



Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores

A comparison between TOPSIS and Fuzzy-TOPSIS methods to support multicriteria decision making for supplier selection

Francisco Rodrigues Lima Junior¹
Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti²

Resumo: A seleção de fornecedores é considerada a atividade mais crítica da função de compras e impacta diretamente a qualidade dos produtos manufaturados e o desempenho do comprador. Na literatura acadêmica, dezenas de métodos de tomada de decisão multicritério vêm sendo explorados para apoiar a seleção de fornecedores. Dentre esses, o TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) e o Fuzzy-TOPSIS (uma adaptação do primeiro) se destacam por sua simplicidade de uso e pela capacidade de avaliar um número ilimitado de alternativas e critérios simultaneamente. Embora muitos autores sugiram a adoção do TOPSIS e do Fuzzy-TOPSIS para suportar a seleção de fornecedores, na literatura não são discutidas as reais vantagens de uso e as limitações destes métodos quando aplicados neste domínio de problema. Diante de tal lacuna, este estudo compara o TOPSIS e o Fuzzy-TOPSIS, em relação à complexidade computacional, à estrutura dos algoritmos e aos resultados fornecidos quando aplicados em um mesmo caso real de seleção de fornecedores. Os métodos foram implementados usando MATLAB® e aplicados na seleção de fornecedores de uma empresa de cabos de transmissão. Os resultados mostram que o TOPSIS requer menor esforço para coleta de dados e processamento computacional. Em contrapartida, o Fuzzy-TOPSIS não sofre inversões no *ranking* e se mostra adequado para lidar com informações qualitativas e imprecisas. Os resultados deste estudo podem orientar pesquisadores e profissionais na escolha do método mais adequado para lidar com o problema de seleção de fornecedores em questão.

Palavras-chave: Seleção de fornecedores. TOPSIS. Fuzzy-TOPSIS. Métodos multicritério.

Abstract: *Supplier selection is the most critical activity of purchasing and influences both the quality of manufactured products and the buyer's performance. In the literature, dozens of multicriteria methods have been explored to support decision making for supplier selection. Among such methods, TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) and Fuzzy-TOPSIS (an adaptation of the first) have been often used because of their simplicity of usage and ability to simultaneously evaluate an unlimited number of alternatives and criteria. Although many authors have suggested the adoption of TOPSIS and Fuzzy-TOPSIS to deal with the supplier selection problem, advantages of usage and limitations of both methods (when they are applied to this problem domain) have not been discussed in the literature. To fill such a gap, this study compares TOPSIS and Fuzzy-TOPSIS methods concerning computational complexity, structure of the algorithms and results from their application to the same real case of supplier selection. The methods were implemented through MATLAB® and applied to supplier selection in an automotive company. The results show that TOPSIS requires less effort for data collection and computer processing. However, Fuzzy-TOPSIS does not suffer ranking reversal and is suitable to model qualitative and imprecise information. The results can guide researchers and practitioners in choosing the most appropriate method to support the supplier selection problem at hand.*

Keywords: *Supplier Selection. TOPSIS. Fuzzy-TOPSIS. Multicriteria Decision Making Methods.*

¹ Engenharia de Produção e Qualidade, Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé – UNIFEG, CEP 37800-000, Guaxupé, MG, Brasil, e-mail: eng.franciscojunior@gmail.com

² Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, e-mail: carpinet@sc.usp.br

Recebido em Fev. 4, 2014 — Aceito em Jul. 14, 2014

Suporte financeiro: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

1 Introdução

Muitos fatores vêm contribuindo para aumentar a importância e a complexidade das decisões relacionadas à seleção de fornecedores. Enquanto as variações quantitativas e qualitativas no comportamento da demanda acarretam mudanças constantes nas necessidades de aquisição da empresa compradora, o uso da Internet amplia as possibilidades de fornecimento e dificulta a seleção de fornecedores devido ao grande número de alternativas para serem avaliadas (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001). Além desses fatores complicadores, transformações recentes na economia global implicam a necessidade de considerar cada vez mais critérios na avaliação de potenciais fornecedores. Muitas organizações vêm buscando estabelecer relações de longo prazo com seus fornecedores por meio da consideração de critérios de seleção relacionados ao perfil do fornecedor e ao seu potencial para colaboração (HA; PARK; CHO, 2011). Diante das atuais preocupações com a sustentabilidade ambiental, critérios de decisão “verdes” também passaram a ser considerados durante a seleção de fornecedores (JABBOUR; JABBOUR, 2009).

Por depender de muitos fatores, o processo de seleção de fornecedores vem sendo predominantemente abordado na literatura acadêmica como um problema de tomada de decisão, no qual diversos critérios devem ser considerados no julgamento das possíveis empresas fornecedoras. Para lidar com tal problema, métodos de apoio à decisão multicritério (*Multicriteria Decision Making methods*, ou métodos MCDM) vêm sendo explorados no desenvolvimento de modelos de decisão (HO; XU; DEY, 2010; CHAI; LIU; NGAI, 2013). Por meio da análise de 120 estudos que propõem o uso de métodos MCDM para seleção de fornecedores, Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013a) identificaram 34 técnicas que vêm sendo usadas para lidar com este problema. Esses autores ressaltam que diante do uso dessa ampla variedade de métodos bastante distintos entre si, estudos comparativos são fundamentais para avaliar a adequação destes métodos ao problema de seleção de fornecedores.

Dois técnicas amplamente exploradas nesse domínio de problema são os métodos MCDM conhecidos como TOPSIS, do inglês *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (HWANG; YOON, 1981), e *Fuzzy-TOPSIS* (CHEN, 2000), sendo este último uma versão adaptada do primeiro. Diferentemente de abordagens comparativas como AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ANP (*Analytic Network Process*), *Fuzzy-AHP* e *Fuzzy-ANP*, o TOPSIS e o *Fuzzy-TOPSIS* permitem a adoção de uma quantidade não limitada de critérios para avaliar uma quantidade não limitada de alternativas. Além disso, a simplicidade dos procedimentos matemáticos de ambos os métodos contribuem para a facilidade de implementação e aplicação. Enquanto

o uso do TOPSIS no apoio à seleção de fornecedores é sugerido por estudos como Hsu e Hsu (2008), Celik (2010), Fazlollahtabar et al. (2011), Vimal, Chaturvedi e Dubey (2012) e Rodríguez, Ortega e Concepción (2013), muitos outros autores propõem o uso do *Fuzzy-TOPSIS*, incluindo Chen, Lin e Huang (2006), Bottani e Rizzi (2006), Shahanaghi e Yazdian (2009), Awasthi, Chauhan e Goyal (2010) e Liao e Kao (2011).

Embora o TOPSIS e o *Fuzzy-TOPSIS* sejam desenvolvidos com base no mesmo princípio de proximidade com as soluções ideal positiva e negativa, estes se distinguem em relação à lógica que embasa seus procedimentos matemáticos. Enquanto o TOPSIS utiliza valores numéricos absolutos em formato *crisp* que são manipulados por meio de cálculos embasados na lógica clássica (ou lógica aristotélica), o método *Fuzzy-TOPSIS* incorpora a Lógica *Fuzzy* para realizar operações algébricas com valores numéricos intervalares (CHEN, 2000). Por conta disso, os métodos podem se distinguir quanto à complexidade da modelagem, ao processo de coleta de dados, ao esforço computacional requerido e até mesmo em relação às decisões finais fornecidas para um mesmo problema. Apesar da importância desse problema de pesquisa e do amplo uso do TOPSIS e do *Fuzzy-TOPSIS*, na literatura acadêmica não são encontrados estudos que comparem estes métodos quando aplicados no apoio à seleção de fornecedores, evidenciando assim uma lacuna na literatura relacionada.

Neste contexto, o objetivo principal desta pesquisa é comparar os métodos TOPSIS e *Fuzzy-TOPSIS* no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. Os métodos foram comparados em relação à estrutura do algoritmo, à complexidade computacional e aos resultados fornecidos por cada método quando aplicados em um mesmo problema. A implementação dos métodos TOPSIS e *Fuzzy-TOPSIS* foi realizada usando linguagem de programação MATLAB®. Um caso real de aplicação de ambos os métodos na seleção de fornecedores de uma empresa de cabos de transmissão é apresentado. Dois especialistas da empresa avaliaram o desempenho de 5 fornecedores em relação a 7 critérios. Os resultados obtidos por este estudo e as discussões apresentadas contribuem para o avanço da literatura específica de gestão de operações, uma vez que possibilitam orientar pesquisadores e profissionais da área quanto à adequação dos métodos comparados para determinados contextos de uso no domínio de seleção de fornecedores.

A seguir, as Seções 2 e 3 deste estudo focam o processo de seleção de fornecedores, bem como os critérios e métodos comumente utilizados. A Seção 3 compara o TOPSIS e o *Fuzzy-TOPSIS* e, por último, a Seção 5 apresenta as conclusões e algumas sugestões para pesquisas futuras.

2 O processo de seleção de fornecedores

Em organizações industriais, a seleção de fornecedores é vista como a atividade mais importante de compras porque conduz a situações de tomada de decisão cujos resultados influenciam os custos de produção (CASTRO; GOMEZ; FRANCO, 2009) e a qualidade dos produtos e, conseqüentemente, afetam o desempenho da organização compradora (THRULOGACHANTAR; ZAILANI, 2011). Além de influenciar esses fatores de produção, decisões efetivas em seleção de fornecedores são capazes de prover ganhos decorrentes da gestão de relações de cooperação com fornecedores (KANNAN; TAN, 2006). Ha, Park e Cho (2011) acrescentam que este tipo de relacionamento colaborativo resulta em baixos custos, alto desempenho logístico, agrega valor à cadeia em questão e aprimora o desempenho em serviços, criando assim benefícios para todas as partes.

