



Apoio à Tomada de Decisão no Setor de Petróleo e Gás Brasileiro

Antonio Marcos Duarte Júnior

Faculdades Ibmecc/RJ & DEIN/UERJ

Av. Presidente Wilson, 118, Centro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: antoniomarcosdj@uerj.br

Guilherme Velloso Agum

DEIN/UERJ

Rua São Francisco Xavier, 524, 5º andar, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: gveloso90@gmail.com

RESUMO

Consideramos o problema da gestão de cadeias de suprimentos em empresas no setor de petróleo e gás brasileiro. Utilizamos a análise de decisão multicritério com a modelagem matemática *fuzzy* para a seleção dos fornecedores tendo como base um conjunto de critérios estabelecido pelos tomadores de decisão. Um exemplo numérico com dados reais é utilizado para ilustrar a aplicação prática da metodologia proposta. Análises de sensibilidade são realizadas e seus resultados comentados para melhor embasar o processo de tomada de decisão. A metodologia resultante se provou consistente do ponto de vista teórico e de fácil assimilação por parte dos administradores e engenheiros que a utilizaram na prática, além de ter oferecido resultados coerentes e em linha com as expectativas gerais dos tomadores de decisão.

Palavras-chave: Análise de Decisão Multicritério, Gestão de Cadeia de Suprimentos, Matemática *Fuzzy*, TOPSIS.

Áreas de Interesse: P&G, ADM, L&T, IND.

Multicriteria Decision Making Applied to the Brazilian Oil & Gas Sector

Abstract

We consider the supply chain management problem in companies operating in the Brazilian oil & gas economic sector. We apply a multicriteria decision making method combined with *fuzzy* mathematics to select products and suppliers in accordance to the opinion of senior management. A real-world numerical example is presented in order to illustrate the use of the proposal. Sensitivity analyses are performed, and their results commented to enrich the decision process. The methodology proposed proved to be sound from the theoretical point of view, easy to understand by engineers and managers who used it in practice, having also provided consistent results in line with the general expectations of senior management.

Keywords: Fuzzy Mathematics, Multicriteria Decision Making, Supply Chain Management, TOPSIS.

Areas: P&G, ADM, L&T, IND.



Introdução

O processo de seleção de fornecedores tem sido reconhecido como fundamental para um bom desempenho futuro das empresas (STADLER *et al.*, 2015). Não por coincidência, a literatura relacionada a este assunto se desenvolveu de forma acelerada nos últimos trinta anos como revisto em Ho *et al.* (2010), o que acabou levando a propostas cada vez mais sofisticadas do ponto de vista de demanda de dados, modelagem matemática e da efetiva interação entre contratantes e contratados.

Dentre as diferentes abordagens propostas para a seleção de fornecedores a maior parte está baseada no uso de técnicas quantitativas de auxílio à tomada de decisão como, por exemplo, *data envelopment analysis* (SONGHORI *et al.*, 2011), modelos de otimização (OZKOK *et al.*, 2011), redes neurais (CHOY *et al.*, 2003), algoritmos genéticos (YEH *et al.*, 2011) e modelos estatísticos (PETRONI *et al.*, 2000). A abordagem quantitativa mais utilizada, entretanto, tem sido a Análise de Decisão Multicritério (ADM) como ilustrado por Alencar *et al.* (2008), Buyukozkan *et al.* (2011), Guarnieri *et al.* (2015), Ensslin *et al.* (2013), Ku *et al.* (2010), Liao *et al.* (2011) e Wang *et al.* (2004), dentre outros.

A ADM é particularmente útil na solução do problema de seleção de fornecedores dada a diversidade de critérios que devem ser adotados para a comparação dos candidatos, alguns quantitativos, outros qualitativos, muitos conflitantes entre si (BELTON *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2014; ISHIZAKA *et al.*, 2013).

As empresas contratantes necessitam escolher critérios específicos às suas próprias realidades quando da seleção de seus fornecedores (MAUERGAUZ, 2016). Por exemplo, empresas de setores econômicos diferentes acabam por adotar conjuntos de critérios distintos, o que torna cada problema de seleção de fornecedores singular. Em outros termos, embora existam alguns critérios que apareçam usualmente nas especificações dos problemas de seleção de fornecedores, como custo, prazo de entrega e qualidade do serviço (VIANA *et al.*, 2012), é natural esperar que os critérios adotados por um grande hospital ao selecionar seus fornecedores para instrumentação cirúrgica difiram dos critérios adotados por uma empresa do setor de petróleo e gás que seleciona fornecedores de equipamentos para a sondagem do subsolo marinho. A implicação prática desta constatação é que, embora seja possível o estabelecimento de um arcabouço genérico para o problema de seleção de fornecedores (BOZARTH *et al.*, 2008), os detalhes da cada situação acabam por levar à customização de soluções, caso contrário os resultados podem vir a comprometer o desempenho futuro da empresa contratante.

Os critérios usados na análise e seleção de fornecedores apresentam incertezas, dado que resultam de projeções, ou requerem opiniões qualitativas (oriundas de julgamentos ou percepções) de profissionais como engenheiros e administradores. As incertezas devem ser modeladas matematicamente, sendo uma possibilidade a adoção da matemática *fuzzy* (KAUFMANN *et al.*, 1985; KLIR *et al.*, 1995). Portanto, resulta interessante o uso da ADM em conjunto com os conceitos da matemática *fuzzy* para a melhor modelagem matemática do processo de tomada de decisão quando da seleção de fornecedores (KAHRAMAN, 2008). Neste trabalho utilizamos uma extensão da metodologia *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) de Hwang *et al.* (1981) a qual incorpora conceitos da matemática *fuzzy* (a qual denominamos simplesmente TOPSIS *Fuzzy* no restante desse trabalho).

