



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

Uma Metodologia Baseada em Inferência Fuzzy para apoiar a Avaliação de Desempenho de Fornecedores

GIOVANI MANTOVANI ROZA CARVALHO

Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé
gmantovani@outlook.com

FRANCISCO RODRIGUES LIMA JUNIOR

Universidade de São Paulo (USP)
eng.franciscojunior@gmail.com

Uma Metodologia Baseada em Inferência *Fuzzy* para apoiar a Avaliação de Desempenho de Fornecedores

Resumo

Na literatura acadêmica, tanto a seleção quanto a avaliação para o desenvolvimento de fornecedores vêm sendo abordadas como um problema de tomada de decisão no qual um conjunto de fornecedores é avaliado com base em múltiplos critérios de desempenho. Embora já existam centenas de metodologias quantitativas voltadas para o apoio à etapa de seleção de fornecedores, a avaliação de desempenho objetivando o desenvolvimento de fornecedores ainda é pouco explorada na literatura. Este estudo propõe uma metodologia de apoio à avaliação de desempenho de fornecedores que combina sistemas de inferência *fuzzy* com indicadores de desempenho do modelo SCOR[®] (*Supply Chain Operations Reference*). A abordagem proposta permite avaliar aspectos relacionados ao desempenho das operações e aos custos do fornecedor. Os resultados dessa avaliação são usados para categorizar os fornecedores e indicar diretrizes adequadas para o gerenciamento de cada grupo de fornecedores. Uma aplicação piloto foi realizada usando dados de uma empresa do setor automotivo. Quatro sistemas de inferência foram implementados usando MATLAB[®] e parametrizados de acordo com os julgamentos de funcionários da empresa. Os resultados obtidos reforçam a adequação da metodologia proposta e das parametrizações realizadas durante a implementação.

Palavras-chave: Avaliação de fornecedores, desenvolvimento de fornecedores, modelo SCOR[®], inferência *fuzzy*, lógica *fuzzy*.

A Methodology based on Fuzzy Inference for Supplier Performance Evaluation

Abstract

In the academic literature, supplier selection and evaluation have been addressed as a decision-making problem in which a set of suppliers is evaluated based on multiple criteria. Although there are hundreds of quantitative methodologies to support the supplier selection problem, supplier evaluation aiming at developing suppliers is little explored in the literature. Thus, this study proposes a methodology to support the assessment of supplier performance that combines fuzzy inference systems with performance indicators of SCOR[®] model (Supply Chain Operations Reference). The proposed approach enables the evaluation of aspects related to the performance of operations and costs. The results of this evaluation are used to categorize the suppliers and identify guidelines for the management of each supplier group. A pilot application was carried out considering the context of a automotive company. Four fuzzy inference systems were implemented using MATLAB[®] and parameterized according to the judgments of two employees of the company. The results support the suitability of the proposed methodology and parameterization performed during implementation.

Keywords: *Supplier evaluation, supplier development, SCOR[®] model, fuzzy inference, fuzzy logic.*

1. Introdução

A gestão do abastecimento de produtos e serviços em organizações industriais se configura como uma atividade-chave para a gestão da cadeia de suprimento. Lee e Drake (2010) ressaltam que as empresas manufatureiras gastam aproximadamente 50% a 70% de suas vendas com a compra de componentes e matérias-primas. Além de afetar diretamente os custos de produção da empresa compradora, o desempenho da base de fornecedores influencia a qualidade dos produtos fabricados, a capacidade de atendimento de prazos e, conseqüentemente, a satisfação do cliente final (GONZÁLEZ *et al.*, 2004). Neste sentido, a avaliação do desempenho dos fornecedores é fundamental para garantir a sustentabilidade da cadeia de suprimento e para atender os requisitos do cliente final.

A avaliação de fornecedores ocorre durante o processo de seleção destes, quando o objetivo é definir uma ordem de preferência entre as alternativas para selecionar aquela(s) com melhor desempenho global, e também ocorre após a etapa de contratação, quando o objetivo passa a ser o monitoramento periódico do desempenho de fornecedores. Tal monitoramento deve ser feito para verificar se estes estão atendendo às cláusulas contratuais e para apoiar o planejamento e a implementação de iniciativas visando à melhoria do desempenho e das capacidades dos fornecedores para melhor atender às necessidades do comprador. Uma vez que há muitas práticas possíveis para o desenvolvimento de fornecedores, a escolha da mais adequada para cada fornecedor depende do resultado de sua avaliação de desempenho (OSIRO; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2014).