Conforme ilustra a Figura 1, De Boer, Labro e Morlacchi (2001) estruturaram o processo de seleção de fornecedores em 4 etapas inter-relacionadas.

Na etapa de definição do problema, o processo se inicia com um questionamento sobre o que se pretende alcançar por meio da seleção de fornecedores. Inicialmente é necessário definir qual é o objetivo da seleção: substituir fornecedor atual, selecionar parceiro estratégico ou contratar um novo fornecedor ou algum já existente para suprir um novo produto. Na etapa seguinte, a organização compradora deve focar esforços no estabelecimento de critérios de decisão que expressem claramente seus requisitos desde o nível operacional ao nível estratégico. De acordo com Kahraman, Cebeci e Ululan (2003), pode não ser fácil converter as necessidades em critérios utilizáveis, já que estas geralmente são expressas como conceitos qualitativos. A etapa de qualificação consiste em reduzir o conjunto de todos os fornecedores um conjunto que possa ser avaliado mais detalhadamente durante a escolha final. A

qualificação pode ser conduzida em um ou vários passos, nos quais diferentes métodos de eliminação podem ser aplicados. Na última etapa, denominada escolha final, pode-se considerar a seleção de um ou mais fornecedores. Se mais de um fornecedor for selecionado, esta etapa também deve envolver a alocação de pedidos entre os selecionados (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001; AISSAOUI; HAOUARI; HASSIN, 2007).

Com base no *framework* proposto por De Boer, Labro e Morlacchi (2001), Wu e Barnes (2011) propuseram outro modelo para seleção de fornecedores que incrementa uma quinta etapa ao processo, intitulada *feedback*. Esta etapa foca o monitoramento e análise de informações provenientes das demais etapas do processo de seleção de fornecedores com o intuito de melhorar este processo continuamente. Outro modelo de seleção de fornecedores, baseado no modelo de De Boer, Labro e Morlacchi (2001), foi proposto por Igarashi, De Boer e Fet (2013). O modelo de Igarashi, De Boer e Fet (2013) também possui as cinco etapas proposta por Wu e Barnes (2011) e sua maior contribuição é considerar critérios ambientais no processo de seleção de fornecedores.

2.1 Critérios de seleção de fornecedores

Os critérios de seleção de fornecedores são medidas quantitativas ou qualitativas utilizadas na avaliação de alternativas de fornecimento. A literatura acadêmica identifica diversos critérios que podem ser considerados durante a seleção de fornecedores. No entanto, a empresa compradora precisa desenvolver meios efetivos de medir cada um de seus critérios (KAHRAMAN; CEBECI; ULUKAN, 2003). Beamon (1999) ressalta que os critérios usados na seleção de fornecedores devem atender às seguintes premissas: serem consistentes com as metas e objetivos da organização; serem precisos e possuírem nomes específicos; serem calculados a partir de todos os



Figura 1. Processo de seleção de fornecedores. Adaptado De Boer, Labro e Morlacchi (2001).

atributos pertinentes; serem universais e comparáveis a partir de várias condições de operação.

Conforme ilustra o Quadro 1, critérios qualitativos que expressam características desejáveis ao fornecedor em prol do estabelecimento de relacionamentos colaborativos e de longo prazo também vêm sendo considerados na seleção de fornecedores. Alguns desses critérios são relacionados à qualidade e ao potencial do fornecedor de inovar. Apesar das vantagens que podem ser obtidas a partir do uso destes critérios, estes somente podem ser utilizados de forma efetiva se forem adotadas técnicas multicritério adequadas para lidar com variáveis de natureza qualitativa (HO; XU; DEY, 2010; CHAI; LIU; NGAI, 2013). A quantidade de critérios usados também pode ser determinante durante a escolha de um método adequado para lidar com o problema em questão. Além disso, caso seja desejável adotar critérios e subcritérios organizados hierarquicamente, este requisito também deve ser

considerado. Portanto, verifica-se que é fundamental alinhar a escolha de critérios e de técnicas multicritério durante a modelagem de um problema de decisão.

3 Métodos multicritério de apoio à tomada de decisão

Os métodos de decisão que consideram o uso de mais de um critério para avaliação de uma ou mais alternativas são definidos como métodos de decisão multicritério (ou métodos MCDM – *Multicriteria Decision Making*) (ROY, 1996; ALMEIDA, 2013). Esses métodos são um importante conjunto de ferramentas para abordar difíceis decisões em organizações porque auxiliam os gestores em situações de incerteza, complexidade e objetivos conflitantes (WANG, 2010). De Boer, Wegen e Telgen (1998) complementam que esses métodos são capazes de contribuir para a eficiência da tomada de decisão por

Quadro 1. Critérios sugeridos para seleção de fornecedores.

Proposto por	Kannan e Tan (2002)	Katsikeas, Paparoidamis, Katsikea (2004)	Chan e Kumar (2007)	Kirytopoulos, Leopoulos, Voulgaridou (2008)	Gumeri, Yucel e Ayyildiz (2009)	Shen e Yu (2009)	Ordoobadi (2009)	Boran et al. (2009)	Amin e Razmi (2009)	Ku, Chang e HO (2010)	Wang (2010)	Lin, Chen e Ting. (2011)	Büyükoçkan e Çifçi (2011)	Amindoust et al. (2012)	Prajogo et al. (2012)	García et al. (2013)
Capacidade Técnica	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X		X
Compromisso com a qualidade	X	X	X		X					X		X	X	X	X	X
Confiabilidade de entrega		X		X	X		X		X							
Custo/Preço	X	X		X			X	X		X	X	X	X	X	X	X
Desempenho do produto							X		X		X	X	X			
Entrega	X		X	X			X	X		X	X	X		X	X	
Comunicação	X	X	X	X			X				X	X				X
Fatores ambientais							X						X	X		X
Fatores sociais													X			
Flexibilidade		X												X	X	X
Garantia		X				X	X				X	X				
Conformidade	X		X	X		X		X		X		X	X	X	X	X
Localização Geográfica	X		X							X		X		X		
Poder Financeiro	X		X	X					X	X	X		X	X	X	
Relacionamento	X				X		X	X	X			X				
Reputação		X	X	X	X				X			X				
Resposta à mudança	X	X	X	X			X			X	X					

justificar os processos de decisão e por permitirem o processamento mais rápido e automatizado dos dados.

Vincke (1992) subdivide os métodos MCDM entre métodos da escola norte-americana e métodos da escola europeia. Os métodos da escola europeia são baseados em dominância, ou seja, a busca por um grupo de alternativas cujo desempenho é melhor (ou no mínimo igual) que todas as demais alternativas em todos os critérios (ALMEIDA, 2013). Já os métodos da escola americana são baseados na função utilidade, a qual expressa o grau de satisfação do tomador de decisão mediante a escolha de cada alternativa. Outra classificação para métodos MCDM é sugerida por Figueira, Greco e Ehrgott (2005) e Kahraman (2008), que os categoriza entre métodos multiatributo (*Multiple Attribute Decision Making* - MADM) e métodos multiobjetivo (*Multiple Objective Decision Making* - MODM). Métodos multiatributo modelam problemas em que as alternativas são predeterminadas e descritas por meio de seus múltiplos atributos relacionados. Essa abordagem é amplamente utilizada para lidar com a seleção de alternativas na qualificação de fornecedores e com a ordenação de alternativas na escolha final de fornecedores. Já os métodos multiobjetivo delimitam um espaço contínuo de soluções possíveis e geralmente são usados na etapa de escolha final de fornecedores para permitir a alocação de diferentes volumes de aquisição para cada fornecedor selecionado (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; ROY, 1996). Mais detalhes sobre o uso de técnicas multicritério para seleção de fornecedores são apresentados a seguir.

3.1 Aplicações de métodos multicritério em seleção de fornecedores

Métodos MCDM são utilizados para desenvolver modelos de decisão visando à resolução de problemas em diversas áreas do conhecimento. Para a resolução de um problema de decisão multicritério, métodos MCDM, técnicas de gestão e de inteligência artificial podem ser aplicados de forma isolada ou de forma combinada. Uma vez que todas as técnicas possuem vantagens de uso e limitações, a combinação de técnicas é feita com a finalidade de usufruir de algumas vantagens específicas de cada uma (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013a). O Quadro 2 lista alguns estudos que propõem modelos multicritério para seleção de fornecedores, destacando a abordagem (modelo simples ou combinado), as técnicas usadas e o escopo de cada modelo.

Conforme mostra o Quadro 2, há uma grande diversidade de técnicas que vêm sendo exploradas na seleção de fornecedores com a finalidade de prover novas funcionalidades aos modelos existentes. Por meio do uso do *Fuzzy*-QFD, Dursun e Karsak (2013) propuseram um modelo que quantifica o

relacionamento de dependência entre critérios de decisão em formato linguístico. Usando o método ANP, o modelo proposto por Theißen e Spinler (2014) também modela tais relações de dependência e permite considerar também a dependência entre alternativas de fornecimento. Já o modelo proposto por Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013b) permite qualificar e desqualificar fornecedores usando requisitos em formato linguístico. Diante dessa diversidade de modelos, estudos comparativos considerando o contexto de determinados domínios de problema são fundamentais para verificar as vantagens e as limitações de uso de técnicas frequentemente empregadas.

