XIX SIMPEP
SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
05 a 07 de novembro 2012
REDES GLOBAIS DE SUPRIMENTOS
Desafios e Tendências do Mundo Globalizado

INCERTEZAS EM SELEÇÃO DE FORNECEDORES: CLASSIFICAÇÃO E RECOMENDAÇÕES PARA MODELAGEM

FRANCISCO RODRIGUES LIMA JUNIOR - eng.franciscojunior@gmail.com
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

LAURO OSIRO - lauro@icte.uftm.edu.br
UFTM

LUIZ CÉSAR RIBEIRO CARPINETTI - carpinet@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

Resumo: *A SELEÇÃO DE FORNECEDORES SE CONSTITUI COMO UMA ATIVIDADE-CHAVE NA GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS E NO AUMENTO DA COMPETITIVIDADE DAS ORGANIZAÇÕES. TODAVIA, DIVERSOS ASPECTOS INERENTES AO DOMÍNIO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES CONTRIBUEM PARAA A OCORRÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS DE FENÔMENOS DE INCERTEZA QUE DIFICULTAM A TOMADA DE DECISÃO. NESTE CONTEXTO, TRATAR ADEQUADAMENTE ESSAS INCERTEZAS É ESSENCIAL PARA DESENVOLVER MODELOS DE DECISÃO ADEQUADOS. CONTUDO, NA LITERATURA SÃO ENCONTRADAS DENOMINAÇÕES BASTANTE DIFERENTES ENTRE SI PARA SE REFERIR A FENÔMENOS DE INCERTEZA DA MESMA NATUREZA. ALÉM DISSO, "INCERTEZA" NÃO POSSUI UMA DEFINIÇÃO ÚNICA E, POR ISSO, ESTA PALAVRA TEM RECEBIDO SIGNIFICADOS DIFERENTES PARA CONTEXTOS ESPECÍFICOS. DIANTE DESSA CONFUSÃO TERMINOLÓGICA, ESTE ESTUDO ANALISOU DIVERSAS FONTES BIBLIOGRÁFICAS COM A FINALIDADE DE INVESTIGAR QUAIS SÃO OS TIPOS DE INCERTEZA QUE AFETAM O PROCESSO DECISÓRIO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES E QUAIS TÉCNICAS SÃO ADEQUADAS PARA MODELÁ-LOS. OS RESULTADOS MOSTRARAM QUE ESTE TEMA DE PESQUISA É AINDA INCIPIENTE E REQUER MAIS DISCUSSÕES.*

Palavras-chaves: *MODELAGEM DE INCERTEZAS; SELEÇÃO DE FORNECEDORES; TIPOS DE INCERTEZA.*

Área: *6 - PESQUISA OPERACIONAL*
Sub-Área: *6.2 - DECISÃO MULTICRITERIAL*

UNCERTAINTY IN SUPPLIER SELECTION: CLASSIFICATION AND RECOMMENDATIONS FOR MODELING

Abstract: *SUPPLIER SELECTION IS CONSTITUTED AS A KEY ACTIVITY IN MANAGING SUPPLY CHAINS AND INCREASING THE COMPETITIVENESS OF ORGANIZATIONS. HOWEVER, SEVERAL ASPECTS INHERENT TO THE AREA OF SUPPLIER SELECTION CONTRIBUTE TO THE OCCURRENCE OF DIFFERENTT TYPES OF PHENOMENA OF UNCERTAINTY THAT HINDER DECISION MAKING. IN THIS CONTEXT, TO ADEQUATELY ADDRESS THESE UNCERTAINTIES IS ESSENTIAL TO DEVELOP MODELS APPROPRIATE DECISION. HOWEVER, IN THE LITERATURE ARE FOUND VERY DIFFERENT NAMES TO REFER TO PHENOMENA OF UNCERTAINTY OF THE SAME NATURE. MOREOVER, "UNCERTAINTY" HAS NO SINGLE DEFINITION, AND THEREFORE, THIS WORD HAS DIFFERENT MEANINGS GIVEN TO SPECIFIC CONTEXTS. GIVEN THIS TERMINOLOGICAL CONFUSION, THIS STUDY EXAMINED VARIOUS LITERATURE SOURCES IN ORDER TO INVESTIGATE WHICH TYPES OF UNCERTAINTY THAT AFFECT THE DECISION PROCESS OF SELECTING SUPPLIERS AND WHICH TECHNIQUES ARE SUITABLE TO MODEL THEM. THE RESULTS SHOWED THAT THIS RESEARCH TOPIC REQUIRES FURTHER DISCUSSION.*

Keyword: *MODELING UNCERTAINTY, SUPPLIER SELECTION, TYPES OF UNCERTAINTY.*

1. Introdução

Em ambientes organizacionais, a seleção de fornecedores é vista como a atividade mais importante da função de compras, pois conduz a situações de tomada de decisão cujos resultados influenciam nos custos de produção, afetam a qualidade dos produtos e, consequentemente, o desempenho das organizações (PIDDUCK, 2006; 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 colaboração com os fornecedores (HA; PARK; CHO, 2011; KANNAN; VAN, 2006). Desta forma, a seleção de fornecedores se configura também como uma atividade-chave na gestão de cadeias de suprimentos (NDUBISI et al., 2005).

Neste sentido, estratégias de compra devem buscar o alinhamento dos objetivos de compra com os objetivos da organização, o que exige um papel mais pró-ativo por parte da empresa compradora na seleção e avaliação contínua de fornecedores (AISSAOUI; HAOUARI; HASSINI, 2007; DE BOER; PIERANGELA; MORLACCHI, 2001; THRULOGACHANTAR; ZAILANI, 2011). Por depender de muitos fatores, a seleção de fornecedores vem sendo predominantemente abordada na literatura acadêmica como um problema de decisão no qual diversos critérios devem ser considerados na avaliação das possíveis empresas fornecedoras (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998).