Na literatura acadêmica, tanto a seleção quanto a avaliação para o desenvolvimento de fornecedores vêm sendo abordadas como um problema de tomada de decisão no qual um conjunto de fornecedores é avaliado com base em múltiplos critérios (ou indicadores) de desempenho. Embora já existam centenas de modelos quantitativos voltados para o apoio à etapa de seleção de fornecedores (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013), a avaliação para o desenvolvimento de fornecedores ainda é pouco explorada. Neste contexto, este estudo propõe uma nova metodologia de apoio à avaliação de fornecedores baseada em sistemas de inferência *fuzzy* com os indicadores de desempenho do modelo SCOR[®] (*Supply Chain Operations Reference*). Os sistemas de inferência *fuzzy* permitem modelar e processar variáveis em formato linguístico, armazenar o conhecimento sobre o problema modelado em uma base de regras de decisão interna, bem como avaliar uma quantidade não limitada de fornecedores simultaneamente. A combinação desses sistemas com os indicadores de desempenho do modelo de referência SCOR[®] permite estimar o desempenho dos fornecedores considerando múltiplos indicadores relacionados à confiabilidade, agilidade e custo. Visando demonstrar o processo de modelagem e uso, bem como avaliar a adequabilidade da proposta, foi realizada uma aplicação piloto em um caso ilustrativo de avaliação de fornecedores, desenvolvido a partir de informações de uma empresa automotiva. Quanto à estrutura do artigo, a Seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre assuntos relacionados a essa pesquisa. A Seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados. A Seção 4 apresenta a metodologia proposta e o caso de aplicação. Finalmente, a Seção 5 apresenta as conclusões e sugestões para pesquisa futuras.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Gestão de Fornecimento

Conforme mostra a Figura 1, Park *et al.* (2010) estruturam as atividades de gestão de fornecimento como um processo com quatro etapas principais. A primeira delas consiste na formulação das estratégias de fornecimento, a qual envolve decisões como fabricar internamente ou terceirizar um determinado componente (*make or buy*), utilizar um ou mais fornecedores para cada item terceirizado, segmentar a base de fornecedores de acordo com o tipo de item fornecido, entre outras. Tais estratégias devem buscar o alinhamento entre os

objetivos de compras e os objetivos estratégicos da organização. Após a definição das estratégias de abastecimento, é feita a seleção dos fornecedores que melhor atendem aos requisitos do comprador e, caso mais de um fornecedor seja selecionado, é feita a distribuição de pedidos entre fornecedores (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001).

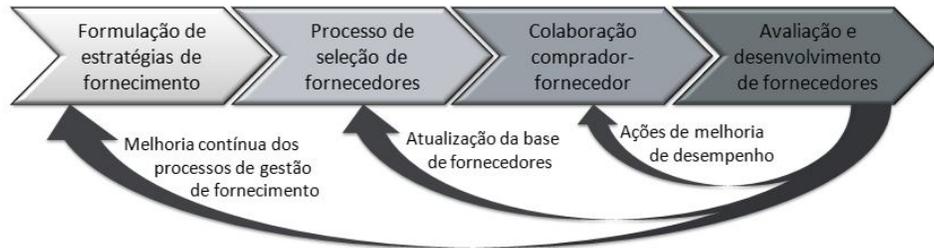


Figura 1 - Framework para gestão de fornecimento. Fonte: Park *et al.* (2010)

Após a contratação dos fornecedores, inicia-se o desenvolvimento de relacionamentos e de práticas colaborativas com aqueles que mais agregam valor para a empresa compradora, e por isso são vistos como fornecedores estratégicos. Tais práticas colaborativas incluem o desenvolvimento conjunto de produtos (*early supplier involvement*), o apoio ao processo de certificação de um ou mais sistemas de gestão do fornecedor, a instalação de unidades de produção dos fornecedores dentro de fábricas do comprador (*modular consortium*), o gerenciamento de estoque pelo fornecedor por meio da consignação de mercadorias (*vendor management inventory – VMI*) e o planejamento, previsão e reabastecimento colaborativos (*Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment- CPFR*) (PARK *et al.*, 2010).