3.2 Estudos comparativos entre métodos multicritério

Conforme mostra o Quadro 3, na literatura, podem ser encontrados alguns estudos que comparam métodos MCDM considerando o contexto de problemas específicos. Em alguns casos, como nos estudos de Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998), Mahmoud e Garcia (2000) e Lima Junior (2013), os métodos comparados apresentaram resultados diferentes para o mesmo problema. Com exceção de Mahmoud e Garcia (2000), todos os estudos foram conduzidos a partir da realização de uma pesquisa bibliográfica seguida pelo desenvolvimento de modelos de decisão e por simulações de uso. Além dos procedimentos de pesquisa utilizados, outra característica comum a esses estudos é a adoção de parâmetros de comparação bem definidos. Exemplos desses parâmetros incluem vantagens e desvantagens de uso, complexidade dos métodos, quantidade de interação requerida do usuário, procedimentos para a avaliação de alternativas e consistência dos resultados fornecidos.

Mediante a variedade de métodos MCDM existentes e as diversas possibilidades de comparação, verifica-se que estudos comparativos vêm sendo pouco explorados na literatura. Embora o *Fuzzy*-TOPSIS já tenha sido comparado nos estudos realizados por Ertugrul e Karakasoglu (2008) e Lima Junior (2013), uma nova comparação desta técnica com o TOPSIS tem o potencial de evidenciar as distinções no processo de modelagem e no desempenho das técnicas quando aplicadas em um problema de seleção de fornecedores. Seguindo os procedimentos de pesquisa sugeridos para a realização de um estudo comparativo entre métodos MCDM, são descritos a seguir os métodos TOPSIS e *Fuzzy*-TOPSIS.

3.3 Método TOPSIS

O método TOPSIS foi proposto inicialmente por Hwang e Yoon (1981) e vem sendo bastante utilizado para ranquear alternativas por ordem de preferência.

Behzadian et al. (2012) identificaram 266 aplicações do TOPSIS e de suas versões adaptadas, publicadas desde o ano 2000 em 103 periódicos de diversas áreas de conhecimento.

O princípio básico do TOPSIS consiste em escolher uma alternativa que esteja tão próxima quanto possível da solução ideal positiva e o mais distante quanto

possível da solução ideal negativa. A solução ideal é formada tomando-se os melhores valores alcançados pelas alternativas durante a avaliação em relação a cada critério de decisão, enquanto a solução ideal negativa é composta de forma similar, tomando-se os piores valores (KAHRAMAN, 2008). Os passos do algoritmo do TOPSIS são descritos a seguir:

Quadro 2. Modelos multicritério para seleção de fornecedores.

Abordagem	Técnica(s) usada	Escopo	Proposto por
Simples	AHP	Seleção de fornecedores usando avaliações comparativas pareadas	Hudymáková et al. (2010)
	AHP	Seleção de fornecedores em uma empresa de telecomunicações	Tam e Tummala (2001)
	Algoritmo genético	Seleção de fornecedores e dimensionamento do tamanho dos lotes de aquisição	Liao e Rittscher (2007)
	ANP	Seleção de fornecedores com foco na redução colaborativa de emissão de CO ₂	Theißen e Spinler (2014)
	Inferência <i>fuzzy</i>	Seleção de fornecedores baseada em aspectos sociais, econômicos e ambientais	Amindoust et al. (2012)
	Inferência <i>fuzzy</i>	Seleção de fornecedores com regras compensatórias e não compensatórias	Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013b)
	TOPSIS	Seleção de fornecedores de serviços de tecnologia da informação	Hsu e Hsu (2008)
	TOPSIS	Seleção de fornecedores em uma indústria de manufatura	Vimal, Chaturvedi e Dubey (2012)
Combinada	DEA e Redes Neurais Artificiais	Seleção e avaliação de fornecedores em cenários com informação incompleta	Çelebi e Bayraktar (2008)
	<i>Fuzzy 2-Tuple</i>	Seleção de fornecedores usando uma abordagem de computação linguística	Wang (2010)
	<i>Fuzzy-AHP</i>	Seleção de fornecedores em uma companhia de máquinas de lavar roupas	Kilinci e Onal (2011)
	<i>Fuzzy c-means</i> e <i>rough set theory</i>	Seleção, avaliação e desenvolvimento de fornecedores	Omurca (2013)
	<i>Fuzzy-DEMATEL</i> e <i>Fuzzy-TOPSIS</i>	Seleção e avaliação de fornecedores “verdes” (<i>green suppliers</i>)	Büyüközkan e Çifci (2012)
	<i>Fuzzy Neural Network</i>	Seleção e avaliação de fornecedores em ambientes de produção <i>just-in-time</i>	Aksoy e Öztürk (2011)
	<i>Fuzzy-QFD</i>	Seleção de fornecedores considerando as relações de dependência entre os critérios	Dursun e Karsak (2013)
	<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	Seleção de fornecedores usando números <i>fuzzy</i> trapezoidais	Chen, Lin e Huang (2006)
	<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	Seleção de fornecedores de serviços logísticos	Bottani e Rizzi (2006)
	<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	Seleção de fornecedores usando uma hierarquia de critérios e subcritérios	Shahanaghi e Yazdian (2009)
	<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	Seleção de fornecedores baseada no desempenho ambiental dos fornecedores	Awasthi, Chauhan e Goyal (2010)
	<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	Seleção de fornecedores considerando fatores tangíveis	Liao e Kao (2011)
	<i>Fuzzy-TOPSIS</i> e <i>Fuzzy -ANP</i>	Seleção de fornecedores de longo prazo em uma companhia de telecomunicações	Önüt, Kara e Isik (2009)
	Programação multiobjetivo <i>fuzzy</i>	Seleção de fornecedores considerando as restrições dos tomadores de decisão	Arikan (2013)
TOPSIS e ANP	Seleção de fornecedores em uma indústria eletrônica	Lin, Chen e Ting (2011)	

Quadro 3. Estudos comparativos entre métodos MCDM.

Proposto por	Métodos comparados	Contexto do problema
Schmidt (1995)	AHP e MACBETH	Priorização de critérios
Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998)	ELECTRE, PROMETHEE e SMART	Quatro problemas diferentes relacionados à gestão ambiental
Mahmoud e Garcia (2000)	AHP, <i>Compromise Programming</i> , ELECTRE e PROMETHEE	Selecionar melhores práticas de gerenciamento
Bhutta e Huq (2002)	AHP e <i>Total Cost Ownership</i>	Seleção de fornecedores
Ertugrul e Karakasoglu (2008)	Fuzzy-AHP e Fuzzy-TOPSIS	Seleção de localização de uma indústria
Lima Junior (2013)	Fuzzy-AHP e Fuzzy-TOPSIS	Seleção de fornecedores
Anojkumar, Ilangkumaran e Sasirekha (2014)	Fuzzy-AHP, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS e VIKOR	Seleção de material

- Definir uma matriz de decisão D correspondente ao desempenho das alternativas conforme a Equação 1 e um vetor de pesos W de acordo com a Equação 2. Na Equação 1, A_i denota as alternativas avaliadas, C_j refere-se aos critérios usados, $i=1, 2..n$ indica o número das alternativas e $j=1, 2...m$ o número dos critérios de decisão. Na Equação 2, W é composto pelos pesos w_j de cada critério C_j de modo a satisfazer $\sum_{i=1}^m w_j = 1$.

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ A_1 & \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1j} & \dots & d_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_i & \begin{bmatrix} d_{i1} & d_{i2} & \dots & d_{ij} & \dots & d_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_n & \begin{bmatrix} d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nj} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (1)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m] \quad (2)$$

- Normalizar e ponderar a matriz de decisão D . Os elementos da matriz normalizada $N=[n_{ij}]$ são definidos de acordo com a Equação 3.

$$n_{ij} = w_j d_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j d_{ij}^2} \quad (3)$$

- Determinar a solução ideal positiva (*Positive Ideal Solution*, PIS, A^+) e a solução ideal negativa (*Negative Ideal Solution*, NIS, A^-) de acordo com as Equações 4 e 5.

$$A^+ = \{ \text{MAX}_j n_{ij} \mid j=1,2,\dots,m \} = \{ n_1^+, \dots, n_j^+, \dots, n_m^+ \} \quad (4)$$

$$A^- = \{ \text{MIN}_j n_{ij} \mid j=1,2,\dots,m \} = \{ n_1^-, \dots, n_j^-, \dots, n_m^- \} \quad (5)$$

- Para cada alternativa avaliada, usando a Equação 6, calcule a distância D_i^+ entre os valores de desempenho normalizados e ponderados da matriz N e os valores da solução ideal positiva. Analogamente, usando a Equação 7,

calcule a distância D_i^- entre as pontuações das alternativas da matriz N e os valores da solução ideal negativa.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (n_{ij} - n_j^+)^2} \quad (6)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (n_{ij} - n_j^-)^2} \quad (7)$$

- Calcular o coeficiente de aproximação (*closeness coefficient*, CC_i) de acordo com a Equação 8, o qual corresponde ao desempenho global (ou à pontuação final) da alternativa i .

$$CC_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (8)$$

- Classificar as alternativas em ordem decrescente segundo os valores do coeficiente de aproximação, definido no intervalo $[0,0, 1,0]$. As melhores alternativas são aquelas cujo desempenho global é mais próximo de 1,0.

