSTRACT

This paper presents the formulation and the solution of a hybrid approach for the supplier selection problem with the basis on the classical Electre II method and the definitions from the Fuzzy Set Theory. It attempts to exploit the well-known advantages of both techniques in relation to the characteristics of the problem, particularly the uncertainty from subjective judgments. We also utilized the Entropy method as an auxiliary approach for the definition of the importance level of the evaluation criteria. At the end of this research we present a case study related to a purchasing situation in a hospital company. Results obtained show great convenience when there is the need for decision making under a fuzzy environment.

KEYWORDS. Supplier Selection Problem, Fuzzy Set Theory, Electre Method

Multicriteria Decision Support, OR in Administration & Production Management

1. Introdução

O Problema de Seleção de Fornecedores (PSF) é um dos mais clássicos problemas de análise de decisão multicritérios relacionados à literatura de compras. Ho *et al.* (2010) mostram, em um trabalho do tipo *survey*, que somente entre 2000 e 2008 mais de 70 artigos envolvendo a modelagem do problema foram publicados em importantes periódicos internacionais. Observa-se a partir deste trabalho que a maior parte dos modelos revisados pelos autores é baseada em métodos clássicos das áreas de Pesquisa Operacional (PO) e Análise de Decisão (AD), como por exemplo, os métodos TOPSIS (Hwang e Yoon, 1981), AHP (Saaty, 1990), DEA (Thanassoulis, 1995), ANP (Saaty, 1996) e Electre (Roy, 1968), entre outros. Destaca-se também a grande variedade de modelos híbridos, isto é, a combinação de métodos.

Este grande interesse na busca por metodologias robustas para o planejamento das operações de compra é justificado em grande parte pelo grande volume de gastos gerados a partir destas operações, além das vantagens competitivas proporcionadas à empresa compradora a partir da escolha de bons parceiros de negócios. Neste sentido, Bowersox *et al.* (2002) e De Boer *et al.* (2001) estimam que as empresas comprometem em média mais 60% de sua receita com as operações de compra. De Boer *et al.* (2001) destacam, ainda, que no mercado atual há uma necessidade cada vez maior de se tomar decisões em tempo reduzido. Soma-se isto ao fato de que neste cenário as decisões ruins tendem a impactar mais fortemente a saúde financeira das organizações.

Como destacado anteriormente, o método Electre (do inglês *Elimination and Et Choice Translating Reality*) figura como um dos mais clássicos da literatura de PO e AD. Basicamente, o Electre consiste em uma família de métodos multicritérios originalmente proposta em Roy (1968). Dentre as mais conhecidas formulações da abordagem, segundo Wang and Triantaphyllou (2008), destacam-se os métodos Electre I, II, III, IV, IS e TRI, caracterizados basicamente por duas etapas distintas: (a) a etapa de construção de relações de sobreclassificação entre as alternativas dadas para o problema e (b) a etapa de exploração destas relações, buscando-se estabelecer um *ranking* entre tais alternativas.

Nesta pesquisa, de maneira a complementar os trabalhos de revisão de literatura de Ho *et al.* (2010), De Boer *et al.* (2001) e Degraeve *et al.* (2000), considerou-se uma amostra aleatória de trabalhos envolvendo a modelagem do problema de seleção de fornecedores com base em multicritérios, incluindo-se somente artigos posteriores ao ano de 2008. Dentre os artigos analisados estão: Chen (2011), Glock (2011), Hatami-Marbini e Tavana (2011), Liao e Kao (2011), Kaya e Kahraman (2011), Mafakheri *et al.* (2011), Sawik (2011a e 2011b), Vahdani e Hadipour (2011), Yeh e Chuang (2011), Yücel e Güneri (2011), Zhao e Yu (2011), Zolghadri *et al.* (2011), Wu *et al.* (2010), Azadeh e Alem (2010), Keskin (2010), Kuo *et al.* (2010), Saen (2010), Wang (2010), Golmohammadi *et al.* (2009), Kheljani *et al.* (2009), Lee (2009), Lee e Ou-Yang (2009), Lee *et al.* (2009), Lin *et al.* (2009), Montanzer *et al.* (2009), Ordoobadi (2009), Shen e Yu (2009), Shih e Lin (2009) e Wang e Yang (2009).

A partir desta revisão, atentando-se principalmente às aplicações do método Electre, constatou-se que são poucos os trabalhos que fazem uso desta modelagem de forma conjugada à Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (TCF). Destaca-se, assim como observado por Santi e Ferreira (2011), que diversos autores têm optado por utilizar métodos multicritérios em conjunto com a TCF de maneira a tratar a imprecisão da informação, principalmente àquela extraída de forma subjetiva. Dentre os trabalhos revisados, o método Electre é conjugado à TCF por Vahdani e Hadipour (2011), Kaya e Kahraman (2011), Hatami-Marbini e Tavana (2011) e Montanzer *et al.* (2009).