Para fins de ilustração do potencial da metodologia proposta, consideramos nesse artigo uma grande empresa do setor de petróleo e gás com atuação internacional que busca contratar um fornecedor no Brasil. O processo de seleção está dividido em cinco etapas:

- i. A demanda de alguma unidade interna por determinado produto/serviço é identificada. As áreas internas de empresa de Logística & Suprimentos e Engenharia são convocadas para uma reunião com o objetivo de elaboração de um edital de concorrência. A área de Logística & Suprimentos torna-se a responsável pela análise comercial (preços e prazos para pagamento e entrega) dos possíveis fornecedores, enquanto a área de Engenharia fica



- responsável pela análise técnica (segurança, conformidade etc.) das propostas. Em outros termos, as áreas, em conjunto, delimitam o escopo, valores e requisitos (incluindo prazos) que os fornecedores devem satisfazer, e os publicam no edital de concorrência.
- ii. Assim que o processo de concorrência se encontra aberto, com as informações sobre as necessidades a serem atendidas disponibilizadas, diferentes fornecedores se apresentam e provêm respostas aos questionamentos feitos no edital. As áreas de Logística & Suprimentos e Engenharia ficam responsáveis pela coleta e análise inicial das informações disponibilizadas pelos concorrentes e, caso surja alguma dúvida, até mesmo pela efetuação de uma diligência prévia.
 - iii. A análise dos concorrentes é realizada em conjunto pelas três áreas internas envolvidas (a área interna que originou a demanda, assim como as áreas de Logística & Suprimentos e Engenharia) com o uso da metodologia multicritério *fuzzy* descrita neste artigo.
 - iv. Uma reunião é marcada para a escolha final dos fornecedores selecionados, a qual resultará em encaminhamento para a diretoria executiva para homologação, etapa esta seguida pela assinatura dos contratos.
 - v. Uma vez assinados os contratos, o processo de entrega e instalação do produto/serviço é realizado, devidamente acompanhado pelas áreas de Logística & Suprimentos e Engenharia.

Em termos de organização, na próxima seção apresentamos detalhes da proposta para a seleção de fornecedores, como a definição do conjunto de critérios adotados, especificação e obtenção das importância relativas dos critérios, avaliação inicial dos candidatos, assim como descrição detalhada da variante TOPSIS *Fuzzy* utilizada nos exemplos numéricos. Na terceira seção apresentamos os resultados numéricos obtidos, com ênfase nas várias análises de sensibilidade realizadas para a melhor compreensão dos impactos das informações disponibilizadas para o processo de tomada de decisão. Na quarta seção apresentamos as conclusões e direções futuras para pesquisa.

1. Metodologia

2.1 Critérios

Como é razoável supor, a análise dos possíveis fornecedores envolve a consideração de múltiplos critérios, sendo a adoção da ADM apropriada do ponto de vista de modelagem matemática.

Na empresa considerada neste artigo são considerados doze critérios para a análise dos fornecedores e suas propostas: três critérios são de origem comercial, enquanto nove de origem técnica. A descrição dos critérios é oferecida na Tabela 2.1, onde podemos observar que:

- i. Os três critérios de origem comercial cobrem o preço do serviço (em R\$), prazo para a execução do trabalho (em dias úteis) e condições para a quitação do pagamento (em dias corridos). Os três critérios comerciais são quantitativos, e são analisados pela área de Logística & Suprimentos da empresa.
- ii. Os nove critérios de natureza técnica cobrem pontos relativos ao fornecedor e produto/serviço necessitado. Neste caso, cada critério envolve a resposta dada por um engenheiro a um questionamento puramente técnico, sendo admitidas apenas duas possibilidades em cada caso: “sim” (caso o fornecedor atenda determinada condição) ou “não” (caso o fornecedor não atenda determinada condição). Os nove critérios técnicos são de natureza qualitativa/julgamental, sendo úteis para avaliar um determinado fornecedor positivamente (respostas “sim”) ou negativamente (respostas “não”) de acordo com a área de Engenharia da empresa.