3.4 Método Fuzzy-TOPSIS

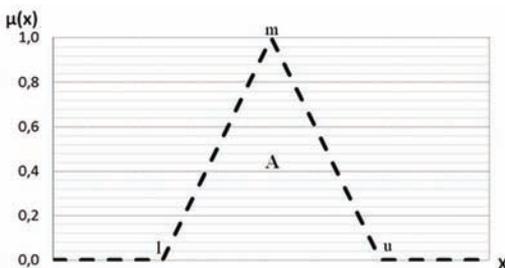
Visando adequar o método TOPSIS para tomada de decisão em cenários de incerteza, Chen (2000) propôs a primeira combinação entre este método e a teoria dos conjuntos *fuzzy*. A teoria dos conjuntos *fuzzy* (*Fuzzy Set Theory* - FST) foi proposta por Zadeh (1965) e vem sendo usada na modelagem de sistemas com categorias de elementos cujas fronteiras são consideradas incertas, sendo definidas por meio de propriedades subjetivas ou atributos imprecisos. A adequação da FST ao tratamento de incerteza se deve principalmente à lógica que define o grau de inclusão dos elementos em conjuntos *fuzzy*: a FST modela um conjunto *fuzzy* por meio de uma função de pertinência $\mu_A(x): X \rightarrow [0,0, 1,0]$, para permitir níveis parciais de inclusão. Ao contrário da teoria

dos conjuntos clássica, em que um conjunto pode ser definido usando uma função característica $\mu_A(x): X \rightarrow \{0.0, 1.0\}$, na teoria dos conjuntos *fuzzy* e na Lógica *Fuzzy*, como $\mu_A(x)$ toma valores no intervalo contínuo $[0.0, 1.0]$, admite-se a existência de níveis intermediários entre os valores de pertinência “falso” (0.0) e “verdadeiro” (1.0) (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007; ZADEH, 1965).

No método *Fuzzy-TOPSIS*, as pontuações das alternativas e o peso dos critérios de decisão são definidos como variáveis linguísticas. Uma variável linguística é aquela cujos valores são sentenças definidas em linguagem natural ou artificial, permitindo distinguir qualificações por meio de faixas de gradações (ZADEH, 1973). O uso de variáveis linguísticas requer a definição de um conjunto de termos linguísticos para mensurar seus valores de forma adequada. Por exemplo, o valor da variável linguística “comunicação com o fornecedor” pode ser medido por meio dos termos linguísticos “ruim”, “boa” e “ótima”.

Termos linguísticos são comumente representados por números *fuzzy* triangulares e trapezoidais. Números *fuzzy* são constituídos por conjuntos *fuzzy* que obedecem a condições de normalidade e continuidade. A morfologia de um número *fuzzy* permite a quantificação da imprecisão associada a uma dada informação, sendo definida por meio do comportamento de sua função de pertinência $\mu(x)$. Como ilustra a Figura 2, um número *fuzzy* triangular pode ser escrito na forma (l, m, u) , em que m denota um valor *crisp* formal para o conjunto *fuzzy*, l é o limite inferior e u é o limite superior. Já os números *fuzzy* trapezoidais são funções lineares caracterizadas por 4 parâmetros (l, m, n, u) . Funções de pertinência não lineares também são usadas em aplicações envolvendo FST e frequentemente são representadas por números sigmoidais (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007; KAHRAMAN, 2008).

Operações algébricas com dois números triangulares \tilde{A} e \tilde{B} podem ser feitas usando a Equação 9 para soma, Equação 10 para subtração, Equação 11 para multiplicação e Equação 12 para divisão (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007).



$$\tilde{A} + \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B] \quad (9)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [l_A - l_B, m_A - m_B, u_A - u_B] \quad (10)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] * [l_B, m_B, u_B] = [l_A * l_B, m_A * m_B, u_A * u_B] \quad (11)$$

$$\tilde{A} / \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] / [l_B, m_B, u_B] = [l_A / l_B, m_A / m_B, u_A / u_B] \quad (12)$$

Postos alguns fundamentos da FST necessários ao entendimento do método *Fuzzy-TOPSIS*, o algoritmo deste método é descrito a seguir (CHEN, 2000):

- i. Agregar os valores linguísticos fornecidos por cada um dos tomadores de decisão (DM_r). A Equação 13 é usada para agregar as pontuações das alternativas. Nessa equação, \tilde{x}_{ij} descreve as pontuações da alternativa A_i ($i = 1, \dots, n$), em relação ao critério C_j ($j = 1, \dots, m$), dado pelo tomador de decisão DM_r ($r = 1, \dots, k$). As avaliações dos pesos dos critérios são agregadas usando a Equação 14, em que \tilde{w}_j descreve o peso do critério, dado por DM_r .

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^r + \dots + \tilde{x}_{ij}^k] \quad (13)$$

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad (14)$$

- ii. Monte uma matriz de decisão *fuzzy* \tilde{D} para as pontuações das alternativas e um vetor *fuzzy* \tilde{W} para o peso dos critérios de acordo com as Equações 15 e 16, respectivamente.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nj} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (15)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m] \quad (16)$$

- iii. Normalize a matriz \tilde{D} usando uma escala de transformação linear. A matriz normalizada

$$\text{sendo } \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{se } x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{se } x \in [m, u] \\ 0, & \text{se } x \geq u \end{cases}$$

Figura 2. Número *fuzzy* triangular.

\tilde{R} é dada pela Equação 17, sendo \tilde{r}_{ij} obtido por meio das Equações 18 ou 19.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \tag{17}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right) \tag{18}$$

sendo $u_j^+ = \max_i u_{ij}$ (critérios de benefício)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right) \tag{19}$$

sendo $l_j^- = \min_i l_{ij}$ (critérios de custo)

- *iv.* Obter a matriz normalizada e ponderada \tilde{V} (Equação 20) por meio da multiplicação dos pesos \tilde{w}_j pelos elementos \tilde{r}_{ij} da matriz normalizada conforme a Equação 21.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \tag{20}$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j \tag{21}$$

- *v.* Definir a solução ideal positiva *fuzzy* (*Fuzzy Positive Ideal Solution*, FPIS, A^+) e a solução ideal negativa (*Fuzzy Negative Ideal Solution*, FNIS, A^-) de acordo com as Equações 22 e 23, em que $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ e $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

$$A^+ = \{ \tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_m^+ \} \tag{22}$$

$$A^- = \{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_m^- \} \tag{23}$$

- *vi.* Calcular a distância D_i^+ entre os valores de FPIS e as pontuações das alternativas da matriz \tilde{R} usando a Equação 24. Analogamente, calcular a distância D_i^- entre os valores de FNIS e as pontuações das alternativas usando a Equação 25. Nas Equações 24 e 25, $d(\cdot, \cdot)$ representa a distância entre dois números *fuzzy* de acordo com o método *vertex*, que pode ser obtida por meio da Equação 26 (para o caso de números *fuzzy* triangulares).

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \tag{24}$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \tag{25}$$

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \tag{26}$$

- *vii.* Para cada uma das alternativas avaliadas, calcular o coeficiente de aproximação CC_i de acordo com a Equação 27.

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)} \tag{27}$$

- *viii.* Finalmente, define-se um *ranking* a partir da ordenação decrescente dos valores de CC_i . Quão mais próximo a 1,0 for este valor, melhor é o desempenho global da alternativa.

4 Análise comparativa entre os métodos TOPSIS e *Fuzzy*-TOPSIS

Esta seção compara os métodos TOPSIS e do *Fuzzy*-TOPSIS no apoio à seleção de fornecedores utilizando parâmetros quantitativos e qualitativos. Com base em outros estudos comparativos, os seguintes parâmetros de comparação foram escolhidos: (1) comparação dos resultados fornecidos, feita a partir da aplicação prática de ambos os métodos em um mesmo problema; (2) complexidade computacional, que estima o esforço computacional requerido por ambos os métodos; e (3) comparação dos algoritmos, que analisa 7 aspectos relacionados à modelagem e ao funcionamento dos métodos considerando o alinhamento de suas características com os requisitos do problema de seleção de fornecedores,

4.1 Comparação dos resultados fornecidos

Por meio de uma pesquisa de campo em uma empresa de cabos de transmissão localizada no Estado de São Paulo, o TOPSIS e o *Fuzzy*-TOPSIS foram aplicados em um caso real de seleção de fornecedores. A empresa necessitava adquirir novos componentes metálicos de fornecedores conhecidos em transações anteriores. Para selecionar a melhor alternativa, 5 fornecedores foram avaliados considerando 7 critérios já usados pela empresa, descritos no Quadro 4. As avaliações requeridas por ambos os métodos foram coletadas junto a dois especialistas, um engenheiro de qualidade e um gestor do setor de compras, que avaliaram o desempenho das alternativas e os pesos dos critérios usando um único questionário.

4.1.1 Aplicação do método TOPSIS

Para coletar os julgamentos dos especialistas quanto ao desempenho dos fornecedores avaliados, foi utilizada uma escala numérica definida entre [0,0, 10,0]. Para coletar o peso dos critérios, outra escala foi definida entre [0,0, 1,0]. As avaliações fornecidas pelos especialistas quanto ao desempenho dos fornecedores e ao peso dos critérios de decisão são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Por meio da Equação 3, obteve-se a matriz de decisão ponderada e normalizada N , mostrada na Tabela 3.