No entanto, uma análise mais detalhada acerca destes quatro trabalhos mostra que apesar de os modelos apresentados fazerem referência à TCF, com exceção de Vahdani e Hadipour (2011), nem todos consideram a utilização de números *fuzzy* em todos os elementos do de seus modelos. Dentre estes elementos, incluem-se, principalmente, a matriz de decisão, os valores para os pesos dos critérios de avaliação, os índices de concordância e discordância, entre outros. Veja a Seção 2 para a definição destes conceitos.

Desta maneira, propõe-se neste trabalho a elaboração de uma formulação híbrida para o método Electre II, buscando-se adaptá-lo ao processamento de dados de entrada na forma de números *fuzzy*, considerando-se este tipo de dado em todas as etapas do método. Dentre estas etapas, incluem-se àquelas relativas ao processo de geração das relações de sobreclassificação, de exploração destas relações e ao estabelecimento do *ranking* final entre as alternativas. Esta ideia é válida, pois a utilização de números *fuzzy* permite englobar um aspecto mais realista ao problema de decisão, representando-se mais fidedignamente os níveis de incerteza inerentes ao julgamento dos decisores (Zimmerman, 1992). De forma complementar, utiliza-se o método da Entropia (Pomerol e Romero, 2000), a fim de auxiliar os decisores na definição dos níveis de importância dos critérios de avaliação, haja vista que, assim como sugerem De Boer *et al.* (2001), esta definição dos critérios de avaliação figura como uma das principais etapas em um processo decisório.

Por fim, destaca-se que o modelo proposto é aplicado em um estudo de caso juntamente a uma empresa do setor hospitalar da cidade de Natal-RN. Busca-se, desta forma, avaliar os resultados gerados por este método e sua utilidade para situações reais. O restante deste texto está organizado como segue: a Seção 2 apresenta uma breve revisão de literatura contendo definições necessárias ao entendimento do modelo proposto. A Seção 3 descreve tal modelo. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos a partir do estudo de caso. A Seção 5 apresenta as considerações finais para esta pesquisa.

2. Revisão de Literatura

2.1. Teoria dos Conjuntos Fuzzy

Esta seção apresenta as principais definições e conceitos relativos à TCF. Tais definições são indispensáveis ao bom entendimento deste trabalho. Pode-se encontrá-los em Zimmerman (1992) com maior detalhamento.

Definição 1: Um conjunto *fuzzy* \tilde{A} pertencente a um universo de discurso X é um conjunto discreto $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$, no qual $\mu_{\tilde{A}}(x)$ é a função que define o grau de pertinência de x em \tilde{A} em um intervalo $[0,1]$.

Definição 2: Um número *fuzzy* trapezoidal \tilde{n} é definido como uma quádrupla $\tilde{n} = (n_1; n_2; n_3; n_4)$. Para dado $x \in \mathbb{R}$, a função de pertinência de x em \tilde{n} é calculada como:

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1 \\ \frac{x-n_1}{n_2-n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ 1, & n_2 \leq x \leq n_3 \\ \frac{x-n_4}{n_3-n_4}, & n_3 \leq x \leq n_4 \\ 0, & x > n_4 \end{cases} \quad (1)$$

Para o caso em que as componentes n_2 e n_3 têm mesmo valor, diz-se que \tilde{n} é um número *fuzzy* triangular. A Figura 1 apresenta um exemplo de um número *fuzzy* trapezoidal.

Definição 3: Dados dois números *fuzzy* trapezoidais $\tilde{a} = (a_1; a_2; a_3; a_4)$ e $\tilde{b} = (b_1; b_2; b_3; b_4)$, define-se a soma (\oplus) e a subtração (\ominus) *fuzzy* entre estes números como, respectivamente:

$$\tilde{a} \oplus \tilde{b} = (a_1 + b_1; a_2 + b_2; a_3 + b_3; a_4 + b_4) \quad (2)$$

$$\tilde{a} \ominus \tilde{b} = (a_1 - b_4; a_2 - b_3; a_3 - b_2; a_4 - b_1) \quad (3)$$

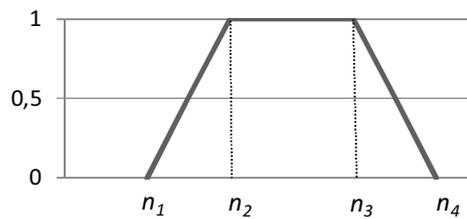


Figura 1: Número *fuzzy* trapezoidal

Definição 4: Dados dois números *fuzzy* trapezoidais $\tilde{a} = (a_1; a_2; a_3; a_4)$ e $\tilde{b} = (b_1; b_2; b_3; b_4)$, pode-se aproximar a multiplicação *fuzzy* (\otimes) por meio da seguinte equação

$$\tilde{a} \otimes \tilde{b} = (a_1 b_1; a_2 b_2; a_3 b_3; a_4 b_4) \quad (4)$$

Definição 5: Uma variável linguística é uma variável cujo valor *fuzzy* pode ser expresso por meio de um palavra, como por exemplo, *baixo*, *médio* e *alto*.

Definição 6: A ordenação de números *fuzzy*, tanto trapezoidais quanto triangulares, pode ser realizada com base no valor médio de seus termos cuja função de pertinência é igual a 1.