Contudo, diversos aspectos inerentes à seleção de fornecedores contribuem para a ocorrência de diferentes tipos de fenômenos de incerteza, os quais dificultam as decisões por afetar a estruturação e análise do problema, a exploração de opiniões de especialistas e a identificação de tendências (FRENCH, 1995; FRIEND, 2001). Neste contexto, muitos autores apontam para a necessidade de modelar incertezas com a finalidade de desenvolver modelos mais otimizados e adequados ao ambiente de uso (CELIKYLMAZ; TÜRKSEN, 2009; FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; MILLIKEN, 1987; SAHINIDIS, 2004; SCHJAER-JACOBSEN, 2002; SMITH; STERN, 2011; ZIMMERMANN, 1991). A expressão “modelar incertezas” (*modelling uncertainty*) se refere ao esforço de identificar e escolher uma abordagem adequada para lidar com fenômenos de incerteza durante a construção de modelos de simulação (CELIKYLMAZ; TÜRKSEN, 2009).

Na literatura acadêmica, métodos de decisão multicritério, técnicas estatísticas e de inteligência artificial vem sendo exploradas no desenvolvimento de modelos para seleção de fornecedores (AISSAOUI; HAOUARI; HASSINI, 2007; HO; XU; DEY, 2010; KAHRAMAN; CEBECI; ULUKAN, 2003). Contudo, a grande maioria desses estudos utilizam denominações bastante diferentes entre si para se referir a fenômenos de incerteza da mesma natureza, sem distinguir claramente estes fenômenos dentro do domínio de problema em questão. Diante dessa confusão terminológica, a escolha de uma abordagem adequada para modelar um determinado tipo de incerteza pode ser bastante complicada.

Esse problema parece estar relacionado ao fato de o termo “incerteza” (*uncertain*) não possuir uma definição universalmente aceita na literatura acadêmica e, por isso, essa palavra tem recebido significados diferentes nas áreas de economia, metrologia, estatística e tomada de decisão (SMITH; STERN, 2011; FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; ZIMMERMANN, 1991). Mediante essa lacuna na literatura relacionada, este estudo investiga as seguintes questões: (1) quais são os tipos de fenômenos de incerteza que afetam as decisões para seleção de fornecedores e (2) quais técnicas podem ser usadas para modelar cada tipo de incerteza adequadamente. Para isso, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico que analisou estudos de diversas áreas do conhecimento.

Este artigo está organizado como segue: a Seção 2 descreve o método de pesquisa utilizado; a Seção 3 contempla o processo de seleção de fornecedores; a Seção 4 se concentra nos fenômenos de incerteza que ocorrem no domínio de seleção de fornecedores; a Seção 5 propõe técnicas para modelagem de cinco tipos de incerteza; a Seção 6 apresenta algumas considerações finais e sugere oportunidades para pesquisas futuras.

2. Método de Pesquisa

Seguindo as classificações de Miguel (2007), esta pesquisa se caracteriza como uma pesquisa bibliográfica, pois foi elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros e artigos de periódicos sobre um tema de pesquisa delimitado, a saber, modelagem de incertezas no domínio de seleção de fornecedores.

Os artigos analisados foram extraídos de periódicos internacionais indexados às principais bases de dados pertinentes às áreas de pesquisa operacional e de gestão de operações, incluindo *Science Direct* (www.sciencedirect.com), *Web of Science* (apps.webofknowledge.com), *Scopus* (www.scopus.com), *Emerald* (www.emeraldinsight.com) e *Scielo* (www.scielo.org). Durante as buscas, foram utilizadas as palavras-chave "*supplier selection*", "*vendor assessment*", "*supplier selection problem*", "*uncertain*", "*multicriteria decision making under uncertain*", "*subjectivity*", "*imprecision*", "*lack of information*", "*ambiguity*", "*risk*", "*indetermination*", entre outros termos relacionados.

Uma pré-seleção de artigos foi realizada com base na relevância da fonte em que foi publicado, sendo excluídos todos os artigos oriundos de *proceedings* de eventos científicos. Posteriormente, na seleção final, foram escolhidos estudos que contemplam principalmente o desenvolvimento de modelos de decisão para seleção de fornecedores, a aplicação de técnicas para modelagem de incerteza e discussões sobre incerteza e/ou conceitos relacionados.

Desta forma, diante dos objetivos desta pesquisa, o método de pesquisa utilizado se mostra adequado por ser capaz de cobrir uma gama de fenômenos mais ampla do que aquela que poderia ser pesquisada diretamente (GIL, 1996; MIGUEL, 2007).

3. O Processo de Seleção de Fornecedores

Muitos fatores vem contribuindo para aumentar a complexidade das decisões para seleção de fornecedores: as variações quantitativas e qualitativas no comportamento da demanda, que acarretam em mudanças constantes nas necessidades de aquisição da empresa compradora; o uso da Internet, que amplia as possibilidades de fornecimento, mas dificulta a seleção de fornecedores devido ao grande número de alternativas a serem avaliadas; a necessidade de considerar cada vez mais critérios de decisão (BHUTTA; HUQ, 2002; DE BOER, L; PIERANGELA; MORLACCHI, 2001; DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998).

Além de considerar os requisitos operacionais da compradora, os critérios de decisão para seleção de fornecedores podem considerar fatores estratégicos. Por exemplo, por meio da consideração de critérios específicos, muitas organizações vem buscando o estabelecimento de relações colaborativas e de longo prazo com seus fornecedores, alcançando assim diversas vantagens competitivas (HA; PARK; CHO, 2011; KANNAN; VAN, 2006). Além disso, diante das atuais preocupações com a sustentabilidade ambiental, critérios de decisão

"verdes" também passaram a ser considerados durante a seleção de fornecedores, que neste panorama passa a ser uma atividade de extrema importância (JABBOUR; JABBOUR, 2009).

Mediante a necessidade de considerar tantos fatores, as decisões de compras não devem ser tomadas isoladamente, sendo mais apropriado estruturá-las em uma sequência de etapas inter-relacionadas de modo a incorporar as necessidades da organização em diferentes âmbitos (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998; WEELE, 1994). Neste sentido, de acordo com o *framework* proposto por De Boer, Labro e Morlacchi (2001), o processo de seleção de fornecedores pode ser definido em um conjunto de 4 etapas inter-relacionadas que visam identificar um conjunto de possíveis fornecedores e reduzí-lo até a escolha final, como mostra a Figura 1 (WU; BARNES, 2011; AISSAOUI; HAOUARI; HASSINI, 2007; DE BOER; LABRO E MORLACCHI, 2001).