Com base na Equação 4, a solução ideal positiva é definida pela Expressão 28. Já a solução ideal negativa é definida segundo a Equação 5 pela Expressão 29.

$$A^+ = \{0,10; 0,09; 0,08; 0,06; 0,06; 0,09; 0,07\} \tag{28}$$

Quadro 4. Critérios usados pela empresa para avaliação dos potenciais fornecedores.

Qualidade (C₁): Medida de desempenho decorrente de uma avaliação ampla da gestão da qualidade na empresa fornecedora (capabilidade do processo produtivo, o compromisso com a qualidade, garantia, etc.)
Custo (C₂): Considera preço, custo de transporte, custo de processamento de pedidos e custo de armazenagem
Entrega (C₃): Refere-se ao prazo, à confiabilidade e à conformidade de entrega
Perfil do fornecedor (C₄): Compreende a capacidade técnica, posição de mercado e poder financeiro
Relacionamento com o fornecedor (C₅): Avalia a colaboração e a confiança entre comprador e fornecedor
Flexibilidade (C₆): Consiste na habilidade de se adaptar a circunstâncias inesperadas
Desempenho ambiental (C₇): Avalia os impactos ambientais durante o ciclo de vida do produto

Tabela 1. Matriz de julgamentos dos especialistas sobre o desempenho dos fornecedores (D).

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
A ₁	5,00	7,50	5,50	5,00	7,50	7,00	9,00
A ₂	8,00	3,50	5,50	4,00	8,00	8,00	9,50
A ₃	7,00	8,00	7,50	7,00	8,00	3,50	6,50
A ₄	5,00	7,00	5,00	7,00	7,00	5,00	2,50
A ₅	9,00	7,50	9,00	8,00	6,00	10,00	9,50

Tabela 2. Julgamentos dos especialistas sobre o peso dos critérios (W_j).

Formato dos dados	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Julgamentos coletados	1,00	1,00	0,75	0,60	0,70	0,80	0,70
Ajustados conforme $\sum_{i=1}^m w_j = 1$	0,18	0,18	0,14	0,11	0,13	0,14	0,13

Tabela 3. Matriz de desempenho dos fornecedores ponderada e normalizada.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
A ₁	0,06	0,09	0,05	0,04	0,06	0,06	0,06
A ₂	0,09	0,04	0,05	0,03	0,06	0,07	0,07
A ₃	0,08	0,09	0,07	0,05	0,06	0,03	0,05
A ₄	0,06	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02
A ₅	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	0,09	0,07

$$A^- = \{0,06; 0,04; 0,05; 0,03; 0,05; 0,03; 0,02\} \quad (29)$$

Usando a Equação 6, obteve-se uma medida de separação D_i^+ correspondente à distância entre A^+ e a pontuação de cada fornecedor em cada critério, como mostra a Tabela 4. Analogamente, usando a Equação 7, obteve-se D_i^- , que corresponde à distância entre A^- e a pontuação dos fornecedores em cada critério, conforme mostra a Tabela 5.

Usando a Equação 8 e os valores de D_i^+ e D_i^- , obteve-se os valores de CC_i para cada uma das alternativas. O ranking apresentando na Tabela 6 foi construído a partir da ordenação dos valores de CC_i . De acordo com esse ranking, a preferência entre

os fornecedores equivale a $A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$. Portanto, o fornecedor 5 deve ser escolhido.

4.1.2 Aplicação do método Fuzzy-TOPSIS

Conforme mostra a Tabela 7, duas escalas linguísticas foram definidas, sendo uma para avaliar o peso dos critérios e outra para o desempenho dos fornecedores. Os termos linguísticos foram modelados usando números fuzzy triangulares por estes requererem menor esforço computacional. A Figura 3 ilustra as escalas linguísticas desenvolvidas.

As avaliações fornecidas pelos especialistas quanto ao desempenho dos fornecedores e ao peso dos critérios de decisão são apresentadas nas Tabelas 8 e 9, respectivamente. A Tabela 10 exibe os valores dos números fuzzy triangulares correspondentes aos valores linguísticos fornecidos pelos especialistas.

Por meio das Equações 18 e 21, obteve-se a matriz de decisão fuzzy ponderada e normalizada \tilde{R} , que é mostrada a Tabela 11.

Com base na Equação 22, a solução ideal positiva fuzzy é definida pela Expressão 30. A solução ideal negativa fuzzy é definida segundo a Equação 23 pela Expressão 31.

$$A^+ = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1)] \quad (30)$$

$$A^- = [(0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0)] \quad (31)$$

Usando a Equação 24, obteve-se uma medida de separação D_i^+ correspondente à distância entre A^+ e a pontuação de cada fornecedor em cada critério, mostrada na Tabela 12. Analogamente, usando a Equação 25, obteve-se D_i^- , como exibe a Tabela 13.

Usando a Equação 27, obtiveram-se os valores de CC_i de cada uma das alternativas, mostrados no ranking da Tabela 14. Nota-se que o Fuzzy-TOPSIS forneceu a mesma classificação que o TOPSIS, equivalente a $A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$.

4.2 Comparação da complexidade computacional

Segundo Chang (1996), a complexidade computacional de um algoritmo pode ser medida em função de sua complexidade de tempo T_n , que é uma

Tabela 4. Distâncias em relação a cada critério e distância total (D_i^+) entre as alternativas e A^+ .

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	D_i^+
$d(A_1, A^+)$	0,0021	0,0000	0,0010	0,0005	0,0000	0,0007	0,0000	0,0668
$d(A_2, A^+)$	0,0001	0,0028	0,0010	0,0009	0,0000	0,0003	0,0000	0,0718
$d(A_3, A^+)$	0,0005	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000	0,0035	0,0005	0,0689
$d(A_4, A^+)$	0,0021	0,0001	0,0013	0,0001	0,0001	0,0021	0,0025	0,0910
$d(A_5, A^+)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0164

Tabela 5. Distâncias em relação a cada critério e distância total (D_i^-) entre as alternativas e A^- .

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	D_i^-
$d(A_1, A^-)$	0,0000	0,0022	0,0000	0,0001	0,0001	0,0010	0,0022	0,0747
$d(A_2, A^-)$	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0017	0,0025	0,0752
$d(A_3, A^-)$	0,0005	0,0028	0,0005	0,0005	0,0002	0,0000	0,0008	0,0734
$d(A_4, A^-)$	0,0000	0,0017	0,0000	0,0005	0,0001	0,0002	0,0000	0,0494
$d(A_5, A^-)$	0,0021	0,0022	0,0013	0,0009	0,0000	0,0035	0,0025	0,1121

Tabela 6. *Ranking* dos fornecedores avaliados.

Fornecedores	Desempenho global (CC_j)	Classificação
A_1	0,53	2°
A_2	0,51	4°
A_3	0,52	3°
A_4	0,35	5°
A_5	0,87	1°

estimativa do tempo que o algoritmo consome para ser concluído em função das entradas do problema. Neste estudo, o valor de T_n foi medido com base em Chang (1996), utilizando-se como critério de avaliação o número de multiplicações, de divisões e também de operações exponenciais. As medidas de $T_{n,m}$ obtidas por cada método comparado em função da quantidade de fornecedores n e de critérios m são mostradas na Tabela 15 e ilustradas na Figura 4.

Conforme ilustra a Figura 4, a complexidade computacional do método *Fuzzy*-TOPSIS em todos os cenários avaliados é em média duas vezes maior que a do TOPSIS. No melhor caso, considerando 2 fornecedores e 2 critérios, o valor de $T_{n,m}$ equivale a 34 para o TOPSIS e 70 para o *Fuzzy*-TOPSIS. Já, no pior caso, considerando 10 fornecedores e 10 critérios, $T_{n,m}$ é igual a 810 para o TOPSIS e 1710 para o *Fuzzy*-TOPSIS. Conclui-se então que o TOPSIS apresenta melhor desempenho computacional.

4.3 Comparação dos algoritmos

O Quadro 5 compara 7 aspectos relacionados aos algoritmos do TOPSIS e do *Fuzzy*-TOPSIS. A partir desta análise comparativa, verificou-se que todas as etapas do algoritmo do *Fuzzy*-TOPSIS são

semelhantes às do TOPSIS. O valor de CC_i é expresso e interpretado da mesma forma em ambos os métodos. Apesar de o *Fuzzy*-TOPSIS usar um procedimento diferente para obtenção de D_i^+ e D_i^- , o procedimento de medição do *vertex* é parecido com o método de distância euclidiana normalizada, diferindo-se apenas por usar princípios da matemática intervalar para realizar operações com números *fuzzy*.

Em relação às diferenças identificadas, a coleta de dados usando o TOPSIS é mais simples e requer menos julgamentos que o *Fuzzy*-TOPSIS. Na aplicação realizada por este estudo, considerando a avaliação de 5 fornecedores usando 7 critérios e a parametrização das escalas linguísticas, os valores de julgamento requeridos dos especialistas totalizaram 42 para o TOPSIS e 72 para *Fuzzy*-TOPSIS. Desta forma, dependendo da quantidade de variáveis de entrada e de termos usados, o uso do *Fuzzy*-TOPSIS pode tornar a coleta de dados exaustiva por requerer julgamentos extras para parametrização das escalas linguísticas (3 julgamentos para cada número *fuzzy* triangular e 4 para números trapezoidais).