2.2. O Método Electre II

Os métodos Electre, assim como destacado anteriormente, consistem em uma família de métodos multicritérios, nos quais, busca-se construir uma relação de sobreclassificação entre as alternativas disponíveis para escolha para, em seguida, gerar-se uma classificação entre estas (Wang e Triantaphyllou, 2008). Para os propósitos deste trabalho, considera-se o método Electre II, de maneira similar ao modelo proposto por Chatterjee *et al.* (2010) para a seleção de robôs industriais. A notação utilizada na descrição deste método é apresentada na Tabela 1.

Índices	Parâmetros
$i =$ critério de avaliação, $C_i (i = 1, 2, \dots, N)$	$r_{ai} =$ desempenho da alternativa a com relação ao critério de avaliação i
$a, b =$ alternativas, $A_a (a = 1, 2, \dots, M)$	$w_i =$ nível de importância do critério i

Tabela 1: Notação

A relação de sobreclassificação é, basicamente, uma relação binária definida sobre um conjunto de alternativas. Isto é, dada uma alternativa A_a e uma alternativa A_b , diz-se que A_a sobreclassifica A_b ($A_a SA_b$) se há argumentos suficientes em relação aos critérios de avaliação sobre estes dois elementos para decidir se A_a é, ao menos, tão boa quanto A_b . Para se avaliar esta relação de sobreclassificação, utilizam-se duas medidas auxiliares, definidas como índice de concordância [$c(a, b)$] e índice de discordância [$d(a, b)$]. O índice de concordância mede a força da hipótese de que uma determinada alternativa a é, pelo menos, tão boa quanto uma alternativa b . O índice de discordância, por sua vez, mede a força da evidência contra esta hipótese (Wang e Triantaphyllou, 2008). Adicionalmente, limiares (do inglês, *thresholds*) são associados a estes índices, tornando-se possível definir um valor mínimo aceitável para concordância e um valor máximo aceitável para a discordância, permitindo-se uma avaliação mais rígida da hipótese de sobreclassificação.

Calcula-se o índice de concordância para cada par de alternativas a partir da seguinte equação:

$$c(a, b) = \sum_{i=1}^N g_i(a, b) w_i, \quad \forall a, b = 1, 2, \dots, M, a \neq b \quad (5)$$

em que $g_i(a, b)$ é a função que compara o desempenho das alternativas a e b em relação ao

critério de avaliação i . $g_i(a, b)$ é definida como:

$$g_i(a, b) = \begin{cases} 1.0, & \text{se } r_{ai} > r_{bi} \\ 0.5, & \text{se } r_{ai} = r_{bi} \\ 0.0, & \text{c. c} \end{cases} \quad (6)$$

O índice de discordância entre duas alternativas é calculado como:

$$d(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{se } r_{ai} \geq r_{bi} \forall i = 1, \dots, N \\ \frac{\max_i |r_{bi} > r_{ai}| (r_{bi} - r_{ai})}{\max_i (|r_{bi} - r_{ai}|)}, & \text{c. c} \end{cases}, \quad \forall a, b = 1, 2, \dots, M, a \neq b \quad (7)$$

Uma vez calculados os índices de concordância e discordância, pode-se combinar estes valores para definir a relação de sobreclassificação forte entre as M alternativas do problema de acordo com a seguinte regra (Chatterjee *et al.*, 2010):

- se $c(a, b) \geq \tau^*$ e $d(a, b) \leq \tau^-$, então a alternativa a sobreclassifica fortemente a alternativa b ;

Para esta regra, o par (τ^*, τ^-) representa, respectivamente, os limiares ou *thresholds* para os índices de concordância e discordância. De posse da informação obtida a partir da regra de sobreclassificação, pode-se estabelecer um grafo direcionado, no qual os nodos representam as alternativas e, caso uma alternativa sobreclassifique outra, deverá existir uma aresta indo em direção à alternativa sobreclassificada.

2.3. O Método da Entropia

O método da Entropia, apresentado em Pomerol e Romero (2000) é uma técnica objetiva para determinação dos pesos dos critérios de avaliação. Nesta técnica, elimina-se a necessidade de atribuição direta dos níveis de importância pelos decisores, considerando-se que a importância relativa de cada critério está diretamente atrelada ao intervalo de valores que as várias alternativas apresentam para este critério.

Por definição, assume-se que quanto maior a variabilidade de valores de dado critério, maior deverá ser sua importância, pois tal métrica oferece melhor capacidade de discriminação das alternativas. Basicamente, o cálculo dos pesos é efetuado por meio dos dados contidos na matriz de decisão normalizada $R = [r_{ai}]_{M \times N}$, utilizando-se as seguintes etapas:

Passo 1: Calcular a entropia (E_i) do critério i como:

$$E_i = - \frac{1}{\ln(M) \sum_{a=1}^M a_{ai} \ln(a_{ai})}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

Passo 2: Calcular a dispersão D_i para cada critério i como:

$$D_i = 1 - E_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

Passo 3: Calcular o peso w_i para cada critério i como:

$$w_i = \frac{D_i}{\sum_{k=1}^N D_k}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

3. O Modelo Proposto

Dado que a capacidade de tratamento da informação imprecisa configura uma necessidade no processo decisório, busca-se neste trabalho incorporar ao método Electre II, apresentado na Subseção 2.2, o trato de incertezas. Desta forma, o modelo proposto considera a modificação de (5) e (7), de maneira que os índices de concordância e discordância sejam

calculados como números *fuzzy*, possibilitando-se assim a utilização de termos linguísticos quando da avaliação das alternativas pelos decisores.