Tabela 2.1. Definição dos Critérios

| Critério | Descrição | Classificação |
|-------------------|--|--------------------------|
| Preço (C1) | Valor final pago ao fornecedor (em R\$), incluindo transporte, seguros e impostos. | Comercial e quantitativo |
| Prazo (C2) | Prazo total (em dias úteis) após a assinatura do contrato que o fornecedor necessitará para executar todas as tarefas necessárias (produção, transporte, montagem, treinamento e início de operação) | Comercial e quantitativo |
| Quitação (C3) | Prazo total (em dias corridos) que a empresa terá para pagar o fornecedor após a assinatura do contrato. | Comercial e quantitativo |
| Entendimento (T1) | Avaliação feita pela equipe técnica (após entrevista) se o fornecedor efetivamente compreendeu o escopo do serviço demandado. | Técnico e qualitativo |
| Reputação (T2) | Avaliação da boa reputação do fornecedor no mercado, considerando entregas passadas (mesmo que para empresas concorrentes) no que se refere a prazos e qualidade. | Técnico e qualitativo |
| Capacidade (T3) | Avaliação sobre o bom quadro de pessoal e parque de produção do fornecedor, incluindo equipamentos de contingência. | Técnico e qualitativo |
| Programação (T4) | Avaliação da viabilidade da programação de entrega proposta pelo fornecedor para a empresa diante da possibilidade de entregas parciais, desde que não haja comprometimento do cronograma final. | Técnico e qualitativo |
| Experiência (T5) | Avaliação da experiência prévia do fornecedor na área específica da demanda (mesmo que para empresas concorrentes) no que se refere a entregas já realizadas com sucesso. | Técnico e qualitativo |
| Conformidade (T6) | Avaliação (possivelmente após <i>due diligence</i>) relativa à efetiva adequação da estrutura do fornecedor às especificações do contrato assinado. | Técnico e qualitativo |
| Aquisições (T7) | Avaliação se o fornecedor já possui todas os equipamentos para a execução da demanda, ou se aquisições serão necessárias desde que sem impacto no prazo de entrega estipulado no contrato. | Técnico e qualitativo |
| Informação (T8) | Avaliação da capacidade do fornecedor em reter toda informação técnica relativa ao pedido sem que concorrentes tenham acesso à mesma para uso futuro. | Técnico e qualitativo |
| Completude (T9) | Avaliação se um determinado fornecedor é capaz de suprir toda a demanda feita ou se será necessário contratar outros fornecedores para completar necessidades específicas. | Técnico e qualitativo |

2.2 Avaliação Inicial dos Candidatos

Uma vez identificados os candidatos interessados em participar da concorrência, a área de Logística & Suprimentos recebe as respostas dos candidatos para os três critérios comerciais, enquanto a área de Engenharia elabora (com base em dados recebidos, entrevistas ou *due diligence*) suas indicações relativas aos nove critérios técnicos.

Como um exemplo real consideremos o exemplo utilizado nesse trabalho, o qual apresenta sete candidatos a fornecedores e suas propostas. Por razões de sigilo comercial estes possíveis fornecedores são denotados por F1, F2, F3, F4, F5, F6 e F7 no restante do trabalho. As informações relativas à análise desses fornecedores de acordo com os doze critérios estão resumidas na Tabela 2.2, onde “S” sinaliza uma resposta afirmativa para um questionamento técnico, enquanto “N” sinaliza uma resposta negativa. Por exemplo, para o fornecedor F1 o preço dado foi de R\$722.022, sendo a resposta dada pela área de Engenharia para o nono critério técnico T9 (completude, conforme a Tabela 2.1) “sim”.

Tabela 2.2. Resultado da Avaliação Inicial de Sete Candidatos

| Fornecedor | C1 | C2 | C3 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
|------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| F1 | R\$722.022 | 20 | 27 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| F2 | R\$262.845 | 45 | 30 | N | N | N | S | N | N | S | N | N |
| F3 | R\$555.250 | 30 | 45 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| F4 | R\$541.610 | 18 | 45 | S | N | N | S | S | S | S | N | S |
| F5 | R\$414.570 | 18 | 16 | N | S | S | S | S | S | N | S | N |
| F6 | R\$382.530 | 88 | 30 | N | N | S | N | S | S | N | N | N |
| F7 | R\$1.010.083 | 88 | 30 | S | S | S | N | S | S | N | N | S |

2.3 Importâncias Relativas dos Critérios



Outro ponto importante está relacionado à determinação das importâncias relativas dos critérios. Existem algumas possibilidades para capturar as preferências do tomador de decisão neste ponto específico, como a utilização de matrizes de comparação por pares, como ilustrado em Gomes *et al.* (1992a,b) e Saaty (1980, 2005). Nesta abordagem as importâncias relativas de todos os critérios são obtidas conjuntamente, em um único procedimento. Outra possibilidade (escolhida pelos profissionais da empresa na qual o exemplo numérico foi utilizado) é a determinação das importâncias relativas em duas etapas:

- i. Inicialmente, a determinação da importância relativa agrupada de todos os (três) critérios comerciais em relação a todos os (nove) critérios técnicos. Esta é uma possibilidade interessante no exemplo considerado dado que os critérios escolhidos ficam sob a responsabilidade de duas áreas distintas: comerciais com a área de Logística & Suprimentos, técnicos com a área de Engenharia.
- ii. Posteriormente, a determinação das importâncias relativas somente entre os (três) critérios comerciais, feita pela área de Logística & Suprimentos, assim como a determinação das importâncias relativas somente entre os (nove) critérios técnicos, feita pela área de Engenharia.

Por exemplo, as importâncias relativas dos doze critérios do exemplo numérico foram inicialmente obtidas na proporção de 55% para 45% entre o consolidado dos três critérios comerciais, e o consolidado dos nove critérios técnicos. Na segunda etapa as importâncias relativas dos critérios comerciais foram estabelecidas na proporção 5/3/3 pela área de Logística & Suprimentos, enquanto os nove critérios técnicos foram reconhecidos como igualmente importantes pela área de Engenharia. A Tabela 2.3 resume os pesos atribuídos a cada critério, onde podemos observar que a soma dos critérios comerciais é 55% enquanto a dos critérios técnicos é 45%, assim como que as importâncias relativas entre os três critérios comerciais respeitam a relação 5/3/3 (ou seja, 25%/15%/15%), e que os critérios técnicos são todos considerados igualmente importantes.