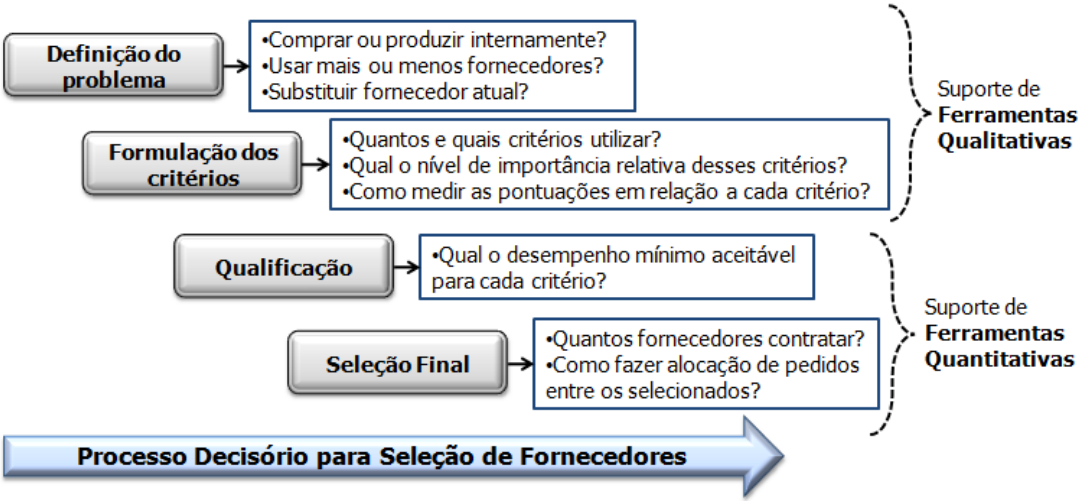

FIGURA 1 - Processo de seleção de fornecedores. Adaptado de De Boer, Labro e Morlacchi (2001)

Conforme ilustra a Figura 1, há decisões que são inerentes a cada uma das etapas do processo de seleção de fornecedores, sendo estas:

i) Definição do problema: O processo decisório se inicia com um questionamento sobre o que exatamente se pretende alcançar por meio da seleção de fornecedores. De um lado, existem empresas que frequentemente buscam novos fornecedores para atualizar seu *mix* de produtos quanto à variedade e tipologia. Em outra via, há empresas situadas em ambientes que envolvem relacionamentos próximos com fornecedores, desenvolvendo parcerias e contratos de longo prazo. Desta forma, o agente decisório (*decision maker* – DM) se depara com diferentes situações que devem conduzir a diferentes decisões. Para fazer a escolha certa, é necessário definir claramente quais os objetivos do processo de seleção.

ii) Formulação dos critérios: Nesta etapa a organização compradora deve focar esforços no estabelecimento de critérios de decisão que exprimam claramente os seus requisitos operacionais e estratégicos. Pode não ser fácil converter suas necessidades em critérios utilizáveis, já que estas geralmente são expressas como conceitos subjetivos e requerem uma avaliação qualitativa.

iii) Qualificação (ou pré-seleção): A qualificação consiste em reduzir o conjunto de todos fornecedores para um conjunto que possa ser avaliado mais detalhadamente durante a escolha final. A qualificação pode ser conduzida em um ou vários passos. Para cada um desses, critérios de eliminação devem ser determinados.

iv) Escolha Final: Na última etapa, pode-se considerar a seleção de um ou mais fornecedores. Se mais de um fornecedor for selecionado, esta etapa também envolverá decisões relacionadas

à alocação de pedidos entre os selecionados, considerando a possibilidade de alocar um fornecedor para um produto ou para um grupo de itens de uma única vez.

Conforme mostrado na Figura 1, as etapas de definição do problema e de formulação dos critérios requererem o suporte de ferramentas qualitativas, enquanto a qualificação e a seleção final requerem a adoção de ferramentas quantitativas. Diante das peculiaridades da seleção de fornecedores, a maioria dos modelos encontrados na literatura para lidar com este problema utilizam técnicas quantitativas que são teoricamente capazes de modelar incertezas.

Amindoust *et al*. (2012) propuseram um modelo que utiliza um sistema de inferência *fuzzy* para lidar com imprecisão ("*vagueness"*) nas decisões para seleção de fornecedores; Ordoobadi (2008) usou regras de inferência *fuzzy* para captar a subjetividade ("*subjectivity*") dos DMs; Altinoz e Winchester (2001) também essa técnica para captar os processos de pensamento ("*to capture the thinkin process"*) dos DMs. Apesar da diversidade dos termos utilizados para se referir ao tipo de incerteza modelado, esses modelos estão voltados para a modelagem de fenômenos de incerteza que, na prática, são do mesmo tipo. Diante dessa atual vagueza do conceito de incerteza neste domínio de problema, a Seção 4 propõe uma classificação para os diferentes tipos de incerteza que afetam as decisões para seleção de fornecedores.

4. Incertezas no Domínio de Seleção de Fornecedores

Segundo Zimmermann (1991), não existe um consenso se incerteza (*uncertain*) é um fenômeno, uma característica de sistemas que modelam o mundo real, um estado da mente ou um rótulo para uma situação na qual indivíduos desejam realizar julgamentos sobre um fenômeno. Além disso, por meio da literatura relacionada, é difícil inferir se incerteza é um fato objetivo ou uma impressão subjetiva relacionada a cada indivíduo. Neste cenário, o termo "incerteza" não possui um conceito único e, por isso, esta palavra tem recebido diferentes significados para contextos específicos. Para o domínio de seleção de fornecedores, a definição de Zimmermann (1991) parece ser a mais apropriada. Zimmermann (1991) explica que incerteza é um fenômeno que implica em uma situação na qual um indivíduo não dispõe de informação quantitativamente e qualitativamente apropriada para descrever ou predizer deterministicamente e numericamente um sistema, seu comportamento ou outras características.

Segundo Friend (2001), a modelagem de incertezas requer ao menos a distinção entre os fenômenos de incerteza externos e internos. Segundo esse autor, fenômenos de incerteza externos atuam sobre o ambiente e/ou sobre as decisões de áreas que são afetadas pela decisão em curso. Já os fenômenos de incerteza internos (ou epistêmicos) atuam sobre a estruturação e análise do problema, a exploração de opiniões de especialistas e a interpretação de resultados.