Desta forma, propõe-se a modificação de (5) para:

$$\tilde{c}(a, b) = \sum_{i=1}^N g_i^*(a, b) \tilde{w}_i, \quad \forall a, b = 1, 2, \dots, M \quad (11)$$

em que g_i^* é uma função semelhante a (6). Porém, g_i^* compara o desempenho das alternativas a e b em relação a cada critério de avaliação i considerando que os indicadores de desempenho são números *fuzzy* (\tilde{r}_{ai}).

Propõe-se também a modificação de (7) para:

$$\tilde{d}(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{se } \tilde{r}_{ai} \geq \tilde{r}_{bi}, \forall i = 1, \dots, N \\ \frac{\max_{i | \tilde{r}_{bi} > \tilde{r}_{ai}} (\tilde{r}_{bi} - \tilde{r}_{ai})}{\max_i vd(\tilde{r}_{ai}, \tilde{r}_{bi})}, & \text{c. c.} \end{cases}, \quad \forall a, b = 1, 2, \dots, M \quad (12)$$

em que $vd(\tilde{r}_{ai}, \tilde{r}_{bi})$ corresponde à distância entre dois números *fuzzy*, definida em Chen *et al.* (2006) como:

$$vd(\tilde{r}_{ai}, \tilde{r}_{bi}) = \sqrt{\frac{1}{4} [(r_{ai1} - r_{bi1})^2] + (r_{ai2} - r_{bi2})^2 + (r_{ai3} - r_{bi3})^2 + (r_{ai4} - r_{bi4})^2} \quad (13)$$

A partir deste ponto, calculados os índices de concordância e discordância, pode-se estabelecer a relação de sobreclassificação entre as alternativas, analogamente à definição dada na Subseção 2.2, construindo-se o grafo de sobreclassificação. No entanto, destaca-se que os limiares de sobreclassificação forte são também dados por números *fuzzy*, ou termos linguísticos. Denotam-se estes valores pelo par $(\tilde{\tau}^*, \tilde{\tau}^-)$.

Finalmente, propõe-se o cálculo de dois índices complementares para o estabelecimento de um *ranking* entre as alternativas, analogamente a Chatterjee *et al.* (2010), modelo no qual os autores definem o índice de concordância pura (*ICP*) e o índice discordância pura (*IDP*) a partir de valores *crisp*. Para o modelo proposto, calculam-se o índice *fuzzy* de concordância pura (\widehat{IFCP}_a) e o índice *fuzzy* de discordância pura (\widehat{IFDP}_a), respectivamente dados por:

$$\widehat{IFCP}_a = \sum_{b=1}^M \tilde{c}(a, b) - \sum_{b=1}^M \tilde{c}(b, a), \quad \forall a = 1, 2, \dots, M, a \neq b \quad (14)$$

$$\widehat{IFDP}_a = \sum_{b=1}^M \tilde{d}(a, b) - \sum_{b=1}^M \tilde{d}(b, a), \quad \forall a = 1, 2, \dots, M, a \neq b \quad (15)$$

A partir destes dois indicadores as alternativas consideradas devem ser ordenadas em ordem descendente pelo valor do \widehat{IFCP}_a e em ordem ascendente pelo valor do \widehat{IFDP}_a . A posição no *ranking* final de cada alternativa é dada pela sua posição média nestes dois *rankings* intermediários.

3.1. Algoritmo Para a Aplicação do Modelo Proposto

Considerando-se as definições dadas para a abordagem proposta, bem como o referencial teórico apresentado na Seção 2, sumariza-se o modelo proposto nas seguintes etapas:

Passo 1: Definir o conjunto de critérios que melhor representa as necessidades da empresa ou instituição compradora em relação à dado serviço ou produto;

Passo 2: Obter, conjuntamente aos gestores envolvidos no processo decisório, uma matriz de decisão $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ai}]_{N \times M}$ contendo os julgamentos dos níveis de desempenho de cada alternativa a em relação cada critério de avaliação i . Para tal, devem-se utilizar os termos linguísticos apresentados na Tabela 2;

Passo 3: Obter o valor do peso (\tilde{w}_i) para cada critério de avaliação i , utilizando-se para isto matriz *fuzzy* de decisão \tilde{R} , convertendo-se seus valores para dados *crisp*. Para esta etapa,

especialmente, propõe-se a utilização do método da Entropia (Pomerol e Romero, 2000), como descrito na Subseção 2.3. Destaca-se que ao final do cálculo dos pesos, os valores obtidos devem ser convertidos para números *fuzzy*, ajustando-se tais valores em conjunto com os decisores e levando em consideração os termos linguísticos apresentados na Tabela 3;