Tabela 2.3 Importâncias Relativas Iniciais dos Critérios

| C1 | C2 | C3 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 25% | 15% | 15% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |

Dado que a escolha das importâncias relativas dos critérios pode impactar grandemente o cálculo dos escores dos fornecedores, será imperativo o uso de análises de sensibilidade para aferir como os resultados são alterados diante de diferentes estimativas para as importâncias relativas dos critérios, conforme ilustrado adiante.

2.4 Método Multicritério *Fuzzy*

Para efeito de ilustração numérica da proposta apresentada neste artigo adotamos uma variante do TOPSIS *Fuzzy* com a utilização de números *fuzzy* triangulares como em Ashzafzadeh *et al.* (2012), Chen (2000), Dymova *et al.* (2013) e Marbini *et al.* Saati (2009). A versão apresentada para o TOPSIS *Fuzzy* a seguir diverge destes quatro artigos em três pontos específicos: vetor de pesos pode ser *fuzzy*, processo de normalização da matriz de decisão é diferente, assim como cálculo da distância de cada empresa em relação às soluções ideais.

De forma geral, assumimos que existem m fornecedores sob análise, com o uso de n critérios. (No exemplo numérico descrito adiante teremos $m = 7$ e $n = 12$.)

Denotamos o vetor de pesos *fuzzy* para os critérios como

$$\left((w_1^a; w_1^b; w_1^c); \dots; (w_n^a; w_n^b; w_n^c) \right) \quad (2.1)$$

para o qual assumimos, sem perda de generalidade, que

$$0 \leq w_j^a \leq w_j^b \leq w_j^c \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2.2)$$



Denotamos o elemento genérico da matriz de decisão *fuzzy* como

$$M_{ij} = (a_{ij}; b_{ij}; c_{ij}) \quad \forall i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

para o qual assumimos que

$$a_{ij} \leq b_{ij} \leq c_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

A função de pertinência do elemento genérico triangular da matriz de decisão é dada por

$$\Gamma_{M_{ij}}(y) = \begin{cases} \frac{y-a_{ij}}{b_{ij}-a_{ij}} & a_{ij} \leq y < b_{ij} \\ \frac{c_{ij}-y}{c_{ij}-b_{ij}} & b_{ij} \leq y \leq c_{ij} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.5)$$

A matriz de decisão *fuzzy* pode ser escrita como

$$\begin{pmatrix} (a_{11}; b_{11}; c_{11}) & (a_{12}; b_{12}; c_{12}) & \dots & (a_{1n}; b_{1n}; c_{1n}) \\ (a_{21}; b_{21}; c_{21}) & (a_{22}; b_{22}; c_{22}) & \dots & (a_{2n}; b_{2n}; c_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (a_{m1}; b_{m1}; c_{m1}) & (a_{m2}; b_{m2}; c_{m2}) & \dots & (a_{mn}; b_{mn}; c_{mn}) \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

A matriz de decisão normalizada *fuzzy* é obtida, sendo seu elemento genérico denotado por

$$M'_{ij} = (a'_{ij}; b'_{ij}; c'_{ij}) = \left(\frac{w_j^a \times a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m b_{kj}^2}}; \frac{w_j^b \times b_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m b_{kj}^2}}; \frac{w_j^c \times c_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m b_{kj}^2}} \right) \quad \forall i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.7)$$

Denotamos o conjunto de critérios classificados como benefícios por C^+ , enquanto o conjunto de critérios classificados como custos por C^- .

A solução ideal positiva *fuzzy* é obtida como

$$(\alpha_j^+; \beta_j^+; \gamma_j^+) = \begin{cases} (\max\{a'_{1j}; \dots; a'_{mj}\}; \max\{b'_{1j}; \dots; b'_{mj}\}; \max\{c'_{1j}; \dots; c'_{mj}\}) \quad \forall j \in C^+ \\ (\min\{a'_{1j}; \dots; a'_{mj}\}; \min\{b'_{1j}; \dots; b'_{mj}\}; \min\{c'_{1j}; \dots; c'_{mj}\}) \quad \forall j \in C^- \end{cases} \quad (2.8)$$

enquanto a solução ideal negativa *fuzzy* como

$$(\alpha_j^-; \beta_j^-; \gamma_j^-) = \begin{cases} (\max\{a'_{1j}; \dots; a'_{mj}\}; \max\{b'_{1j}; \dots; b'_{mj}\}; \max\{c'_{1j}; \dots; c'_{mj}\}) \quad \forall j \in C^- \\ (\min\{a'_{1j}; \dots; a'_{mj}\}; \min\{b'_{1j}; \dots; b'_{mj}\}; \min\{c'_{1j}; \dots; c'_{mj}\}) \quad \forall j \in C^+ \end{cases} \quad (2.9)$$

A diferença entre cada elemento da matriz de decisão normalizada *fuzzy* e a solução ideal positiva *fuzzy* é dada por

$$P_{ij}^+ = (a_{ij}^+; b_{ij}^+; c_{ij}^+) = (a'_{ij} - \gamma_j^+; b'_{ij} - \beta_j^+; c'_{ij} - \alpha_j^+) \quad \forall i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.10)$$

De forma análoga, a diferença entre cada elemento da matriz de decisão normalizada *fuzzy* e a solução ideal negativa *fuzzy* é dada por

$$P_{ij}^- = (a_{ij}^-; b_{ij}^-; c_{ij}^-) = (a'_{ij} - \gamma_j^-; b'_{ij} - \beta_j^-; c'_{ij} - \alpha_j^-) \quad \forall i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.11)$$