Entretanto, a partir das simulações computacionais realizadas, nas quais novas alternativas com pontuações aleatórias foram incluídas e excluídas em cada um dos modelos, verificou-se que a inserção e a exclusão de alternativas no TOPSIS afeta a consistência dos resultados fornecidos, pois modifica o desempenho global das demais alternativas e em alguns casos pode causar inversões no *ranking*. Esse problema é conhecido como *ranking reversal* e também ocorre em técnicas comparativas como AHP e *Fuzzy*-AHP. Considerando os valores do caso apresentado, ao incluir um fornecedor fictício A_6 , cujas pontuações do primeiro ao sétimo critério equivalem a 0,5, 3,5, 10,0, 8,5, 9,0, 1,0 e 2,0, o TOPSIS forneceu a classificação $A_5 > A_2 > A_3 > A_1 > A_4 > A_6$, invertendo

Tabela 7. Escalas linguísticas para avaliar o peso dos critérios de decisão e o desempenho dos fornecedores.

Escala para o peso dos critérios				Escala para o desempenho dos fornecedores			
Valor linguístico	Valor fuzzy			Valor linguístico	Valor fuzzy		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>		<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
Muito Baixo (MB)	0,00	0,00	0,25	Muito Ruim (MR)	0,00	0,00	2,50
Baixo (B)	0,00	0,25	0,50	Ruim (R)	0,00	2,50	5,00
Médio (M)	0,25	0,50	0,75	Bom (B)	2,50	5,00	7,50
Alto (A)	0,50	0,75	1,00	Muito Bom (MB)	5,00	7,50	10,00
Muito Alto (MA)	0,75	1,00	1,00	Ótimo (O)	7,50	10,00	10,00

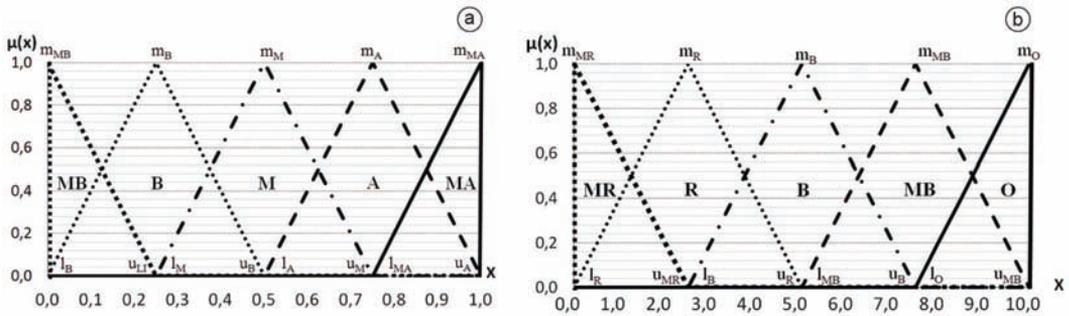


Figura 3. Representação gráfica das escalas para o peso dos critérios (a) e o desempenho dos fornecedores (b).

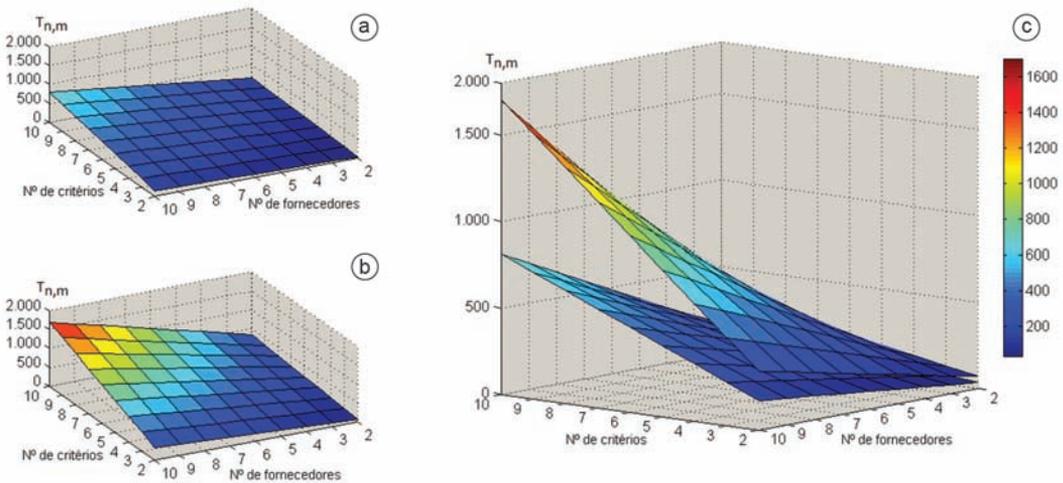


Figura 4. Complexidade computacional do TOPSIS (a) e Fuzzy-TOPSIS (b) e comparação de ambas (c).

as posições de A_1 e A_2 . Durante a realização dos mesmos experimentos usando o Fuzzy-TOPSIS, o desempenho global e a classificação das alternativas permaneceram os mesmos. A inversão de ranking ocorre no TOPSIS porque os valores das soluções ideais variam segundo as pontuações das alternativas avaliadas. Como no Fuzzy-TOPSIS esses valores são fixos, este método se mostra mais vantajoso por permitir a inserção ou exclusão de alternativas sem causar inversões no ranking.

Outra diferença marcante entre os métodos comparados é a forma de representação das informações referentes às pontuações dos fornecedores e ao peso dos critérios, a qual é feita em formato numérico no TOPSIS e em modo linguístico no

Tabela 8. Matriz de julgamentos linguísticos dos especialistas sobre o desempenho dos fornecedores (\tilde{D}).

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	M	A	M	M	A	A	MA
A_2	A	B	M	B	A	A	MA
A_3	A	A	A	A	A	B	M
A_4	M	A	M	A	A	M	B
A_5	MA	A	MA	A	M	MA	MA

Tabela 9. Julgamentos linguísticos dos especialistas sobre o peso dos fornecedores (\tilde{W}_j).

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
MA	MA	A	M	A	A	A	A

Tabela 10. Números *fuzzy* triangulares correspondentes aos julgamentos dos especialistas.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
A ₁	2,50, 5,00, 7,50	5,00, 7,50, 10,00	2,50, 5,00, 7,50	2,50, 5,00, 7,50	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	7,50, 10,00, 10,00
A ₂	5,00, 7,50, 10,00	0,00, 2,50, 5,00	2,50, 5,00, 7,50	0,00, 2,50, 5,00	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	7,50, 10,00, 10,00
A ₃	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	0,00, 2,50, 5,00	2,50, 5,00, 7,50
A ₄	2,50, 5,00, 7,50	5,00, 7,50, 10,00	2,50, 5,00, 7,50	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	2,50, 5,00, 7,50	0,00, 2,50, 5,00
A ₅	7,50, 10,00, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	7,50, 10,00, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	2,50, 5,00, 7,50	7,50, 10,00, 10,00	7,50, 10,00, 10,00
W _j	7,50, 10,00, 10,00	7,50, 10,00, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	2,50, 5,00, 7,50	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00	5,00, 7,50, 10,00

Tabela 11. Matriz de desempenho dos fornecedores ponderada e normalizada.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
A ₁	0,25, 0,50, 0,75	0,50, 0,75, 1,00	0,25, 0,50, 0,75	0,25, 0,50, 0,75	0,50, 0,75, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,75, 1,00, 1,00
A ₂	0,50, 0,75, 1,00	0,00, 0,25, 0,50	0,25, 0,50, 0,75	0,00, 0,25, 0,50	0,50, 0,75, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,75, 1,00, 1,00
A ₃	0,50, 0,75, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,00, 0,25, 0,50	0,25, 0,50, 0,75
A ₄	0,25, 0,50, 0,75	0,50, 0,75, 1,00	0,25, 0,50, 0,75	0,50, 0,75, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,25, 0,50, 0,75	0,00, 0,25, 0,50
A ₅	0,75, 1,00, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,75, 1,00, 1,00	0,50, 0,75, 1,00	0,25, 0,50, 0,75	0,75, 1,00, 1,00	0,75, 1,00, 1,00

Tabela 12. Distâncias em relação a cada critério e distância total (D_i⁺) entre as alternativas e FPIS.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	D _i ⁺
d(A ₁ ,A ⁺)	0,97	0,45	1,22	1,63	0,75	0,75	0,45	2,50
d(A ₂ ,A ⁺)	0,45	1,81	1,22	2,17	0,75	0,75	0,45	2,76
d(A ₃ ,A ⁺)	0,45	0,45	0,75	1,22	0,75	1,91	1,22	2,60
d(A ₄ ,A ⁺)	0,97	0,45	1,22	1,22	0,75	1,22	1,91	2,78
d(A ₅ ,A ⁺)	0,19	0,45	0,45	1,22	1,22	0,45	0,45	2,11

Tabela 13. Distâncias em relação a cada critério e distância total (D_i⁻) entre as alternativas e FNIS.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	D _i ⁻
d(A ₁ ,A ⁻)	0,85	1,70	0,72	0,38	1,38	1,38	1,70	2,85
d(A ₂ ,A ⁻)	1,70	0,31	0,72	0,16	1,38	1,38	1,70	2,71
d(A ₃ ,A ⁻)	1,70	1,70	1,38	0,72	1,38	0,29	0,72	2,81
d(A ₄ ,A ⁻)	0,85	1,70	0,72	0,72	1,38	0,72	0,29	2,52
d(A ₅ ,A ⁻)	2,32	1,70	1,70	0,72	0,72	1,70	1,70	3,25

Tabela 14. *Ranking* dos fornecedores avaliados.