Variável	Abreviatura	Valor <i>fuzzy</i>
Extremamente Indesejável	EI	(0; 0; 0,1; 0,2)
Indesejável	I	(0,1; 0,2; 0,3; 0,4)
Aceitável	A	(0,3; 0,4; 0,5; 0,6)
Desejável	D	(0,5; 0,6; 0,7; 0,8)
Extremamente Desejável	ED	(0,7; 0,9; 1, 1)

Tabela 2: Termos linguísticos para a avaliação do desempenho das alternativas

Variável	Abreviatura	Valor <i>fuzzy</i>
Não importante	NI	(0,0, 0,10, 0,20, 0,3)
Moderadamente Importante	MO	(0,2, 0,30, 0,40, 0,5)
Importante	I	(0,4, 0,50, 0,60, 0,7)
Muito Importante	MI	(0,6, 0,70, 0,80, 0,9)
Extremamente Importante	EI	(0,8, 0,85, 0,95, 1,0)

Tabela 3: Termos linguísticos para o desempenho das alternativas

Passo 4: Definir um par $(\tilde{\tau}^*, \tilde{\tau}^-)$ para representar os limiares de concordância e discordância, a fim de estabelecer uma relação de sobreclassificação forte entre todas as alternativas. Deve-se utilizar para isto os seguintes termos linguísticos: Extremamente Baixo (EB), Muito Baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A), Muito Alto (MA) e Extremamente Alto (EA). Os valores para estes termos serão calculados com base nos valores máximos e mínimos obtidos para os índices concordância e discordância, distribuindo-se uniformemente os valores entre estes intervalos na forma de números *fuzzy* triangulares;

Passo 5: Calcular os índices de concordância e discordância *fuzzy* para todas as alternativas por meio de (11) e (12), respectivamente;

Passo 6: Construir o grafo de sobreclassificação das alternativas;

Passo 7: Estabelecer o *ranking* final por meio do cálculo dos os índices de *fuzzy* concordância e discordância pura, dados em (14) e (15).

4. Estudo de Caso

A fim de testar o modelo proposto, aplicou-se o mesmo em um estudo de caso realizado em conjunto com uma empresa hospitalar da cidade de Natal-RN, cujo nome é preservado a pedido de seus gestores. Desta forma, considera-se a decisão de escolher um fornecedor para a compra de um item de uso frequente no atendimento clínico da empresa. A Subseção 4.1 apresenta as etapas de levantamento de dados para utilização do modelo, correspondente aos três primeiros passos do método. Por fim, a Subseção 4.2 apresenta os resultados obtidos a partir da computação do modelo proposto.

4.1. Dados de Entrada

Para a aquisição dos dados utilizados neste experimento, realizou-se uma série de entrevistas com um gerente de compras da empresa-alvo. Em um primeiro momento, procurou-se identificar os critérios que a empresa utiliza em seu sistema de seleção de fornecedores para a compra do item considerado, de acordo com o Passo 1. Os critérios extraídos durante esta entrevista são apresentados na Tabela 4.

Concluída a etapa de definição dos critérios, realizou-se uma segunda entrevista com o gerente para se estabelecer os candidatos a fornecedor, bem como seus respectivos desempenhos em relação a cada um dos critérios, assim como definido no Passo 2. Destaca-se que esta etapa foi facilitada, dado que a empresa dispõe de um sistema ERP, contendo dados históricos sobre seus processos de compra e fornecedores. A partir da entrevista conduzida com o decisor, da

análise dos dados coletados e da fuzificação dos mesmos, obtiveram-se os dados apresentados na Tabela 5, a qual a apresenta o desempenho de cada um dos fornecedores com relação a cada um dos critérios de avaliação.

C_i	Descrição do critério
C_1	Preço
C_2	Condições de Pagamento
C_3	Atendimento
C_4	Certificação
C_5	Lote/prazo de validade
C_6	Condições de embalagem e/ou aspecto físico do produto
C_7	Pontualidade da entrega

Tabela 4: Critérios de avaliação de fornecedores utilizados pela empresa

A_a	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	A	D	ED	A	EI	I	D
A_2	ED	A	EI	ED	ED	EI	ED
A_3	ED	D	A	ED	ED	ED	EI
A_4	ED	A	A	ED	EI	EI	EI
A_5	A	A	D	A	ED	D	EI
A_6	ED	A	D	A	ED	A	I
A_7	A	I	ED	A	D	ED	ED
A_8	I	EI	EI	A	I	A	EI
A_9	I	D	EI	A	A	A	EI
A_{10}	ED	ED	D	ED	ED	ED	D

Tabela 5: Avaliação do gerente de compras para as alternativas apresentadas

Por fim, finalizando-se o processo de levantamento dos dados, aplicou-se o Passo 3 do método proposto, determinando-se o peso de cada critério. Neste ponto, considerou-se o método da Entropia como primeira estratégia para se identificar quais critérios tinham maior capacidade de discriminação das alternativas. Posteriormente, consultou-se o gerente de compras para avaliar o resultado obtido, buscando-se ajustar os pesos de acordo com a política de compra da empresa. A Tabela 6 apresenta o resultado obtido para este passo. Destaca-se que os níveis de importância estabelecidos pelo decisor evidenciam as particularidades do contexto do estudo de caso. Note, por exemplo, que o critério relativo à entrega é um dos mais importantes, haja vista que, como o material é utilizado no atendimento clínico da empresa, não pode ficar em falta, independentemente do valor a ser pago pelo item. Note, portanto, que neste caso critério “Preço” não está dentre os critérios mais importantes.