A partir da realização de avaliações periódicas do desempenho dos fornecedores, é possível constatar se eles estão atendendo às obrigações contratuais e identificar aqueles que apresentam níveis de desempenho abaixo do esperado. Dependendo do resultado da avaliação, pode ser necessário acionar programas para o desenvolvimento de um ou mais fornecedores, ou ainda substituir um determinado fornecedor por outro com melhor desempenho. O desenvolvimento de fornecedores é especialmente importante para itens críticos, ou seja, aqueles que possuem alto valor agregado ou que possuem baixa disponibilidade de fornecedores no mercado (OSIRO; LIMA JÚNIOR; CARPINETTI, 2014). A necessidade de substituição ou de desenvolvimento de um determinado fornecedor pode ser identificada por meio de uma avaliação baseada em múltiplos critérios e apoiada por técnicas quantitativas.

2.2 Técnicas e Critérios de Avaliação de Fornecedores

A Tabela 1 apresenta uma lista de estudos que propõem metodologias de apoio à avaliação do desempenho de fornecedores. Entre as técnicas utilizadas, incluem-se os métodos multicritério como AHP, ANP, PROMETHE, DEMATEL, *Fuzzy AHP* e *Fuzzy TOPSIS*, e as técnicas de inteligência artificial, como redes neurais artificiais e sistemas de inferência *fuzzy*. Como pode ser visto, enquanto algumas abordagens são baseadas em uma única técnica, outros estudos combinam duas ou mais técnicas na tentativa de obter vantagens provenientes de cada uma (LIMA JUNIOR; OSIRO, CARPINETTI, 2013).

Tabela 1 – Metodologias quantitativas de apoio à avaliação de desempenho de fornecedores

| Abordagem | Proposto por | Técnicas(s) | Escopo |
|----------------|---------------------------|---|--|
| Método Simples | Sarkar e Mohapatra (2006) | Comparação de números <i>fuzzy</i> | Avaliação da capacidade e desempenho do fornecedor. |
| | Araz e Ozkarahan (2007) | PROMETHEE (<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>) | Avaliação de fornecedor e gerenciamento de sistema para abastecimento estratégico. |
| | Bai e Sarkis (2011) | <i>Rough set theory</i> | Avaliação de programas para o desenvolvimento de fornecedores sustentáveis. |
| | Park <i>et al.</i> (2010) | AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>) | Gerenciamento de relacionamento com fornecedor. |

| | | | |
|------------------|--|--|---|
| | Aksoy e Öztürk (2011) | Redes neurais artificiais | Seleção e avaliação de desempenho de fornecedores em ambientes de produção <i>just-in-time</i> . |
| | Sahu <i>et al.</i> (2014) | Números <i>fuzzy</i> trapezoidais | Avaliação de fornecedores sustentáveis em ambiente <i>fuzzy</i> . |
| | Osiro, Lima Junior e Carpinetti (2014) | Inferência <i>fuzzy</i> | Avaliação de desempenho de fornecedores de acordo com o tipo de item comprado. |
| | Liou <i>et al.</i> (2014) | Baseado em modelo <i>fuzzy</i> -integral e ANP (<i>Analytical Network Process</i>) baseado em DEMATEL | Avaliação e melhoria de fornecedores considerando a interdependência entre critérios. |
| Método combinado | Zeydan <i>et al.</i> (2011) | <i>Fuzzy AHP</i> , <i>Fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)</i> e DEA (Análise Envoltória de Dados) | Metodologia combinada para seleção e avaliação de fornecedores. |
| | Ho <i>et al.</i> (2012) | Análise de regressão múltipla e DEMATEL | Avaliação da qualidade do fornecedor. |
| | Hsu, Kuo e Chiou (2013) | ANP e VIKOR | Avaliação de fornecedores em relação à emissão de carbono. |
| | Omurca (2013) | <i>Fuzzy c-means</i> e <i>rough set theory</i> | Avaliação, seleção e desenvolvimento de fornecedores. |
| | Rezaei e Ortt (2013) | <i>Fuzzy AHP</i> | Segmentação de fornecedores baseada em múltiplos critérios. |
| | Akman <i>et al.</i> (2014) | <i>Fuzzy c-means</i> e VIKOR | Avaliação de fornecedores para a inclusão de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis. |
| | Dou <i>et al.</i> (2014) | <i>Grey-ANP</i> | Avaliação de programas de desenvolvimento sustentável. |