A distância de cada alternativa em relação à solução ideal positiva *fuzzy* pode ser obtida de



$$\begin{aligned}
 D_i^+ &= \sqrt{\frac{\int_{a_{i1}^+}^{c_{i1}^+} \dots \int_{a_{in}^+}^{c_{in}^+} (y_1^2 \times \Gamma_{P_{i1}^+}(y_1) + \dots + y_n^2 \times \Gamma_{P_{in}^+}(y_n)) dy_1 \dots dy_n}{\int_{a_{i1}^+}^{c_{i1}^+} \dots \int_{a_{in}^+}^{c_{in}^+} (\Gamma_{P_{i1}^+}(y_1) \times \dots \times \Gamma_{P_{in}^+}(y_n)) dy_1 \dots dy_n}} = \dots = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{6} \times \sum_{l=1}^n ((a_{il}^+)^2 + (b_{il}^+)^2 + (c_{il}^+)^2 + a_{il}^+ \times b_{il}^+ + a_{il}^+ \times c_{il}^+ + b_{il}^+ \times c_{il}^+)} \quad \forall i = 1, \dots, m
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

De forma análoga, a distância da cada alternativa em relação à solução ideal positiva *fuzzy* pode ser obtida de

$$\begin{aligned}
 D_i^- &= \sqrt{\frac{\int_{a_{i1}^-}^{c_{i1}^-} \dots \int_{a_{in}^-}^{c_{in}^-} (y_1^2 \times \Gamma_{P_{i1}^-}(y_1) + \dots + y_n^2 \times \Gamma_{P_{in}^-}(y_n)) dy_1 \dots dy_n}{\int_{a_{i1}^-}^{c_{i1}^-} \dots \int_{a_{in}^-}^{c_{in}^-} (\Gamma_{P_{i1}^-}(y_1) \times \dots \times \Gamma_{P_{in}^-}(y_n)) dy_1 \dots dy_n}} = \dots = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{6} \times \sum_{l=1}^n ((a_{il}^-)^2 + (b_{il}^-)^2 + (c_{il}^-)^2 + a_{il}^- \times b_{il}^- + a_{il}^- \times c_{il}^- + b_{il}^- \times c_{il}^-)} \quad \forall i = 1, \dots, m
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

O cálculo da proximidade relativa é obtido como

$$v_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad \forall i = 1, \dots, m
 \tag{2.14}$$

com os valores de v_1, \dots, v_m variando entre 0% e 100%. Outra denominação dada a estas quantidades é chamá-las de escore das alternativas, como se fossem notas (na escala de 0%, pior nota, até 100%, melhor nota) para cada possível candidato. A melhor alternativa estará associada ao valor máximo da proximidade relativa (ou seja, $\max\{v_1; \dots; v_m\}$), e assim por diante, até a pior alternativa, aquela associada ao menor escore (ou seja, $\min\{v_1; \dots; v_m\}$).

Por fim, um ponto interessante que pode ser verificado rapidamente é que a versão original do TOPSIS é capturada como um caso particular da descrita nessa subseção se fizermos $w_j^a = w_j^b = w_j^c$ e $a_{ij} = b_{ij} = c_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, m$ e $j = 1, \dots, n$.

2. Exemplo Numérico

Para a aplicação do método multicritério TOPSIS, e obtenção dos escores dos fornecedores, todos os critérios qualitativos devem ser convertidos em uma escala numérica. A possibilidade mais simples no caso da Tabela 2.2 é associar cada resposta “sim” ao valor “1”, e cada resposta “não” ao valor “0”.

Como primeira aplicação da proposta consideramos o uso do TOPSIS quando não há incertezas nos dados. Neste caso é possível usar o método TOPSIS conforme originalmente proposto em Hwang *et Yoon* (1981). Os escores obtidos no caso sem incertezas estão exibidos na Tabela 3.1, de onde concluímos que:

- i. O fornecedor F3 é reconhecido como aquele com o melhor desempenho dentre os sete candidatos (maior escore, 72,97%), enquanto o fornecedor F7 apresenta o pior desempenho (menor escore, 29,27%).
- ii. Os fornecedores F4, F5 e F2 apresentam desempenhos próximos, dado que seus escores estão entre 65,56% e 67,51%.



- iii. O fornecedor F1 apresenta somente o quinto melhor desempenho, seguido do fornecedor F6, com o penúltimo pior desempenho.

Tabela 3.1. Escores dos Fornecedores sem Incertezas

| Fornecedor | Escore |
|------------|--------|
| F1 | 59,16% |
| F2 | 64,08% |
| F3 | 72,97% |
| F4 | 67,51% |
| F5 | 65,56% |
| F6 | 51,31% |
| F7 | 29,27% |

Analizamos no restante desta seção como estes resultados são alterados diante de incertezas presentes nos parâmetros.

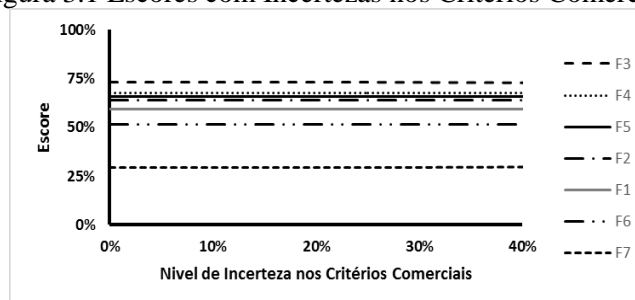
2.1 Primeira Análise de Sensibilidade: Critérios Comerciais

Ao considerarmos os três critérios comerciais da análise é razoável supor que os valores exibidos na Tabela 2.3 representam apenas os valores esperados dos mesmos sendo, portanto, muito provável haver algum nível de incerteza ao redor daquelas estimativas.