A identificação da causa de fenômenos de incerteza é bastante relevante para modelagem de incertezas. Contudo, este tema é pouco discutido na literatura acadêmica relacionada. Dentre os estudos analisados, somente Zimmermann (1991) discute algumas causas de fenômenos de incerteza, identificando seis destas: ausência de informações, excesso de informações, informações conflitantes, ambiguidade, medição e crença.

Em problemas de decisão, a **ausência de informação** é uma das causas de incerteza mais frequentes. Zimmermann (1991) afirma que a transição de uma situação de incerteza para uma situação de certeza pode ser alcançada por meio da coleta de mais informações ou

informações mais precisas. Porém, dependendo do cenário onde a seleção de fornecedores acontece, nem sempre isso é possível na prática.

O **excesso de informação** se deve à inabilidade humana de perceber e processar simultaneamente grande quantidade de dados. Para contornar essa causa de incerteza, deve-se transformar os dados disponíveis em informações apropriadas, focando nos argumentos que parecem ser mais importantes e negligenciando as demais informações. A evidência de **informações conflitantes** ocorre quando uma informação aponta para um comportamento do sistema enquanto outra informação aponta para outro comportamento. Aumentar a quantidade de informação pode reduzir e também pode aumentar a incerteza do cenário. O conflito de informações pode existir devido à existência de informações incorretas ou à consideração de informações que não são relevantes. Neste caso, omitir algumas informações pode reduzir o conflito e conduzir a uma situação de certeza (ZIMMERMANN, 1991).

Já a **ambigüidade** ocorre quando uma informação linguística possui mais de um significado, o que é bastante provável de acontecer, já que muitas palavras possuem diferentes significados de acordo com o contexto. Caso não seja possível obter mais informações a respeito do objeto, raramente é possível reverter esse cenário para uma situação de decisão sob certeza, devido à dificuldade de encontrar qual é a interpretação semântica mais apropriada para cada objeto (ZIMMERMANN, 1991).

A **medição** é uma causa de incerteza que decorre da tecnologia usada para medição de propriedades de sistemas físicos. A qualidade das tecnologias utilizadas para medição tem aumentando com o tempo, de modo a fornecer medições com exatidão. Contudo, muitas "propriedades exatas imaginadas" ainda não podem ser medidas perfeitamente. Desta forma, somente as medidas indicadas de um objeto são conhecidas, o que acarreta no surgimento de informações incertezas devido à ausência de um instrumento adequado para medição (ZIMMERMANN, 1991).

As cinco causas de incerteza identificadas anteriormente consideram a informação como algo objetivo, sem considerar que a percepção de cada indivíduo influencia na exatidão dos dados fornecidos por ele. A **crença**, última causa de incerteza apresentada, difere-se das demais por considerar a subjetividade inerente a cada indivíduo. Como todos os indivíduos são diferentes entre si, os processos mentais de cada indivíduo são únicos. Neste sentido, como são esses processos mentais que permitem a um indivíduo realizar julgamentos ou estimativas sobre um determinado objeto, as informações fornecidas por ele sempre irão incorporar elementos que distorcem a realidade (ZIMMERMANN, 1991).

As causas de incerteza identificadas se referem a situações e eventos recorrentes em ambientes organizacionais, o que contribui para que diversos tipos de incerteza afetem concomitante o processo de tomada de decisão (SMITH; STERN, 2011; WANG; SHU, 1995). Na literatura acadêmica, também não há consenso sobre quantos e quais tipos de incerteza podem afetar a tomada de decisão. De Boer, Wegen e Telgen (1998) identificaram a existência de 3 tipos diferentes de incerteza: *sthocastic uncertain*, *imprecision* e *indetermination*); Smith e Stern (2011) identificaram a existência de 4 tipos: *ambiguity*, *intractability*, *imprecision* e *indeterminacy*; Regan et al. (2002) propuseram uma taxonomia com 11 tipos de incerteza: *measurement error*, *systematic error*, *natural variation*, *inherent randomness*, *model uncertainty*, *subjective judgment*, *vagueness*, *context dependence*, *ambiguity*, *indeterminacy of theoretical terms* e *underspecificity*. Diante dessa variedade e da falta de consenso a respeito de suas definições, esta pesquisa se restringe a contemplar os tipos de incerteza que ocorrem nas decisões relacionadas à seleção de fornecedores.

As definições apresentadas a seguir foram elaboradas a partir da análise da literatura relacionada à incerteza sob a ótica do domínio de seleção de fornecedores. Diante da falta de uma taxonomia que seja amplamente aceita, os termos denominativos utilizados foram selecionados a partir da revisão bibliográfica realizada, segundo a adequação destes ao presente domínio de problema. Portanto, cinco tipos de incerteza foram identificados:

i) Incertezas estocásticas (*sthocastic uncertain*): Este tipo de incerteza ocorre quando os valores dos parâmetros de entrada do modelo de decisão são passíveis de aleatoriedade, mas existem informações que possibilitam construir uma distribuição de probabilidade para os valores das variáveis do problema (SMITH; STERN, 2011; FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; ROY, 1989). Incertezas estocásticas também são referenciadas pelo termo risco ("*risk"*) (SMITH; STERN, 2011) e pelo termo imprecisão ("*imprecision"*) (WEBER; JOHNSON, 2009). Em seleção de fornecedores, este fenômeno ocorre quando eventos aleatórios causam impactos no sistema de manufatura e/ou de distribuição do fornecedor. Contudo, o uso de dados históricos dos fornecedores possibilita construir distribuições de probabilidade para variáveis dependentes, o que permite estimar valores para critérios como *leadtime*, confiabilidade de entrega e conformidade dos produtos (WANG; SHU, 1995).

ii) Incerteza nebulosa *(grey uncertain*): Ocorre quando os valores dos parâmetros de entrada do modelo são passíveis de aleatoriedade, porém, diferentemente dos cenários de incerteza estocástica, as informações disponíveis não possibilitam construir uma distribuição de probabilidade para as variáveis (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; MOORE, 1979; PETROVIC, 2001). Em seleção de fornecedores, este fenômeno ocorre quando as evidências que permitem avaliar um fornecedor não estão disponíveis ao DM, não existem ou são pouco confiáveis (PETROVIC, 2001). Nestes casos, os valores das variáveis podem ser expressos por **intervalos numéricos nebulosos**, que consistem em intervalos fechados cujos limites mais alto e mais baixo são conhecidos, mas a distribuição dos dados no intervalo é desconhecida (SCHJAER-JACOBSEN, 2002; TONG, 1994). Mesmo nos casos em que há histórico de desempenho dos fornecedores, este tipo de incerteza pode ocorrer devido à inabilidade do DM de predizer os impactos causados por eventos aleatórios, tais como quebra de máquinas do fornecedor, problemas de transporte, variações no volume, no preço e no *mix* de pedidos (MILLIKEN, 1987). Diante da impossibilidade de estimar valores suficientemente precisos, somente é possível captar estimativas do tipo "entre 60 e 80".