Fonte: Autor

Um requisito para a escolha da técnica utilizada na avaliação para o desenvolvimento de fornecedores é que esta deve lidar com o comportamento dinâmico do sistema de avaliação de desempenho e assim suportar a inclusão e exclusão de fornecedores e de critérios sem gerar inconsistências nos resultados. Contudo, as metodologias baseadas nas técnicas AHP (PARK *et al.*, 2010), ANP (HSU; KUO; CHIOU, 2013; LIOU *et al.*, 2014) e *Fuzzy AHP* (ZEYDAN *et al.*, 2011; REZAEI; ORTT, 2013) podem inverter o resultado do ranqueamento sempre que novos critérios ou alternativas são incluídos ou excluídos. Além dessa limitação, as abordagens baseadas em tais técnicas comparativas limitam a quantidade de fornecedores que podem ser avaliados simultaneamente por requerer a comparação par a par entre as alternativas avaliadas. Essa limitação também é válida para as metodologias baseadas em DEMATEL (HO *et al.*, 2012). Já as abordagens baseadas em redes neurais artificiais (AKSOY; ÖZTÜRK, 2011) dificultam a avaliação de fornecedores por requerem demasiados dados históricos de desempenho para o treinamento (ajuste dos parâmetros internos) dos modelos computacionais. Desta forma, verifica-se que muitos dos modelos atualmente existentes para apoiar a avaliação para o desenvolvimento de fornecedores não são adequados aos requisitos do domínio deste problema devido ao uso de técnicas inadequadas.

Outro aspecto importante das metodologias de avaliação de fornecedores se refere aos critérios (ou indicadores de desempenho) adotados. Na maioria dos estudos, os critérios são agrupados em dimensões de desempenho, que representam as perspectivas consideradas na avaliação dos fornecedores. Conforme mostra a Tabela 2, os critérios consideram fatores relacionados ao desempenho em qualidade, entrega, custo, aspectos ambientais, risco, potencial para colaboração, entre outros. Em alguns estudos, as dimensões de desempenho são combinadas em uma matriz de classificação bidimensional composta por quatro quadrantes, cuja classificação de um fornecedor em um determinado quadrante indica a ação a ser tomada,

seja ela para melhoria, substituição ou manutenção do relacionamento com o fornecedor. Exemplos deste tipo de metodologia de classificação são apresentados em Sarkar e Mohapatra (2006), Ho *et al.* (2012) Rezaei e Ortt (2013) e em Osiro, Lima Junior e Carpinetti (2014). Outra abordagem utilizada consiste em uma ordenação geral dos fornecedores considerando simultaneamente todas as dimensões de desempenho. Neste caso, a metodologia ajuda a identificar os melhores e os piores fornecedores, mas não sugere diretamente as ações a serem tomadas. Exemplos desta abordagem são os estudos propostos por Liou *et al.* (2014) e Sahu *et al.* (2014).

Tabela 2 – Dimensões e critérios de avaliação de fornecedores

| Autor(es) | Dimensões de desempenho | Critério |
|----------------------------|----------------------------|--|
| Rezaei e Ortt (2013) | <i>Capability</i> | Preço, entrega, qualidade, capacidade reserva, localização geográfica e posição financeira |
| | Complacência | Comprometimento com a qualidade, comunicação, arranjo recíproco, complacência para compartilhamento de informações, esforço do fornecedor em promover princípios <i>JIT</i> e relacionamento de longo prazo. |
| Akman <i>et al.</i> (2014) | Fatores ambientais | Projeto sustentável, prevenção de poluição, imagem sustentável, capacidade sustentável e sistema ambiental. |
| | <i>Performance</i> | Entrega, qualidade e custo. |
| Liou <i>et al.</i> (2014) | Compatibilidade | Troca de informações, relacionamento e flexibilidade. |
| | Custo | Redução de custos e flexibilidade no faturamento. |
| | Qualidade | Conhecimento e habilidades, satisfação dos clientes e indicadores em tempo real. |
| Osiro <i>et al.</i> (2014) | Risco | Perda de controle gerencial, união laboral e segurança da informação. |
| | Potencial para colaboração | Comprometimento com melhorias e redução de custos, facilidade de comunicação, capacidade financeira e capacidade técnica. |
| | Entrega | Confiabilidade na entrega, desempenho de preço, qualidade e conformidade e resolução de problemas. |
| Sahu <i>et al.</i> (2014) | Capacidade organizacional | Flexibilidade de volumes, escala de produção e nível de informação. |
| | Nível de serviço | Taxa de preço, tempo de entrega e taxa de entrega. |
| | Grau de cooperação | Pontualidade de entrega e taxa de compensação média de pedido. |
| | Fatores ambientais | Conteúdo de substâncias perigosas e consumo de energia. |