Como um primeiro exemplo do uso do TOPSIS *Fuzzy* consideramos que somente os três critérios comerciais apresentam incertezas nos seus valores estimados. Em outros termos, nessa primeira análise de sensibilidade assumimos que não há qualquer incerteza no que se refere aos valores dos nove critérios técnicos, que são mantidos como na Tabela 2.3, assim como nas importâncias relativas dos critérios, que são mantidas como na Tabela 2.4. Por outro lado, assumimos diferentes níveis de incerteza para os três critérios comerciais, com variação entre 0% e 40%, simétricos ao redor dos valores respectivos na Tabela 2.3. Por exemplo, para o nível de incerteza de 10% assumimos que o valor do custo para o fornecedor F1 segundo o critério C1 será modelado como o número *fuzzy* triangular (649.819 ; 722.022 ; 794.224).

A Figura 3.1 resume a evolução dos escores dos sete fornecedores para diferentes níveis de incerteza nos dados relacionados aos critérios comerciais. Podemos observar que os escores dos sete projetos se provaram pouco sensíveis às variações nos níveis de incerteza dos três critérios comerciais. Por exemplo, os escores dos fornecedores F4, F5 e F2 se mantêm muito próximos na figura para os níveis de incerteza considerados, em linha com os valores próximos já observados na Tabela 3.1.

Figura 3.1 Escores com Incertezas nos Critérios Comerciais



2.2 Segunda Análise de Sensibilidade: Critérios Técnicos

A segunda análise de sensibilidade considera que os critérios técnicos devem ser tratados com incertezas em seus valores, assim como feito com os critérios comerciais.

Os critérios técnicos resultam das respostas (“sim” ou “não”) dadas por engenheiros para nove questionamentos relativos a cada fornecedor. Embora as possíveis respostas sejam as mesmas para todos os critérios técnicos, é razoável supor que os engenheiros tenham diferentes níveis de



confiança em suas respostas e, portanto, que seja recomendada a incorporação de incertezas nas respostas.

A incorporação de incertezas com a modelagem *fuzzy* neste caso será obtida assumindo que as respostas afirmativas estejam associadas aos números *fuzzy* triangulares $(1 - \alpha ; 1 ; 1)$, enquanto as respostas negativas aos números *fuzzy* triangulares $(0 ; 0 ; \alpha)$, onde o valor de α representa o nível de incerteza considerado. Primeiro, observemos que o caso no qual não há incerteza pode ser capturado ao fazermos $\alpha = 0$, o que resulta nos números triangulares *fuzzy* $(1 ; 1 ; 1)$ e $(0 ; 0 ; 0)$, ou seja, 1 e 0 respectivamente. Como um segundo exemplo, para o nível de incerteza de 50% ($\alpha = 0,5$) temos os números *fuzzy* triangulares $(0,5 ; 1 ; 1)$ e $(0 ; 0 ; 0,5)$, cujas funções de pertinência estão devidamente grafadas na Figura 3.2. Outro exemplo é dado na Figura 3.3 onde as funções de pertinência das respostas afirmativa e negativa estão grafadas para o nível de incerteza de 75%.

Figura 3.2 Funções de Pertinência para Nível de Incerteza de 50% nos Critérios Técnicos

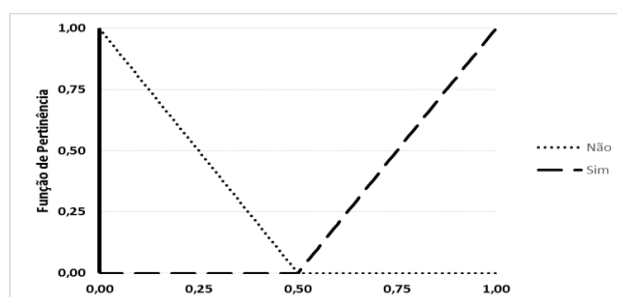
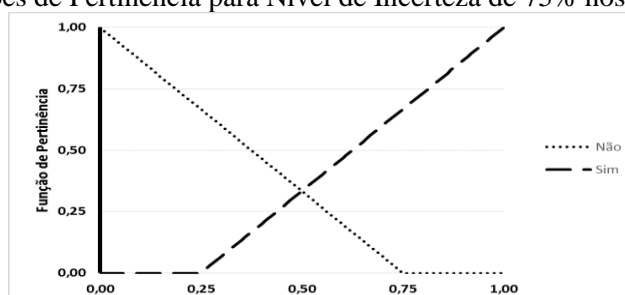


Figura 3.3 Funções de Pertinência para Nível de Incerteza de 75% nos Critérios Técnicos



Nesta segunda análise de sensibilidade variamos o nível de incerteza para os nove critérios técnicos igualmente entre 0% e 100%. No que se refere ao nível de incerteza nos critérios comerciais, este é mantido fixado em 10%, sem ainda considerarmos incertezas nas importâncias relativas dos critérios (que seguem conforme a Tabela 2.4).