iii) Imprecisão (*vagueness*): Consiste na **ausência de acurária nos valores** das variáveis devido à dificuldade do DM de fornecer valores de julgamentos de forma completamente consistente, mesmo não existindo a possibilidade de flutuação aleatória destes valores (KAHRAMAN, 2008; DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998). Uma causa frequente de imprecisão advém da inadequação do mecanismo de coleta de preferências e do formato utilizado para representar as informações, como, por exemplo, utilizar escalas absolutas de números *crisp* para representar os julgamentos dos DMs quanto ao peso relativo dos critérios ou ao desempenho dos fornecedores em critérios qualitativos (DE BOER; PIERANGELA; MORLACCHI, 2001). Neste contexto, as estimativas obtidas devem ser representadas como valores aproximados, tais como "em torno de 2" ou "aproximadamente 90".

iv) Indeterminação (*indetermination*): Ocorre quando um DM não sabe exatamente o que deve medir durante a avaliação do fornecedor em relação a um dado critério, o que faz com que a propriedade a ser medida seja resultado de uma **escolha arbitrária** (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998; ROY, 1989). Este fenômeno também é denominado ambiguidade ("*ambiguity*") e de subjetividade ("*subjectivity"*) (SMITH; STERN, 2011), por se referir a uma propriedade de caráter subjetivo de um objeto cuja interpretação varia de acordo com o observador (por exemplo, o próprio nome do objeto). Como os nomes de certos critérios não

são unívocos (por exemplo, "capacidade de P&D"), considerando as diversas métricas que podem ser usadas para avaliar um fornecedor, a escolha de um ou mais atributos será feita de acordo com a interpretação do DM.

v) Subjetividade (*subjectivity*): Decorre da **impressão individual** (crença) que um DM possui a respeito dos elementos do problema e que é transmitida ao modelo de decisão por meio dos julgamentos deste indivíduo. A subjetividade é decorrente dos eventos mentais e cognitivos cujos resultados são voltados para o próprio indivíduo (por exemplo, ver, imaginar e refletir), permitindo-o realizar julgamentos e fornecer estimativas (SMITH; STERN, 2011; COSTA; FONSECA, 2008). As preferências dos DMs são influenciadas principalmente pela experiência prévia do indivíduo, por sua intuição (*feeling*) e por sua área funcional na organização. Em algumas situações, as memórias recentes prejudicam a avaliação do fornecedor por ofuscarem outros eventos associados ao seu histórico, os quais possivelmente causariam um impacto diferente nas estimativas. Por outro lado, a subjetividade é benéfica enquanto mecanismo que incorpora a experiência dos DM ao modelo de decisão. Diante de sua causa, nota-se que a influência da subjetividade em processos decisórios é irrefutável (ZIMMERMANN, 1991).

Diante de tantos fenômenos de incerteza, é possível notar que a ausência de uma abordagem adequada para modelar incertezas em seleção de fornecedores impede que sejam tomadas decisões eficientes, o que afeta negativamente a composição da base de fornecedores (HO; XU; DEY, 2010; DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998). A Seção 5, a seguir, discute o uso de algumas técnicas para modelagem dos cinco tipos de incerteza identificados.

5. Algumas Técnicas e Recomendações para Modelagem de Incertezas

Muitas abordagens podem ser utilizadas para modelagem de incertezas (ZIMMERMANN, 1991), as quais geralmente se baseiam em teorias de probabilidade, na teoria das evidências, teoria de possibilidade, teoria dos conjuntos *fuzzy*, *intuitionistic set theory*, teoria dos conjuntos aproximados ou teoria dos sistemas *grey*. Diante de tal variedade e das limitações de espaço deste artigo, as discussões apresentadas nesta seção contemplam técnicas que foram selecionadas considerando o tipo de incerteza a ser modelado, a(s) causa(s) de incerteza, a quantidade de informações disponíveis e os requisitos do observador.

A modelagem de **incertezas estocásticas** vem sendo discutida na literatura há muito tempo (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; SAHINIDIS, 2004). Contudo, as técnicas atualmente exploradas para lidar com a seleção de fornecedores são bastante limitadas, já que é possível a manipulação de somente um critério por vez (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998). Além disso, a modelagem de um único parâmetro pode ser complexa por envolver muitos fatores. Por exemplo, estimar valores para o *lead time* de um fornecedor, inclui estimar o tempo de processamento do pedido, o tempo de produção e de transporte.

Diante destas limitações, a modelagem de incertezas estocásticas no domínio de seleção de fornecedores tem recebido pouca atenção. Uma evidência disso é um estudo feito por De Boer, Pierangela e Morlacchi (2001), que analisou dezenas de modelos para seleção de fornecedores e identificou somente um que contempla a modelagem deste tipo de incerteza. Neste modelo, proposto por Ronen e Trietsch (1988), considera-se a existência de um *trade-off* entre os critérios custo de aquisição e *lead time*. Para cada fornecedor avaliado, constrói-se uma distribuição de probabilidade para os valores do *lead time* a partir do histórico de compras. Em seguida, determina-se quando e para qual fornecedor cada pedido será alocado de modo a minimizar as probabilidades de atraso no recebimento de matérias-primas,

reduzindo assim os custos decorrentes dos diversos outros atrasos provocados nas entregas para os clientes. Contudo, caso os dados utilizados na modelagem não sejam confiáveis ou estejam indisponíveis, o modelo estocástico pode não fornecer a melhor escolha.

Nos casos em que não é possível gerar estimativas de probabilidade, é necessário adotar técnicas para **modelagem de incertezas nebulosas**. Para isso, cada DM deve estimar o menor e o maior valor possível para o desempenho dos fornecedores em relação a cada critério, com base em sua experiência, intuição e demais evidências avaliáveis que estiverem ao alcance. Para processar os *inputs* do modelo, a técnica *interval programming* (MOORE, 1979) pode ser usada por permitir modelar a inexatidão dos parâmetros do modelo, considerando-os como intervalos numéricos.