Fonte: Autor

Uma limitação que afeta todas as metodologias de avaliação de desempenho de fornecedores analisadas por este estudo é a falta de alinhamento e impossibilidade de integração com sistemas de medição de desempenho de cadeias de suprimento. Uma vez que avaliação de desempenho de uma cadeia de suprimento compreende aspectos relacionados ao desempenho da empresa foco e de seus fornecedores chave, é desejável que o sistema de avaliação de fornecedores possa ser facilmente integrado com o sistema de avaliação da cadeia. Para isso, é necessário que exista uma linguagem padrão e um alinhamento entre os indicadores de desempenho usados em ambos os sistemas. Uma forma de superar essa limitação é o uso dos indicadores do modelo SCOR[®] na avaliação de fornecedores.

2.3 O modelo SCOR[®]

O SCOR[®] (*Supply Chain Operations Reference*) é um modelo de referência que relaciona processos de negócio, métricas de desempenho e melhores práticas de gestão de cadeias de suprimento, a fim de apoiar a descrição, a avaliação e a comparação das atividades e do desempenho dessas cadeias. O SCOR[®] é flexível e pode ser usado por indústrias de qualquer setor para descrever cadeias de suprimento simples ou bastante complexas (SCC, 2012). A seção do SCOR[®] voltada para a gestão de desempenho de cadeias de suprimento fornece um amplo conjunto de métricas para avaliar os resultados da cadeia. Esse conjunto de métricas é subdividido em atributos de desempenho e indicadores de desempenho, os quais

são organizados hierarquicamente ao longo de uma estrutura em níveis. Conforme descreve a Tabela 3, o nível 0 da hierarquia é composto por cinco atributos de desempenho, relacionados à confiabilidade (*reliability*), à responsividade (*responsiveness*), à agilidade (*agility*), aos custos (*cost*) e à gestão de ativos (*asset management*) na cadeia (SCC, 2012).

Tabela 3 - Atributos de desempenho do modelo SCOR®

| Atributo | Descrição |
|-------------------------|--|
| <i>Reliability</i> | Refere-se ao à habilidade de desempenhar tarefas conforme os requisitos do cliente. |
| <i>Responsiveness</i> | Diz respeito à velocidade com que as tarefas são executadas. |
| <i>Agility</i> | Refere-se à velocidade e à habilidade de uma cadeia para responder a mudanças de mercado a fim de ganhar ou manter vantagem competitiva. |
| <i>Cost</i> | Envolve todos os custos relacionados à operação de uma cadeia de suprimento. |
| <i>Asset management</i> | Diz respeito à habilidade de utilizar eficientemente recursos fixos e capital de giro para atender à demanda dos clientes. |

Fonte: SCC (2012)

Os atributos de desempenho mostrados no Quadro 2 não são medidos, pois servem para expressar uma determinada orientação estratégica. A habilidade de alcançar tais orientações estratégicas é medida por meio dos indicadores de desempenho associados a cada atributo, conforme ilustra a Figura 2. Os indicadores estão distribuídos ao longo dos níveis 1, 2 e 3 da hierarquia (SCC, 2012). Contudo, na Figura 2 são apresentadas somente as métricas de nível 0, 1 e 2. Optou-se por não traduzir a nomenclatura destas métricas (em inglês) para evitar distorções nos significados.