A Figura 3.4 resume a dinâmica dos escores dos sete projetos para diferentes níveis de incerteza nos critérios técnicos, onde percebemos que:

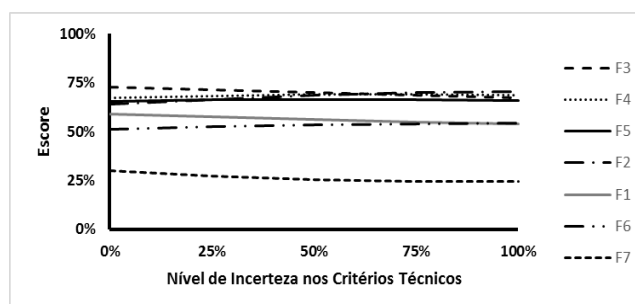
- i. Os escores de alguns fornecedores se mostram bem mais sensíveis a variações no nível de incerteza dos critérios técnicos do que havia ocorrido com os critérios comerciais (comparar Figura 3.1 e Figura 3.4).
- ii. Os fornecedores F3 e F1 têm seus escores reduzidos conforme o nível de incerteza dos critérios técnicos aumenta. Podemos observar na Tabela 2.2 que estes foram os dois únicos fornecedores que receberam nove respostas afirmativas por parte dos engenheiros, portanto, quando o nível de incerteza é aumentado para as opiniões emitidas pelos engenheiros, os desempenhos relativos destes dois fornecedores piora.
- iii. O fornecedor F2 tem seus escores aumentados conforme o nível de incerteza dos critérios técnicos aumenta, com comportamento oposto ao ocorrido com os fornecedores F3 e F1. Vemos na Tabela 2.2 que o fornecedor F2 foi o que recebeu o maior número de respostas negativas por parte dos engenheiros. Quanto maior o nível de incerteza associado às



repostas da área de Engenharia, tanto menos importante se tornam as sete respostas negativas relacionadas a F2 e, portanto, é possível observar a elevação do seu escore em relação aos dos demais fornecedores. Podemos observar também que, dentre todos os fornecedores considerados, o F2 foi o que ofertou o menor preço, o que o coloca, pela ótica específica do critério C1, como o melhor dentre os sete fornecedores, algo que se torna cada vez mais relevante conforme as respostas da área de Engenharia são percebidas como mais incertas.

- iv. A leve inclinação positiva da evolução dos escores dos fornecedores F4 e F2 ocasiona que estes superem até mesmo o escore do fornecedor F3 para níveis mais elevados de incerteza nas respostas dos engenheiros.

Figura 3.4 Escores com Incertezas nos Critérios Técnicos



3.3 Resumo das Análises de Sensibilidade

Como os resultados de qualquer metodologia matemática, os resultados exibidos e comentados nesta seção somente devem ser utilizados para o processo final de escolha de fornecedores após a compreensão das análises de sensibilidade realizadas. Algumas das conclusões do conjunto de análises de sensibilidade realizadas são:

- i. O fornecedor F3 esteve consistentemente entre os candidatos com os maiores escores e, portanto, deve ser considerado seriamente na escolha final.
- ii. O fornecedor F7 apresentou sempre os menores escores, em todas as análises de sensibilidade realizadas e, como consequência, deve ser desconsiderado da escolha final.
- iii. Os fornecedores F4, F5 e F2 apresentaram escores muito próximos para todas as situações consideradas, o que mostra que são alternativas com desempenhos equivalentes diante das especificações das áreas internas responsáveis pelo processo seletivo. Seus escores ficaram somente um pouco abaixo dos escores do fornecedor F3, logo devem ser considerados na reunião final de seleção como alternativas para contratação.
- iv. Por fim, os fornecedores F1 e F6 apresentaram escores consistentemente menores que os de F4, F5 e F2, exceto em situações particulares, de onde se pode concluir que não estão entre os principais candidatos à seleção final.

Resumindo, os quatro fornecedores F3, F4, F5 e F2 representam as melhores alternativas, com ligeira preferência para o fornecedor F3, devendo os restantes serem desconsiderados.

4 Conclusão

Apresentamos neste trabalho uma proposta para a análise e seleção de fornecedores para uma empresa com atuação no setor de petróleo e gás nacional. A proposta considera o uso de múltiplos critérios de natureza comercial e técnica. A proposta está baseada na adoção de uma metodologia multicritério com uso da matemática *fuzzy*, como forma de melhor considerar possíveis critérios conflitantes e capturar incertezas nos dados de entrada. A proposta se provou consistente do ponto de vista teórico e de fácil compreensão por administradores e engenheiros que a utilizaram.



Um exemplo numérico com dados reais de sete candidatos a fornecedores e doze critérios (três comerciais e nove técnicos) foi apresentado. Os resultados de várias análises de sensibilidade foram detalhadas como forma de melhor compreender os possíveis impactos de diferentes parametrizações utilizadas na escolha final dos candidatos a fornecedores. Em todas as análises de sensibilidade realizadas as alterações na parametrização do problema tiveram seus resultados devidamente compreendidos e explicados, o que acaba por conferir credibilidade à proposta metodológica desse artigo.

Embora seja sempre possível a utilização de mais/menos critérios dependendo da modelagem matemática escolhida pelo tomador de decisão, assim como de diferentes parametrizações, ou até mesmo a adoção de outras metodologias multicritério *fuzzy*, os resultados apresentados nesse artigo ilustraram a consistência da metodologia proposta no que se refere ao processo seletivo imposto aos candidatos: todas as mudanças observadas nos escores dos candidatos foram suaves, como os gráficos apresentados ilustram.

5 Referências

Alencar, L. H.; Almeida, A. T. (2008) “Multicriteria Decision Group Model for the Selection of Suppliers”, *Pesquisa Operacional*, v. 28, n. 2, pp. 321-337.