C_i	E_i	D_i	w_i	\tilde{w}_i
C_1	0,94320	0,05679	0,09805	MO
C_2	0,94906	0,05093	0,08794	MO
C_3	0,90615	0,09385	0,16203	EI
C_4	0,96478	0,03521	0,06080	MO
C_5	0,91288	0,08711	0,15040	MI
C_6	0,90937	0,09062	0,15646	MI
C_7	0,83533	0,16467	0,28429	EI

Tabela 6: Peso dos critérios de avaliação

A Subseção 4.2 descreve o processamento dos dados obtidos, apresentando também a análise dos resultados gerados.

4.2. Resultados e Discussão

Para o processamento dos dados obtidos nos Passos 1-3, criou-se uma aplicação na plataforma JavaTM, automatizando-se os Passos 4-7. Esta implementação inclui a apresentação dos resultados em modo gráfico, facilitando-se a interpretação dos mesmos. Todos os resultados parciais, como por exemplo, as matrizes de concordância e discordância calculadas podem ser visualizados a partir do material suplementar, disponível em “<http://gourl.gr/uat>”.

Como parâmetro de execução, definiu-se o par $(\tilde{\tau}^*, \tilde{\tau}^-)$ como $\tilde{\tau}^* = \text{Médio}$ e $\tilde{\tau}^- = \text{Baixo}$, baseando-se, sobretudo, nas definições de preferência do decisor. Destaca-se que, assim como explicado anteriormente, as funções de pertinência para os limiares de concordância e discordância foram criadas automaticamente, distribuindo-se uniformemente os termos linguísticos definidos entre os valores máximos e mínimos presentes nas matrizes calculadas. Em caso de “empates”, pode-se também ajustar os limiares para que haja mais liberdade na geração da relação de sobreclassificação.

Pode-se verificar que o menor valor encontrado na matriz de concordância é 0,66, enquanto que o maior é 5,91. Logo, os termos linguísticos associados aos limiares de concordância foram definidos no intervalo [0,66 ; 5,91]. Analogamente, o menor valor encontrado na matriz de discordância foi 0,43, enquanto que maior foi 3,86, ou seja, obteve-se o intervalo [0,43 ; 3,86]. Assim, o termo linguístico Médio, para o limiar de concordância forte, está relacionado com o número *fuzzy* (2,63; 3,29; 3,94). Por sua vez, o termo linguístico Baixo, para o limiar de discordância forte, está relacionado com o número *fuzzy* (1,29; 1,71; 2,14). Veja a Figura 2.

O grafo de sobreclassificação gerado a partir dos limiares $(\tilde{\tau}^*, \tilde{\tau}^-)$ é apresentado na Figura 3, na qual é possível constatar que as alternativas A_2, A_3, A_7 e A_{10} não são sobreclassificadas por nenhuma outra, caracterizando-se, portanto, como as mais preferíveis. Em especial, verifica-se que a alternativa A_2 sobreclassifica outras seis, ao passo que as demais (A_3, A_7 e A_{10}) sobreclassificam apenas outras duas. Esta é uma primeira evidência que a alternativa A_2 é a mais indicada.

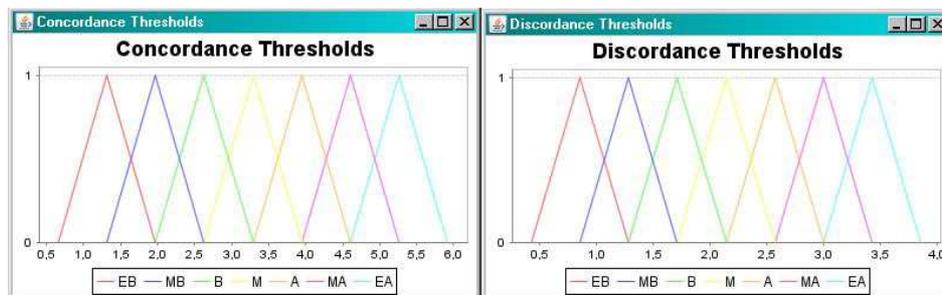


Figura 2: Limiares de sobreclassificação forte

Por fim, para se estabelecer o ranking final das alternativas, utiliza-se a posição média de cada alternativa nos *rankings* estabelecidos pelo \widehat{IFCP}_a e pelo \widehat{IFDP}_a . A Figura 4 apresenta os resultados finais gerados pelo método proposto, a partir dos quais se tem a seguinte ordem de classificação: $A_2 > A_{10} > A_7 > A_3 > A_4 > A_1 \sim A_8 > A_5 > A_6 > A_9$.