Dependendo da complexidade do modelo, os procedimentos de solução utilizando *interval programming* podem consumir bastante tempo (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; TONG, 1994)**.** Nestas situações, pode-se utilizar técnicas baseadas na teoria de sistemas *grey* (*grey system theory*) (DENG, 1982), como a análise relacional *grey*. Apesar de requerer poucas informações de entrada, esta técnica requer que ao menos uma evidência a respeito do desempenho do fornecedor não seja considerada incerta. Por meio da análise relacional *grey*, o DM deve quantificar a similaridade e a variabilidade entre todos os julgamentos com a finalidade de selecionar as observações que melhor se aproximam da evidência, as quais servirão posteriormente como valores de entrada do modelo. Embora a baixa disponibilidade de informações impeça que modelos para este cenário forneçam resultados suficientemente otimizados, acredita-se que essas técnicas forneçam resultados melhores que decisões puramente baseadas em intuição.

Para **modelagem de imprecisão** nos pesos relativos dos critérios e nas pontuações dos fornecedores, podem ser adotados métodos multicritério como AHP, ANP e técnicas baseadas na teoria dos conjuntos *fuzzy* (*fuzzy set thoery* – FST). O AHP é um método de decisão compensatório que representa problemas de decisão em uma estrutura hierárquica. Os valores dos parâmetros de entrada do modelo são obtidos a partir da comparação par a par entre os elementos de um mesmo nível hierárquico. Esses julgamentos comparativos são obtidos a partir da opinião de especialistas no domínio de problema em questão (BHUTTA; HUQ, 2002; KAHRAMAN; CEBECI; ULUKAN, 2003; SAATY, 1980).

O ANP (SAATY, 1999) funciona de forma análoga ao AHP. Porém, por meio do uso da estruturação do problema em rede, o ANP permite determinar as relações de dependência entre os critérios de decisão. Além disso, o ANP também possibilita ponderar os critérios de decisão com valores diferentes para cada fornecedor avaliado. Em ambos os métodos, DMs podem utilizar a escala de medidas de Saaty (1980) para representar suas preferências. Conforme mostrado na Figura 2a, essa escala utiliza nove níveis de gradação, definidos a partir dos significados linguísticos atribuídos aos valores fornecidos, que exprimem o quão mais importante e/ou favorável é um elemento quando comparado com os demais.

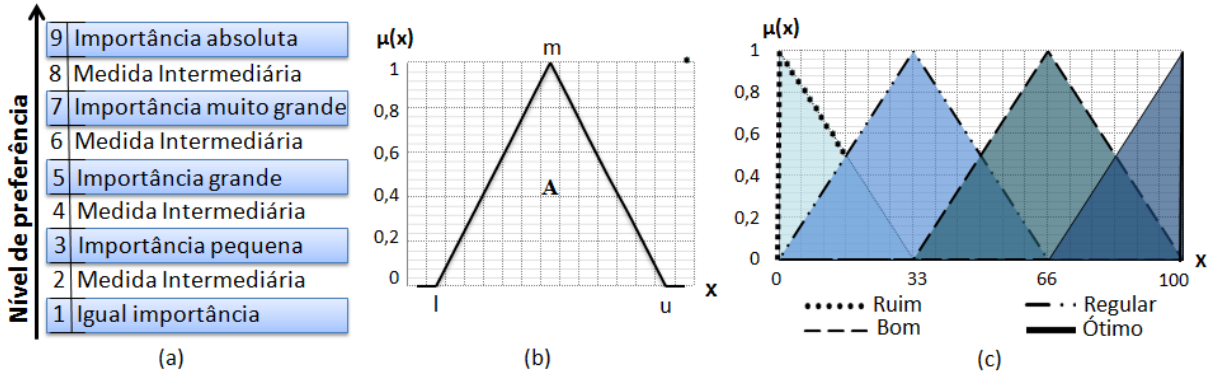

FIGURA 2 - Algumas abordagens para modelagem de imprecisão

Como mostra a Figura 2a, a maneira como são representadas as preferências dos DMs possibilita obter avaliações de forma aproximada. Portanto, o AHP e o ANP se mostram adequados para lidar com imprecisão principalmente por utilizarem da capacidade dos DMs de fornecer estimativas com base em poucas informações e por não requererem um histórico completo do desempenho dos fornecedores.

Já a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (FST) (ZADEH, 1965) se mostra adequada à modelagem de imprecisão devido à lógica que define o grau de inclusão (ou de pertencimento) dos elementos. Conforme mostra a Figura 2b, em um conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$, definido em um universo de discurso X, cada elemento é representado por um número *crisp* x e por um grau de inclusão $\mu_A(x)$, definido no intervalo [0,1]. Caso $\mu_A(x)$ seja maior que 0 e menor que 1, x existirá parcialmente em $\tilde{A}$ com grau de pertinência igual ao valor de $\mu_A(x)$, o que não é possível por meio da lógica clássica.

Em modelos para seleção de fornecedores, números *fuzzy* triangulares e trapezoidais são bastante utilizados devido à sua simplicidade de manipulação e por requerer baixo processamento computacional (KAHRAMAN; CEBECI; ULUKAN, 2003; PETROVIC, 2001). Um número *fuzzy* é representado por um conjunto *fuzzy* e sua forma morfologia é definida por meio do comportamento de $\mu_A(x)$. Conforme ilustrado na Figura 2b, números *fuzzy* podem ser usados para quantificar a imprecisão associada a julgamentos aproximados do tipo "em torno de 4" (onde m=4), sendo que o DM também deve atribuir valores *crisp* aos pontos mais baixo (l) e mais alto (u) da função de pertinência triangular. Devido às peculiaridades da FST, operações algébricas baseadas em matemática intervalar devem ser utilizadas para sintetizar as preferências obtidas.

Freska (1982) *apud* Zimmermann (1991) apresenta resultados empíricos de que representações lingüísticas de observações cognitivas garantem interpretações mais confiáveis e informativas do que fazer representações em formas aritméticas. Neste sentido, um conjunto de números *fuzzy* pode ser usado para representar valores linguísticos atribuídos a uma determinada variável do modelo, conforme ilustra a Figura 2c. Variáveis linguísticas *fuzzy* podem ser combinadas com técnicas como AHP, ANP, TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), QFD (*Quality Deployment Function*) e técnicas de programação matemática (programação linear, multiobjetivo, entre outras).