Fornecedores	Desempenho global (CC _j)	Classificação
A ₁	0,53	2°
A ₂	0,50	4°
A ₃	0,52	3°
A ₄	0,48	5°
A ₅	0,61	1°

Fuzzy-TOPSIS. Por causa disso, para modelar o peso dos critérios e o desempenho dos fornecedores em critérios qualitativos, o TOPSIS se mostra pouco adequado devido à dificuldade humana de avaliar fatores intangíveis precisamente usando números *crisp* (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998). Desta forma, o *Fuzzy*-TOPSIS se mostra mais apropriado para lidar com variáveis qualitativas por quantificar seus valores de modo linguístico e também por

Tabela 15. Complexidade computacional dos métodos TOPSIS e *Fuzzy*-TOPSIS.

Procedimento matemático	TOPSIS	<i>Fuzzy</i> -TOPSIS
Cálculo da matriz ponderada e normalizada	$4nm$	$7nm$
Cálculo das distâncias D_i^+ e D_i^-	$4nm$	$10nm$
Cálculo de CC_i	n	n
Valor total de $T_{n,m}$	$8nm + n$	$17nm + n$

Quadro 5. Comparação entre os algoritmos dos métodos TOPSIS e *Fuzzy*-TOPSIS.

Aspectos avaliados	TOPSIS	<i>Fuzzy</i> -TOPSIS	Conclusão
I. Quantidade de julgamentos requeridos	$nm+m$ julgamentos	$nm+n$ julgamentos (mais valores para termos linguístico)	Diferente
II. Pontuações dos fornecedores e pesos	Expressa por valores numéricos <i>crisp</i>	Valores linguísticos <i>fuzzy</i>	Diferente
III. Desempenho global dos fornecedores (CC_i)	Feita em formato <i>crisp</i> entre [0,1]	Formato <i>crisp</i> entre [0,1]	Igual
IV. Composição da Solução Ideal Positiva	Em cada critério, seleciona-se o melhor valor alcançado pelas alternativas	Definida como (1.0,1.0,1.0) para todos os critérios	Diferente
V. Composição da Solução Ideal Negativa	Em cada critério, seleciona-se o pior valor alcançado pelas alternativas	Definida como (0.0,0.0,0.0) para todos os critérios	Diferente
VI. Cálculo das distâncias D_i^+ e D_i^-	Método da distância euclidiana normalizada	Método <i>vertex</i>	Semelhante
VII. Consistência dos resultados fornecidos	A inserção de novas alternativas pode causar inversões no <i>ranking</i>	A inserção de novas alternativas não alterou o <i>ranking</i>	Diferente

permitir a quantificação do nível de imprecisão a partir da definição dos valores dos parâmetros dos números *fuzzy*. No caso de critérios quantitativos, o uso do TOPSIS se mostra mais viável somente para manipulação de critérios nos quais o desempenho do fornecedor é precisamente conhecido por meio de cotações e licitações, tais como preço, custo de transporte, prazo de entrega, duração da garantia, entre outros. Em outros casos, mesmo que o potencial fornecedor já tenha fornecido outro produto para o comprador, a avaliação sobre qual será seu desempenho futuro em critérios como conformidade de produto, confiabilidade de entrega, entre outros, é, na melhor das hipóteses, uma boa estimativa. Neste sentido, o *Fuzzy*-TOPSIS também se mostra mais adequado que o TOPSIS para modelagem de valores quantitativos imprecisos, como “em torno de 50”, “perto de 70” ou “aproximadamente 100”.

5 Conclusão e sugestões para pesquisas futuras

O Quadro 6 sumariza as vantagens de uso e as limitações do TOPSIS e do *Fuzzy*-TOPSIS identificadas por este estudo. As discussões apresentadas e os resultados obtidos são especialmente úteis para ajudar pesquisadores e profissionais da área a escolher o método mais adequado para lidar com as peculiaridades do problema de seleção de fornecedores em questão.

A partir da revisão bibliográfica, da modelagem computacional, da aplicação das técnicas e da comparação, conclui-se que o *Fuzzy*-TOPSIS é mais adequado que o TOPSIS para apoiar situações de decisão sob incerteza, em que as informações sobre o desempenho dos fornecedores são imprecisas ou incompletas, como em situações de compra de um novo produto de um fornecedor desconhecido. A adoção do *Fuzzy*-TOPSIS também é recomendada para o monitoramento do desempenho da base de fornecedores, em que é necessário incluir ou excluir novos fornecedores frequentemente sem alterar o desempenho dos demais. Apesar de suas vantagens evidentes, este método requer maior interação com os tomadores de decisão e possui um processo de modelagem mais complexo por requerer o entendimento de conceitos fundamentais da teoria dos conjuntos *fuzzy*. Para situações de recompra de itens de rotina, em que os fornecedores são conhecidos e os critérios usados costumam se referir a preço, prazo de entrega, entre outros fatores quantitativos, o TOPSIS se mostra mais adequado por modelar valores precisos requerendo menor interação com o usuário e menor esforço computacional.

Embora a Lógica *Fuzzy* seja utilizada pela maioria dos modelos propostos para seleção de fornecedores publicados recentemente (CHAI; LIU; NGAI, 2013), a partir de uma análise de 120 estudos oriundos do *Scielo*

Quadro 6. Vantagens de uso e limitação dos métodos comparados.

	TOPSIS	Fuzzy-TOPSIS
Vantagens de uso	<ul style="list-style-type: none"> - Adequado para modelar valores de critérios quantitativos precisamente conhecidos - O processo de coleta de dados é mais simples e requer menor quantidade de julgamentos - Menor complexidade computacional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adequado para critérios qualitativos e pesos - Adequado para modelar critérios quantitativos em situações de seleção de fornecedores sob incerteza - A inserção ou exclusão de alternativas não causa inversão no <i>ranking</i>
Limitações	<ul style="list-style-type: none"> - Inadequado para modelar variáveis qualitativas - Dificuldade para definição dos pesos - Pode ocorrer inversão no <i>ranking</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - A coleta de dados para a modelagem é mais complexa e requer julgamentos adicionais para parametrizar os números <i>fuzzy</i> - Maior complexidade computacional

e das principais bases de dados internacionais, Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013a) não encontraram estudos brasileiros que apliquem o *Fuzzy-TOPSIS* ou outros métodos baseados em *Lógica Fuzzy* no problema de seleção de fornecedores. Neste sentido, além da análise comparativa, outra contribuição deste estudo é a demonstração de uso do método *Fuzzy-TOPSIS* em um caso real de seleção de fornecedores. Apesar das particularidades dos métodos comparados, ambos forneceram a mesma classificação para as alternativas, embora os valores obtidos para a variável CC_i sejam consideravelmente diferentes.

Embora os resultados desta comparação em alguns aspectos quantitativos possam ser replicados para outros domínios de problema, tais como complexidade computacional, interação requerida e consistência dos resultados (quando modificadas as alternativas), a realização de novas comparações usando outros parâmetros relevantes a um dado problema de decisão pode trazer novas contribuições à literatura de gestão de operações. Desta forma, pesquisas futuras podem considerar o contexto e os requisitos dos problemas de seleção de localização, seleção de *software*, seleção de pessoal, seleção de máquinas, entre outros. Novos estudos podem focar técnicas que carecem de análises comparativas, como Inferência *Fuzzy*, *Fuzzy-QFD*, *Fuzzy 2-Tupple*, *Fuzzy-ANP* e *Fuzzy-PROMETHEE*.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento desta pesquisa.

Referências

- AISSAOUI, N.; HAOUARI, M.; HASSINI, E. Supplier selection and order lot sizing modeling: a review. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 12, p. 3516-3540, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2006.01.016>
- AKSOY, A.; ÖZTÜRK, N. Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 5, p. 6351-6359, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.104>
- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.
- AMIN, S. H.; RAZMI, J. An integrated fuzzy model for supplier management: a case study of ISP selection and evaluation. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 4, p. 8639-8648, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.012>
- AMINDOUST, A. et al. Sustainable supplier selection: a ranking model based on fuzzy inference system. **Applied Soft Computing Journal**, v. 12, n. 6, p. 1668-1677, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.01.023>
- ANOJKUMAR, L.; ILANGKUMARAN, M.; SASIREKHA, V. Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 6, p. 2964-2980, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.028>
- ARIKAN, F. A fuzzy solution approach for multi objective supplier selection. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 3, p. 947-952, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.051>
- AWASTHI, A.; CHAUHAN, S. S.; GOYAL, S. K. A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. **International Journal of Production Economics**, v. 126, n. 2, p. 370-378, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.029>
- BEAMON, B. M. Measuring supply chain performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 3, p. 275-292, 1999. <http://dx.doi.org/10.1108/01443579910249714>
- BEHZADIAN, M. et al. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 17, p. 13051-13069, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002. <http://dx.doi.org/10.1108/01443570210414338>
- BHUTTA, K. S.; HUQ, F. Supplier selection problem: a comparison of the total cost ownership and analytic hierarchy process approaches. **Supply Chain**