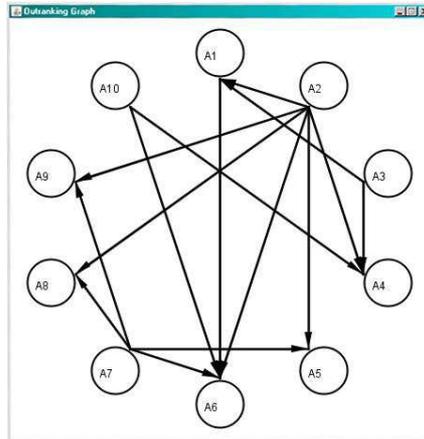


Figura 3: Relação de sobreclassificação forte entre as alternativas

Alternative	Final Positi...	Pure Concordance Index	Partial Position	Pure Discordance Index	Partial Position
A2	1.0	(8,35; 13,75; 20,05; 25,45)	1	(-13,92; -8,95; -2,32; 5,3)	1
A10	2.5	(-0,65; 4,75; 11,05; 16,45)	3	(-14,99; -8,93; -0,74; 8,32)	2
A7	3.0	(3,15; 8,55; 14,85; 20,25)	2	(-12,88; -4,76; 4,13; 13,2..)	4
A3	3.5	(-0,95; 4,45; 10,75; 16,15)	4	(-13,91; -6,17; 2,58; 11,3)	3
A4	5.5	(-13,1; -7,7; -1,4; 4)	5	(-9,33; -2,81; 4,82; 12,66)	6
A8	6.5	(-15,1; -9,7; -3,4; 2)	8	(-12,18; -3,77; 4,35; 9,66)	5
A1	6.5	(-13,3; -7,9; -1,6; 3,8)	6	(-11,93; -3,52; 5,62; 13,8)	7
A5	8.0	(-13,3; -7,9; -1,6; 3,8)	7	(-10,67; -1,37; 7,51; 14,7)	9
A6	9.0	(-22,6; -17,2; -10,9; -5,5)	10	(-7,95; -0,99; 6,08; 12,59)	8
A9	9.5	(-18; -12,6; -6,3; -0,9)	9	(-7,73; 0,7; 8,57; 13,91)	10

Figura 4: Ranking final das alternativas

5. Considerações Finais

O presente trabalho apresentou um modelo de seleção de fornecedores baseado no método Electre II e em lógica *fuzzy*, haja vista as características positivas de ambas as abordagens e que tal composição é ainda pouco explorada na literatura. O modelo proposto foi implementado em linguagem Java™ para melhor condução dos experimentos e avaliação dos resultados, sendo que estes foram obtidos a partir de um estudo de caso, considerando-se diversas entrevistas com o gerente de compras de uma empresa do setor hospitalar da cidade de Natal-RN. Foram necessários estes encontros para adequar os resultados finais à preferência do decisor. Ao final do experimento, constatou-se que o modelo elaborado é flexível no trato do problema, robusto em relação aos resultados produzidos e capaz de captar com eficiência o julgamento do especialista mediante incerteza.

De forma complementar, a identificação dos critérios mais importantes para a discriminação das alternativas, feita por meio do método da Entropia (veja a Subseção 2.3) figura como uma das características diferenciais do modelo proposto, auxiliando o decisor na priorização prévia dos critérios de avaliação. O modelo proposto ainda facilita a tarefa de ajuste destes valores, pois permite a utilização de variáveis linguísticas para a sua definição final, bem como para expressar o desempenho das alternativas e limiares de sobreclassificação. Por fim, a visualização gráfica implementada das relações de sobreclassificação auxilia e agiliza a interpretação dos resultados finais, pois evita sua elaboração manual.

A continuidade deste trabalho inclui o aprimoramento do modelo proposto para que se possa tratar um número maior de alternativas. Pretende-se dimensionar qual o número máximo de candidatos para o qual a abordagem proposta é capaz de realizar uma boa discriminação. Além disto, considera-se sua aplicação em outros contextos, adequando-a às necessidades de diferentes empresas compradoras.