Durante o lançamento de novos produtos, quando a disponibilidade de informações é ainda menor, uma abordagem mais estruturada para lidar com a imprecisão é o uso de sistemas de inferência *fuzzy* baseados na arquitetura de Mamdani. Nestes sistemas, variáveis linguísticas podem ser utilizadas para construir uma base de regras que atuam como mecanismo de inferência do modelo. Como mostra a Figura 3, em uma regra de inferência do tipo *If-Then*, as variáveis de entrada e saída estão associadas por meio de relacionamentos lógicos que determinam hipóteses sobre o comportamento do modelo.

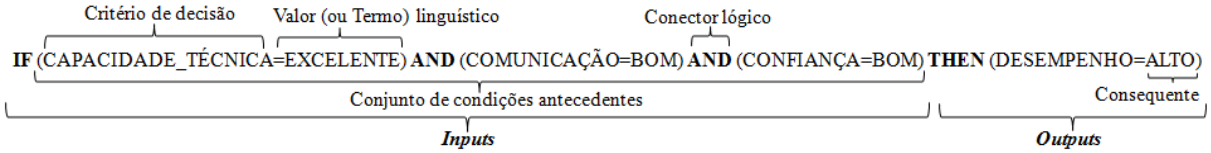

FIGURA 3 - Regra de inferência do tipo *If-Then*

Para construir a base de regras, o DM deve utilizar um conjunto de termos linguísticos predefinidos para determinar o consequente de cada regra (por exemplo, "ruim, regular, bom e ótimo"). Uma limitação desses sistemas é a quantidade de critérios adotados, já que a quantidade de regras do sistema aumenta exponencialmente a cada critério de decisão

incrementado ao modelo. Portanto, apesar de requerer uma interação bem maior dos DMs, esta abordagem é ideal para situações em que o DM possui somente conhecimento heurístico sobre alguns aspectos do domínio, mas é capaz de estimar que um determinado conjunto de fatos provavelmente conduz a um certo cenário.

Quanto à modelagem de **indeterminação**, este fenômeno não pode ser tratado, mas pode ser evitado a partir do uso de uma ontologia que contemple o conjunto de métricas a ser utilizado na avaliação dos fornecedores. Uma ontologia consiste em uma forma de representação do conhecimento que facilita a compreensão de conceitos e o entendimento sobre os relacionamentos existentes entre os elementos de um domínio (GOMEZ-PEREZ; FERNANDEZ-LOPEZ; CORCHO, 2004). O conteúdo de uma ontologia depende da quantidade de critérios adotados e do grau de formalidade que é usado para descrevê-los. Em seleção de fornecedores, um tipo mais simples de ontologia pode ser utilizado (*lightweight ontology)* (GOMEZ-PEREZ; FERNANDEZ-LOPEZ; CORCHO, 2004), o qual é capaz de representar desde uma simples enumeração de termos até um grafo ou taxonomia. Desta forma, o uso de ontologias na modelagem de indeterminação se mostra adequado por ser capaz de estabelecer um vocabulário comum para os DMs.

Finalmente, a **modelagem de subjetividade**, diante de sua influência irrefutável nos valores de julgamentos obtidos, não é possível preveni-la ou tratá-la completamente. Todavia, uma alternativa viável é utilizar o método iterativo *Delphi* para obter estimativas em grupo (ROWE; WRIGHT, 1999), que tendem a ser mais representativas da realidade que estimativas derivadas de indivíduos isolados.

O método *Delphi* pode ser usado para conduzir reuniões presenciais de forma sistematizada durante a etapa de formulação de critérios e na avaliação dos fornecedores. Para isso, deve-se estabelecer um grupo de DM e designar um facilitador para conduzir a coleta de julgamentos de forma cíclica. Ao final de cada ciclo, o facilitador deve agrupar os valores das estimativas, omitir a identidade do avaliador e relatar as evidências em que o mesmo se baseou durante a avaliação. Posteriormente, cada um dos DMs deve rever suas estimativas com base nos julgamentos dos demais avaliadores. O processo se encerra quando um número de ciclos predefinido é alcançado ou quando as estimativas passam a representar uma percepção dos fornecedores e/ou dos pesos dos critérios que seja comum ao grupo. Desta forma, apesar de requerer bastante interação com os DMs, o método *Delphi* possibilita obter julgamentos menos destoantes da realidade e minimizar a imprecisão nos parâmetros de entrada do modelo.

6. Considerações Finais

Por meio da análise de diversos estudos da literatura acadêmica relacionada, esta pesquisa identificou cinco tipos distintos de fenômenos de incerteza e discutiu como cada um destes se manifesta no domínio de seleção de fornecedores. Além disso, considerando o domínio de seleção de fornecedores, este estudo apresentou recomendações para modelagem de incertezas estocásticas, incertezas nebulosas, imprecisão, indeterminação e subjetividade utilizando diversas técnicas.

Os resultados desta pesquisa mostraram que não há consenso sobre as denominações utilizadas para se referir a alguns dos tipos de incerteza discutidos. Considerando os conceitos adotados por este estudo, em alguns casos, há uma confusão terminológica entre a causa e o fenômeno em si, em outros, tipos de incerteza diferentes são referenciados pelo mesmo termo.

Neste panorama, este estudo se constitui como um ponto de partida para discussões sobre modelagem de incertezas em sistemas produtivos, pois a incipiência dos conceitos fundamentais ao tema evidencia a necessidade de realizar mais pesquisas. Outra sugestão é a realização de estudos empíricos que proponham métodos de coleta dos dados visando modelar determinados tipos de incerteza, bem como a avaliação do desempenho destes e dos métodos já existentes na prevenção e no tratamento de impactos de fenômenos de incerteza.

Acredita-se que a diversidade de áreas de conhecimento e a abrangência temporal dos estudos analisados contribuam para estabelecer uma interface entre as áreas de gestão de operações e pesquisa operacional. Neste sentido, espera-se que as informações apresentadas contribuam para a construção de uma linguagem comum entre pesquisadores do tema, bem como para obtenção de modelos mais representativos dos sistemas produtivos reais.

Referências

AISSAOUI, N.; HAOUARI, M.; HASSINI, E. Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers & Operations Research*, v.34, p.3516-3540, 2007.