Ashzafzadeh, M.; Rafiei, F. M.; Isfahani, N. M.; Zare, Z. (2012). “Application of Fuzzy TOPSIS Method for the Selection of Warehouse Location: A Case Study”, *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*, v. 3, n. 1, pp. 655-671.

Belton, V.; Stewart, T. J. (2002) *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Springer, New York.

Bozarth, C.; Handfield, R. B (2008) *Introduction to Operations and Supply Chain Management*. Pearson, New Jersey.

Buyukozkan, G.; Çifçi, G. (2011) “A Novel Fuzzy Multicriteria Decision Framework for Sustainable Supplier Selection with Incomplete Information”, *Computers in Industry*, v. 62, n. 2, pp. 164-174.

Chen, C. T. (2000). “Extensions of the TOPSIS for Group Decision-making under Fuzzy Environment”, *Fuzzy Sets and Systems*, v. 114, n. 3, pp. 1-9.

Choy, K. L.; Lee, W. B.; Lo, V. (2003) “Design of an Intelligent Supplier Relationship Management System: A Hybrid-case Based Neural Network Approach”, *Expert Systems with Applications*, v. 24, n. 2, pp. 225-237.

Dymova, L; Sevastjanov, P.; Tikhonenko, A. (2013). “An Approach to Generalization of Fuzzy TOPSIS Method”, *Information Sciences*, v. 238, n. 3, pp. 149-162.

Guarnieri, P.; Almeida, A. T. (2015) “Framework to Manage Suppliers for Strategic Alliances with a Multicriteria Method”, *Production*, v. 25, n. 3, pp. 713-724.

Ensslin, L.; Ensslin, S. R.; Rocha, S.; Marafon, A. D.; Medaglia, T. A. (2013). “Modelo Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista no Processo de Avaliação de Fornecedores”, *Produção*, v. 23, n. 2, pp. 402-421.

Gomes, L. F. A. M.; Lima, M. M. P. P. (1992a) “TODIM: Basics and Application to Multicriteria Ranking of Projects with Environmental Impacts”, *Foundations of Computing and Decision Sciences*, v. 16, n. 1, pp. 113-127.

Gomes, L. F. A. M., Lima, M. M. P. P. (1992b) “From Modeling Individual Preferences to Multicriteria Ranking of Discrete Alternatives: Look at the Prospect Theory and the Additive Differences Model”, *Foundations of Computing and Decision Science*, v. 17, n. 3, pp. 171-184.

Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S.; Almeida, A. T. (2014). *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. Atlas, São Paulo.



Ho, W; Xu, X.; Dey, P. K. (2010) "Multicriteria Decision Making Approaches for Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review", *European Journal of Operational Research*, v. 202, n. 1, pp. 16-24.

Hwang, C. L.; Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer, New York.

Ishizaka, A.; Nemery, P. (2013) *Multi-Criteria Decisions Analysis*. Wiley, New York.

Kahraman, C. (2008) "Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments", Springer, New York.

Kaufmann, A.; Gupta, M. M. (1985) "Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications", Van Nostrand, New York.

Klir, G. J.; Yuan, B. (1995) "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications", Prentice Hall, New York.

Ku, C. Y.; Chang, C. T.; Ho, H. P. (2010) "Global Supplier Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Goal Programming", *Qualitative and Quantitative*, v. 44, n. 4, pp. 623-640.

Liao, C. N.; Kao, H. P. (2011) "An Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP Approach to Supplier Selection in Supply Chain Management. *Expert Systems with Applications*", v. 38, n. 9, pp. 10803-10811.

Marbini, A. H.; Saati, S. (2009) "An Application of Fuzzy TOPSIS in a SWOT Analysis", *Mathematical Sciences*, v. 3, n. 2., pp. 173-190.

Mauergauz, Y. (2016) "Advanced Planning and Scheduling in Manufacturing and Supply Chains", Springer, Berlin.

Ozkok, B. A.; Tiryaki, F. (2011) "A Compensatory Fuzzy Approach to Multi-objective Linear Supplier Selection Problem with Multiple-Item", *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 9, pp. 11363-11368.

Petroni, A.; Braglia, M. (2000) "Vendor Selection Using Principal Component Analysis", *Journal of Supply Chain Management*, v. 36, n. 2, pp. 63-69.

Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.

Saaty, T. L. (2005) *Theory and applications of the Analytic Network Process: Decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. RWS, Pittsburgh.

Songhori, M. J.; Tavana, M; Azadeh, A.; Khakbaz, M. H. (2011) "A Supplier Selection and Order Allocation Model with Multiple Transportation Alternatives", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 52, n. 1, pp. 365-376.

Stadtler, H.; Kilger, C; Meyr, H. (2015) *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies*. Springer, Berlin.

Viana, J. C.; Alencar, L. H. (2012) "Metodologias para Seleção de Fornecedores: Uma Revisão da Literatura", *Produção*, v. 22, n. 4, pp. 625-636.

Wanga, G.; Huang, S. H.; Dismukes, J. P. (2004) "Product-driven Supply Chain Selection using Integrated Multicriteria Decision-Making Methodology", *International Journal of Production Economics*, v. 91, n. 1, pp. 1-15.

Yeh, W. C.; Chuang, M. C. (2011) "Using Multi-objective Genetic Algorithm for Partner Selection in Green Supply Chain Problems", *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 4, pp. 4244-4253.