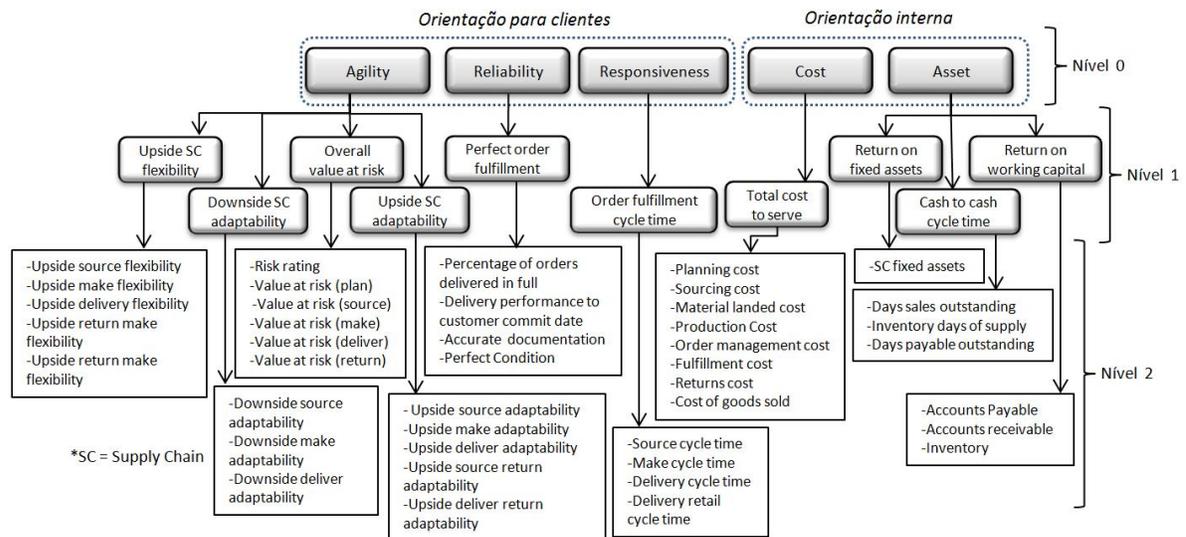


Figura 2 - Métricas propostas pelo modelo SCOR®. Fonte: Adaptado de SCC (2012)

Uma das principais vantagens de usar os indicadores do SCOR® refere-se à possibilidade de uma organização comparar seu desempenho e de sua cadeia imediata a outras cadeias. O SCOR® provê suporte ao *benchmarking* global entre cadeias de suprimento por meio de uma base de dados *online* denominada *SCORmark*, a qual permite estratificar o desempenho de uma cadeia por meio de três posicionamentos: *superior*, que é a mediana de um dado indicador em relação a um percentual de 10% das mais bem classificadas dentro o total de redes avaliadas; *advantage*, que é o desempenho do ponto médio entre as empresas *Top 10*, e a mediana de todas as redes avaliadas; e *parity*, que é o desempenho mediano de todas as redes avaliadas (SCC, 2012; GANGA, CARPINETTI, 2011).

Uma vez que o SCOR® é composto por uma grande variedade de indicadores associados a cada atributo, o monitoramento de todos os indicadores simultaneamente pode requerer demasiados recursos para coleta e análise de dados. Por causa disso, o SCOR®

recomenda a adoção de uma quantidade balanceada de indicadores, focando principalmente no monitoramento dos processos que são críticos para a operação da cadeia. O SCOR[®] também sugere que alguns de seus indicadores sejam usados na avaliação do desempenho de fornecedores, bem como na avaliação de risco e no *benchmarking* (SCC, 2012). Conforme sugere Ganga e Carpinetti (2011), para quantificar as relações de causa e efeito entre os indicadores, pode ser adotada uma técnica de inteligência artificial denominada inferência *fuzzy*.

2.4 Sistemas de Inferência *Fuzzy*

2.4.1 Fundamentos da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

A adequação da teoria dos conjuntos *fuzzy* à modelagem de sistemas que envolvem incerteza e imprecisão se deve principalmente à lógica que define o grau de inclusão (ou de pertinência) dos elementos em conjuntos *fuzzy*. A lógica *fuzzy* modela um conjunto *fuzzy* \tilde{A} por meio de uma função de pertinência $\mu_A(x): X \rightarrow [0.0, 1.0]$, para permitir níveis parciais de inclusão. Ou seja, ao contrário da teoria clássica dos conjuntos, em que um conjunto é definido por uma função característica $\mu_A(x): X \rightarrow \{0.0, 1.0\}$, a teoria dos conjuntos *fuzzy* considera valores no intervalo contínuo $[0.0, 1.0]$ para $\mu_A(x)$, admitindo-se assim a existência de níveis intermediários entre os valores de pertencimento “falso” (0.0) e “verdadeiro” (1.0). Desta forma, conforme representa a equação 1, cada um dos valores dos elementos do eixo x dentro do domínio do conjunto *fuzzy* \tilde{A} é representado por um valor *crisp* (x) e um grau de pertencimento $\mu_A(x)$ (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007)..

$$\tilde{A} = \{x, \mu_A(x) / x \in X\} \quad (1)$$

Os números *fuzzy* são constituídos por conjuntos *fuzzy* que atendem às propriedades de convexidade geométrica e de normalidade. A morfologia de um número *fuzzy* é definida por meio do comportamento de $\mu(x)$ e permite a quantificação da imprecisão associada a uma dada informação. Conforme ilustra a Figura 3, os vértices de um número *fuzzy* triangular são representados pelos l, m e u , sendo $l < m < u$. No caso de um número *fuzzy* trapezoidal, têm-se as dimensões a, m, n e b , sendo $a < m < n < b$, conforme mostra a Figura 4.