ALTINOZ, C.; WINCHESTER JR., S. C. A Fuzzy Approach to Supplier Selection. *Journal of the Textile Institute*, v.92, n.2, p.155-167, 2001.

AMINDOUST, A., AHMED, S., SAGHAFINIA, A., BAHREININEJAD, A. Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing Journal* v.12, n.6, p.1668-1677, 2012.

ANTONSSON, E. K.; OTTO, K. N. Imprecision in Engineering Design. *Journal of Mechanical Design*, v.117, p.25–32, 1995.

BHUTTA, K. S.; HUQ, F. Supplier selection problem: a comparison of the Total Cost Ownership and AHP approaches. *Supply Chain Management*, v.7, p.126-135, 2002.

CELIKYLMAZ, A.; TÜRKSEN, I. B. *Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic with recent theory and applications.* 1. ed. India: Springer, 2009.

CHOU, S. Y. SHEN, C. Y.; CHANG, Y. H. Vendor Selection in a modified re-buy situation using a strategy-aligned fuzzy approach. *International Journal of Production Research*, v.45, p.3113-3133, 2007.

COSTA, L. A.; FONSECA, T. M. G. Da diversidade: uma definição do conceito de subjetividade. *Interamerican Journal of Psycology*, v.42, p.513-519, 2008.

DE BOER, L.; PIERANGELA, E.; MORLACCHI, P. A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v.7, p.75-89, 2001.

DE BOER, L.; WEGEN, L.V.D.; TELGEN, J. Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v.4, p.109-118, 1998.

DENG, J. L. Control Problems of Grey Systems. *Systems and Control Letters*, v.5, p.288-294, 1982.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Org.) *Criteria Decision Analysis*. USA: Springer Science, 2005.

FRENCH, S. Uncertainty and Imprecision: Modelling Analysis. *Journal of the Operational Research Society*, v.46, p.70-79, 1995.

FRIEND, J. The strategic choice approach**.** In: ROSENHEAD, J.; MINGERS (ed.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. p.115-149.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 3. ed. São Paulo: Atlas, *1996.*

GOMEZ-PEREZ, A.; FERNANDEZ-LOPEZ, M.; CORCHO, O. *Ontological Engineering*. Berlin: Springer-Verlag, 2004.

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, p.56-77, 2011.

HO, W.; XU, X.; DEY, P. K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v.202, p.16-24, 2010.

JABBOUR, S.; JABBOUR, C. Are supplier selection criteria going green? Case studies of companies in Brazil. *Industrial Management & Data Systems*, v.109, p.477-95, 2009.

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 AHP. *Logistics Information Management*, v.16, p.382-394, 2003.

KANNAN, V.R.; VAN, K.C. Buyer-supplier relationships: The impact of supplier selection and buyer-supplier engagement on relationship and firm performance. *Int. Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, v.36, p.755-775, 2006.

MIGUEL, P.A.C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Revista Produção*, v.17, n.1, p.216-229, 2007.

MILLIKEN, J. Three Types of Perceived Uncertainty About the Environment. *Academy of Management Review*, v.12, n.1, p.133-143, 1987.

MOORE, R. *Methods and applications of interval analysis*. Philadelphia: Studies in Applied Mathematics, 1979.

NDUBISI, N.O., JANTAN, M., HING, L.C., AYUB, M.S. Supplier Selection and Management Strategies and Manufacturing Flexibility. *The Journal of Enterprise Information Management*, v.18, n.3, p.330-349, 2005

ORDOOBADI, S. M. Development of a supplier selection model using fuzzy logic. *Supply Chain Management: An International Journal*, v.14, p.314–327, 2008.

PETROVIC, D. Simulation of Supply Chain Behavior and Performance in an Uncertain Environment. *International Journal of Production Economics*, v.71, p.429-438, 2001.

PIDDUCK, A. B. Issues in supplier partner selection. *Journal of Enterprise Information Management*, v.19, p.262-276, 2006.

REGAN , H. M. et al. A taxonomy and treatment of uncertainty for ecology and conservation biology. *Ecological Applications* v.12, n. 2, pp. 618–628, 2002.

RONEN, B.; TRIETSCH, D. A decision support system for purchasing management of large projects. *Operations Research*, v.36, n.6, 1988.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, v.15, n.4, p.353-75, 1999.

ROY, B. Main Sources of Inaccurate Determination, Uncertainty and Imprecision in Decision Models. *Mathematical and Computer Modelling*, v.12, p.1245-1254, 1989.

SAATY, T. L. Fundamentals of the Analytic Network Process. *Kobe*, Japan. v.12, 1999.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. 1. ed. New York : McGraw Hill, 1980.

SAHINIDIS, N. V. Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities. *Computers and Chemical Engineering*, v.28, p.971-983, 2004.

SCHJAER-JACOBSEN, H. Representation and calculation of economic uncertainties: Intervals, fuzzy numbers, and probabilities. *International Journal of Production Economics*, v.78, p.91-98, 2002.

SMITH, L. A.; STERN, N. Uncertainty in science and its role in climate policy. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v.369, n.1956, 2011.

THRULOGACHANTAR, P.; ZAILANI, S. The influence of purchasing strategies on manufacturing performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.22, p.641-663, 2011.

TONG, S. Interval number and fuzzy number linear programming. *Fuzzy Sets*, v.66, p.301-306, 1994.

WANG, J.; SHU, Y.F. Fuzzy decision modeling for supply chain management. *Fuzzy Sets and Systems*, v.150, p.107–127, 1995.

WEBER, E. U; JOHNSON, E. J. Decisions Under Uncertainty: Psychological, Economic, and Neuroeconomic Explanations of Risk Preference. In: GLIMCHER, P. W. et al (ed). *Neuroeconomic*, p.127-144, 2009.

WEELE, A. J. *Purchasing Management.* London: Chapman & Hall, 1994.

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, p.256-274, 2011.

ZADEH, L. A. *Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision processes*. *Fuzzy Sets and Systems*, v.90, n.2, p.11-127, 1973.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v.8, p.338-353, 1965.

ZIMMERMANN, H. J. *Fuzzy set theory and its applications*. 2. ed. Boston: Kluwer Academic, 1991.

ZOUGGARI, A.; BENYOUCEF, L. Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v.25, n.3, p.507-519, 2012