- Management**, v. 7, n. 3, p. 126-135, 2002. <http://dx.doi.org/10.1108/13598540210436586>
- BORAN, F. E. et al. A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 8, p. 11363-11368, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>
- BOTTANI, E.; RIZZI, A. A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 11, n. 4, p. 294-308, 2006. <http://dx.doi.org/10.1108/13598540610671743>
- BÜYÜKÖZKAN, G.; ÇİFÇİ, G. A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. **Computers in Industry**, v. 62, n. 2, p. 164-174, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2010.10.009>
- BÜYÜKÖZKAN, G.; ÇİFÇİ, G. A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 3, p. 3000-3011, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162>
- CASTRO, W. A. S.; GOMEZ, O. D. C.; FRANCO, L. F. O. Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte. **Cuaderno de Administración**, v. 22, p. 145-167, 2009.
- ÇELEBI, D.; BAYRAKTAR, D. An integrated neural network and data envelopment analysis for supplier evaluation under incomplete information. **Expert Systems with Applications**, v. 35, n. 4, p. 1698-1710, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.107>
- CELIK, M. A key decision-making process on logistic support to merchant ships based on operational requirements: marine supplier selection. **Naval Engineers Journal**, v. 122, n. 1, p. 125-135, 2010. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1559-3584.2010.00235.x>
- CHAI, J.; LIU, J. N. K.; NGAI, E. W. T. Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 10, p. 3872-3885, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.040>
- CHAN, F. T. S.; KUMAR, N. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. **Omega**, v. 35, n. 4, p. 417-431, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2005.08.004>
- CHANG, D. Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 95, n. 3, p. 649-655, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- CHEN, C. T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, p. 1-9, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- CHEN, C.; LIN, C.; HUANG, S. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection. **International Journal of Production Economics**, v. 102, n. 2, p. 289-301, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>
- DE BOER, L.; LABRO, E.; MORLACCHI, P. A review of methods supporting supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 7, n. 2-3, p. 75-89, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00028-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00028-9)
- DE BOER, L.; WEGEN, L. V. D.; TELGEN, J. Outranking methods in support of supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 4, n. 2-3, p. 109-118, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012\(97\)00034-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012(97)00034-8)
- DURŞUN, M.; KARSAK, E. E. A QFD-based fuzzy MCDM approach for supplier selection. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 8, p. 5864-5875, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.11.014>
- ERTUGRUL, I.; KARAKASOGLU, N. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. **International Journal Advances Manufacturing Technology**, v. 39, n. 7-8, p. 783-795, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-007-1249-8>
- FAZLOLLAHTABAR, H. et al. A multi-objective decision-making process of supplier selection and order allocation for multi-period scheduling in an electronic market. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 52, n. 9-12, p. 1039-1052, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-010-2800-6>
- FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Criteria decision analysis**. New York: Springer, 2005. 1085 p.
- GARCÍA, N. et al. Supplier selection model for commodities procurement: optimised assessment using a fuzzy decision support system. **Applied Soft Computing**, v. 13, n. 4, p. 1939-1951, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.12.008>
- GUNERI, A. F.; YUCEL, A.; AYYILDIZ, G. An integrated fuzzy-1p approach for a supplier selection problem in supply chain management. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 5, p. 9223-9228, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.12.021>
- HA, B.; PARK, Y.; CHO, S. Suppliers' affective trust and trust in competency in buyer: its effect on collaboration and logistics efficiency. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 1, p. 56-77, 2011. <http://dx.doi.org/10.1108/01443571111098744>
- 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, n. 1, p. 16-24, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009>
- HSU, P.; HSU, M. Optimizing the information outsourcing practices of primary care medical organizations using entropy and TOPSIS. **Quality & Quantity**, v. 42, n. 2, p. 181-201, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s11135-006-9040-8>
- HUDYMÁCOVÁ, M. et al. Supplier selection based on multi-criterial AHP method. **Acta Montanistica Slovaca**, v. 15, p. 249-255, 2010.
- HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Berlin: Springer-Verlag, 1981. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- IGARASHI, M.; DE BOER, L.; FET, A. M. What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development. **Journal of Purchasing**

- & **Supply Management**, v. 19, n. 4, p. 247-263, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2013.06.001>
- JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. C. Are supplier selection criteria going green? Case studies of companies in Brazil. **Industrial Management & Data Systems**, v. 109, n. 4, p. 477-495, 2009. <http://dx.doi.org/10.1108/02635570910948623>
- KAHRAMAN, C. (Org.) **Fuzzy multicriteria decision making: theory and applications with recent developments**. Turkey: Springer Science, 2008.
- KAHRAMAN, C.; CEBECI, U.; ULUKAN, Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy. **Logistics Information Management**, v. 16, n. 6, p. 382-394, 2003. <http://dx.doi.org/10.1108/09576050310503367>
- KANNAN, V. R.; TAN, K. C. Supplier selection and assessment: their impact on business performance. **Journal of Supply Chain Management**, v. 38, n. 4, p. 11-21, 2002. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00139.x>
- KANNAN, V. R.; TAN, K. C. Buyer-supplier relationships: the impact of supplier selection and buyer-supplier engagement on relationship and firm performance. **International Journal of Physical Distribution & Logistic Management**, v. 36, n. 10, p. 755-775, 2006. <http://dx.doi.org/10.1108/09600030610714580>
- KATSIKEAS, C. C.; PAPAROIDAMIS, N. G.; KATSIKEA, E. Supply source selection criteria: the impact of supplier performance on distributor performance. **Industrial Marketing Management**, v. 33, n. 8, p. 755-764, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2004.01.002>
- KILINCCI, O.; ONAL, S. A. Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9656-9664, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.159>
- KIRYTOPOULOS, K.; LEOPOULOS, V.; VOULGARIDOU, D. Supplier selection in pharmaceutical industry. **Benchmarking: An International Journal**, v. 15, n. 4, p. 494-516, 2008.
- KU, C.; CHANG, C.; HO, H. Global supplier selection using fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy goal programming. **Quality and Quantity**, v. 44, n. 4, p. 623-640, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s11135-009-9223-1>
- LIAO, C.; KAO, H. An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 9, p. 10803-10811, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.031>
- LIAO, Z.; RITTSCHER, J. Integration of supplier selection, procurement lot sizing and carrier selection under dynamic demand conditions. **International Journal of Production Economics**, v. 107, n. 2, p. 502-510, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.10.003>
- LIMA JUNIOR, F. R. **Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores**. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **Revista Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 781-801, 2013a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000005>
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A fuzzy inference and categorization approach for supplier selection using compensatory and non-compensatory decision rules. **Applied Soft Computing**, v. 13, n. 10, p. 4133-4147, 2013b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2013.06.020>
- LIN, C.; CHEN, C.; TING, Y. An ERP model for supplier selection in electronics industry. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 3, p. 1760-1765, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.102>
- MAHMOUD, M. R.; GARCIA, L. A. Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam. **Environment Modelling & Software**, v. 15, n. 5, p. 471-478, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-8152\(00\)00025-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-8152(00)00025-6)
- OMURCA, S. I. An intelligent supplier evaluation, selection and development system. **Applied Soft Computing**, v. 13, n. 1, p. 690-697, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.08.008>
- ÖNÜT, S.; KARA, S.; ISIK, E. Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: a case study for a telecommunication company. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 2, p. 3887-3895, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.045>
- ORDOOBADI, S. M. Development of a supplier selection model using fuzzy logic. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 14, n. 4, p. 314-327, 2009. <http://dx.doi.org/10.1108/13598540910970144>
- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing**. New Jersey: Wiley, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470168967>
- PRAJOGO, D. et al. The relationship between supplier management and firm's operational performance: a multidimensional perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 136, n. 1, p. 123-130, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.09.022>
- RODRÍGUEZ, A.; ORTEGA, F.; CONCEPCIÓN, R. A method for the selection of customized equipment suppliers. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 4, p. 1170-1176, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.021>
- ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht: Kluwer, 1996. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1>
- SALMINEN, P.; HOKKANEN, J.; LAHDELMA, R. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. **European Journal of Operational Research**, v. 104, n. 3, p. 485-496, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00370-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00370-0)
- SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão: abordagens Ahp e Macbeth**. 1995. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- SHAHANAGHI, K.; YAZDIAN, S. A. Vendor selection using a new fuzzy group TOPSIS approach. **Journal of Uncertain Systems**, v. 3, n. 3, p. 221-231, 2009.
- SHEN, C.; YU, K. 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, n. 8, p. 11271-11281, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.083>
- TAM, M. C. Y.; TUMMALA, V. N. R. An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. **Omega**, v. 29, n. 2, p. 71-182, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483\(00\)00039-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483(00)00039-6)
- THEIBEN, S.; SPINLER, S. Strategic analysis of manufacturer-supplier partnerships: An ANP model for collaborative CO2 reduction management. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 383-397, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.08.023>
- THRULOGACHANTAR, P.; ZAILANI, S. The influence of purchasing strategies on manufacturing performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 22, n. 5, p. 641-663, 2011. <http://dx.doi.org/10.1108/17410381111134482>
- VIMAL, J.; CHATURVEDI, V.; DUBEY, A. K. Application of TOPSIS Method for Supplier Selection in Manufacturing Industry. **International Journal of Research in Engineering & Applied Science**, v. 2, n. 5, 2012, p. 25-35.
- VINCKE, P. **Multicriteria decision aid**. New York: John Wiley & Sons, 1992.
- WANG, W. A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. **Applied Mathematical Modelling**, v. 34, n. 10, p. 3130-3141, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2010.02.002>
- WU, C.; BARNES, D. A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. **Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 17, n. 4, p. 256-274, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2011.09.002>
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965. [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 3, n. 1, p. 28-44, 1973. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>