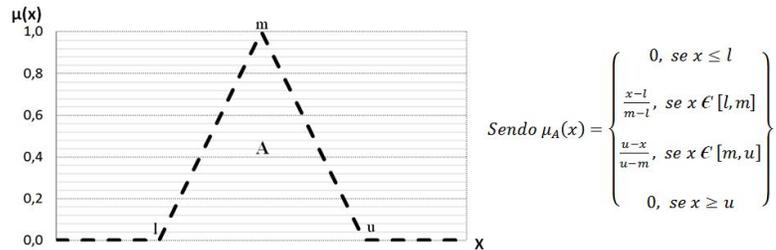


Figura 3 - Número *fuzzy* triangular. Fonte: Zimmermann (1991)

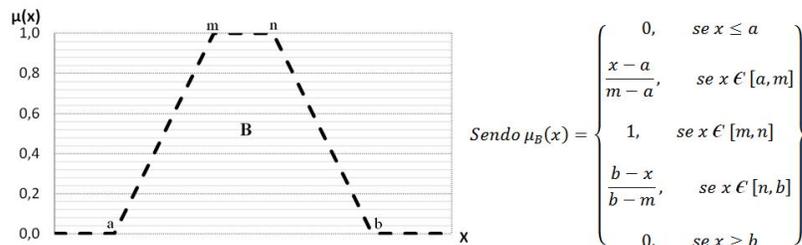


Figura 4 - Número *fuzzy* trapezoidal. Fonte: Zimmermann (1991)

Em problemas de tomada de decisão, números *fuzzy* podem ser usados para representação de julgamentos imprecisos, como “em torno de 6” ou “aproximadamente 10”,

ou para modelagem de valores linguísticos como “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, conforme exemplifica a Figura 5 (ZIMMERMANN, 1991; LIMA JUNIOR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

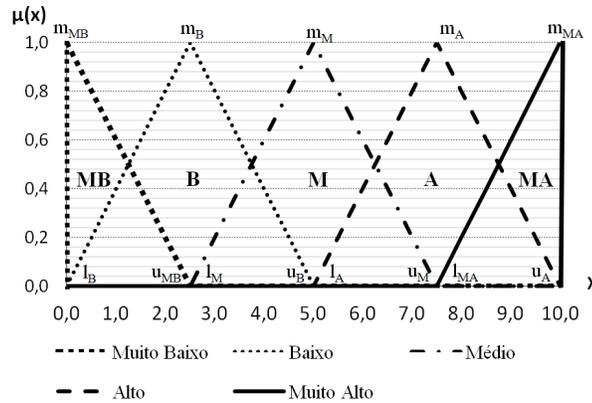


Figura 5 – Exemplo de escala de valores linguísticos. Fonte: Lima Junior, Cervi e Carpinetti (2014)

2.4.2 Sistema de inferência proposto por Mamdani e Assilian (1975)

A combinação de alguns recursos da teoria dos conjuntos *fuzzy* em uma estrutura lógica constitui um sistema de inferência *fuzzy* (LIMA JUNIOR; CERVI; CARPINETTI, 2014). O primeiro sistema de inferência *fuzzy* foi proposto por Mamdani e Assilian (1975) e sofreu algumas modificações desde a versão original. Como pode ser visto na Figura 6, a estrutura do sistema de inferência proposto por Mamdani e Assilian (1975) é constituída por cinco elementos principais: interface de fuzificação, base de regras, mecanismo de inferência, base de dados e interface de defuzificação.