Referências Bibliográficas

- Azadeh, A.; Alem, S. M.** A flexible deterministic, stochastic and fuzzy Data Envelopment Analysis approach for supply chain risk and vendor selection problem: Simulation analysis. *Expert Systems with Applications*, v. 37, p. 7438-7448, 2010.
- Bowersox, D.; Closs, D.; Cooper, M. B.** Supply chain logistics management. McGraw-Hill. Nova Iorque, 2002.
- Chatterjee, P.; Athawale, V. M.; Chakraborty, S.** Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v.26:5, p. 483-489, 2010.
- Chen, Y-J.** Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Science*, v. 181, p. 1651-1670, 2011.
- Chen, C.-T.; Lin, C.-T.; Huang, S-F.** A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, v. 102, p. 289-301, 2006.
- De Boer, L.; Labro, E.; Morlacchi, P.** A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 7, 75-89, 2001.
- Degraeve, Z.; Labro, E.; Roodhooft, F.** An evaluation of supplier selection methods from a Total Cost of Ownership perspective. *European Journal of Operational Research*, 125:1, 34-59, 2000.
- Glock, C. H.** A multiple-vendor single-buyer integrated inventory model with a variable number of vendors. *Computers & Industrial Engineering*, v. 60, p. 173-182, 2011.
- Golmohammadi, D.; Creese R. C.; Valian H.; Kolassa J.** Supplier Selection Based on a Neural Network Model Using Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 20:9, 2009.
- Hatami-Marbini, A.; Tavana, M.** An extension of the fuzzy Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment. *Omega*, v. 39, p. 373-386, 2011.
- Ho, W.; Xu, X.; Dey, P. K.** Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 202, p. 16-24, 2010.
- Hwang, C.-L.; Yoon, K.** Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey. Berlin – Heidelberg – New York, 1981.
- Kaya, T.; Kahraman, C.** An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 8553-8562, 2011.
- Keskin, G. A.; Ilhan, S.; Özkan, C.** The Fuzzy ART algorithm: A categorization method for supplier evaluation and selection. *Expert Systems with Applications*, v. 37, p. 1235-1240, 2010.
- Kheljani, J. G.; Ghodsypour, S.H.; O'Brien, C.** Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection. *Int. J. Production Economics*, v. 121, p. 482-493, 2009.
- Kuo, R. J.; Wang, Y. C.; Tien, F. C.** Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 1161-1170, 2010.
- Lee, A. H. I.** A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 2879-2893, 2009.
- Lee, A. H. I.; Kang, H-Y.; Hsu, C-F.; Hung, H-C.** A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 7917-7927, 2009.
- Lee, C. C.; Ou-Yang, C.** A neural networks approach for forecasting the supplier's bid prices in supplier selection negotiation process. *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 2961-2970, 2009.
- Liao, C.-N.; Kao, H.-P.** An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 10803-10811, 2011.
- Lin, R-H.; Chuang, C-L.; Liou, J. J. H.; Wu, G-D.** An integrated method for finding key suppliers in SCM. *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 6461-6465, 2009.

- Mafakheri, F.; Breton, M.; Ghoniem, A.** Supplier selection-order allocation: a two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *International Journal of Production Economics*, v. 132, p. 52-57, 2011.
- Montanzer, G. A.; Saremi, H. Q.; Ramezani, M.** Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection, *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 10837-10847, 2009.
- Ordoobadi, S. M.** Development of a supplier selection model using fuzzy logic. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 14:4, p. 314-327, 2009.
- Pomerol, J. C., Romero, S. B.** *Multicriteria Decision in Management: Principle and Practice*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Roy, B.** Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)*, v. 8, p. 57-75, 1968.
- Saaty, T. L.** *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 1996.
- Saaty, T. L.** Multicriteria decision making: the analytic hierarchical process. Planning, priority setting, resource allocation. Auflage. RWS Publishing, Pittsburgh, 1990
- Saen, R. F.** Restricting weights in supplier selection decisions in the presence of dual-role factors. *Applied Mathematical Modelling* v. 34, p. 2820-2830, 2010.
- Santi, E.; Ferreira, L.** Uma análise da seleção de fornecedores com base em conceitos de Supply Chain Management. XIV Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais SIMPOI, São Paulo, 2011.
- Sawik, T.** Selection of supply portfolio under disruption risks. *Omega*, v. 39, p. 194-208, 2011a.
- _____. Supplier Selection in make-to-order environment with risks. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 53, p. 1670-1679, 2011b.
- Shen, C-Y.; Yu, K-T.** Enhancing the efficacy of supplier selection decision-making on the initial stage of new product development: A hybrid fuzzy approach considering the strategic and operational factors simultaneously. *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 11271-11281, 2009.
- Shih, K-H.; Lin, B.** Supplier evaluation model for computer auditing and decision-making analysis. *Kybernetes*, v. 38:9, p. 1439-1460, 2009.
- Thanassoulis, E.** Assessing police forces in England and Wales using data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, v. 87:3, p. 641-657, 1995.
- Vahdani, B.; Hadipour, H.** Extension of the ELECTRE method based on interval-valued fuzzy sets. *Soft Computing*, v. 15, p. 569-579, 2011.
- Wang, W-P.** A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. *Applied Mathematical Modelling*, v. 34, p. 3130-3141, 2010.
- Wang, T-Y.; Yang Y-H.** A fuzzy model for supplier selection in quantity discount environments. *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 12179-12187, 2009.
- Wang, X.; Triantaphyllou, E.** Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega*, v. 36:1, p. 45-63, 2008.
- Wu, D. D.; Zhang, Y.; Wu, D.; Olson, D. L.** Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and risk modeling: A possibility approach. *European Journal of Operational Research* v. 200, p. 774-787, 2010.
- Yeh, W.-C.; Chuang, M.-C.** Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Systems with Applications*, v. 38:4, 4244-4253, 2011.
- Yücel, A.; Güneri, A. F.** A weighted additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 6281-6286, 2011
- Zhao, K.; Yu, X.** A case-based reasoning approach on supplier selection in petroleum enterprises. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 68-39-6847, 2011
- Zimmerman, H.-J.** *Fuzzy Sets: Theory and Applications*. Kluwer Academics Publisher Groups 4 ed., Norwel, 1992.
- ZolghadrI, M.; Eckert, C.; Zouggar, S.; Girard, P.** Power-based supplier selection in product development projects. *Computers in Industry*, v. 62, p. 487-500, 2011