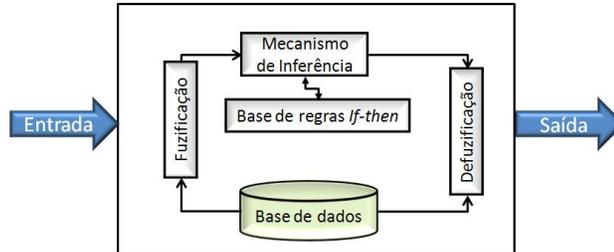


Figura 6 – Estrutura do sistema de inferência proposto Mamdani e Assilian (1975). Fonte: Lima Junior, Cervi e Carpinetti (2014)

Quando um conjunto de valores numéricos de entrada é apresentado a este tipo de sistema, o processo de fuzificação converte cada valor em uma ou mais partições *fuzzy*. Em problemas de tomada de decisão e de medição de desempenho, geralmente tais partições correspondem a termos linguísticos. Considerando o exemplo da Figura 4, suponha que o desempenho de um fornecedor em relação à qualidade seja representado pela pontuação 6,0. Ao ser apresentado ao sistema e convertido para um formato linguístico, tal valor poderá ser considerado “alto” com nível de pertinência $\mu_A(x)$ igual a 0,4, e simultaneamente será considerado “médio” com $\mu_M(x)$ equivalente a 0,6. Ressalta-se que tal representação não se refere a uma situação probabilística, uma vez que é assumido que o valor 6 pertence de fato ao conjunto dos valores altos e simultaneamente pertence ao conjunto dos valores médios.

Após a fuzificação, os valores fuzificados são aplicados a um conjunto de regras de inferência que estabelecem relações de causa e efeito entre as variáveis de entrada e de saída. As regras de inferência que melhor representam os valores de entrada fuzificados serão então ativadas, determinando assim um conjunto de hipóteses sobre o comportamento do problema modelado. A Figura 7 ilustra a estrutura de uma regra de inferência com duas variáveis de entrada e uma de saída. Essas regras possuem uma estrutura do tipo *if-then* (se-então), ou seja,

na primeira parte da regra são definidas um conjunto de condições antecedentes que descrevem um cenário específico do problema modelado, e na segunda parte é especificada qual deve ser a resposta do sistema para a variável de saída frente às condições antecedentes apresentadas (MAMDANI; ASSILIAN, 1975; PEDRYCZ; GOMIDE, 2007). Os conjuntos *fuzzy* resultantes do processamento nas regras ativadas são agregados em um único conjunto para gerar o valor de saída do sistema. Finalmente, o conjunto *fuzzy* resultante da agregação é convertido em um valor *crisp* por meio do uso de um operador de defuzificação e posteriormente é apresentado ao usuário do sistema (MAMDANI; ASSILIAN, 1975).

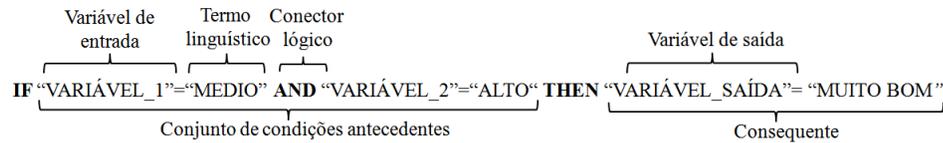


Figura 7 - Exemplo de regra de inferência. Fonte: Lima Junior, Cervi e Carpinetti (2014)

Em sistemas de inferência *fuzzy*, os operadores utilizados na manipulação dos dados incluem operadores do tipo t-norma, t-conorma (ou s-norma), operadores de composição, de agregação e de defuzificação. Operadores t-norma são utilizados para generalizar as operações de agregação de conjuntos *fuzzy* baseadas no conectivo lógico “AND” durante o processamento da parte antecedente das regras de inferência. Os operadores mais usados nestes casos são o operador “*minimum*” e o “produto algébrico”, conforme representam respectivamente as equações 2 e 3 (LIMA JUNIOR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

$$\mu_A(x) \text{ AND } \mu_B(y) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(y) \} \quad (2)$$

$$\mu_A(x) \text{ AND } \mu_B(y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y) \quad (3)$$

Em cada regra de inferência ativada, após a computação das operações lógicas da parte antecedente, o mecanismo de inferência cria uma relação de implicação *R* entre o conjunto *fuzzy* resultante das operações lógicas e o consequente da regra. Os operadores “produto algébrico” e “*minimum*” também são usados nesta etapa (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007). A saída de cada regra é determinada a partir de operadores de composição de relação, que utilizam o relacionamento entre um conjunto *singleton* (criado na fuzificação) e a relação de implicação *R*. Para isso, geralmente se usa o operador “max-min”, mostrado na equação 4. As contribuições advindas das regras ($\mu_{Ri}(x)$) devem ser agregadas em um único conjunto *fuzzy* utilizando um operador de agregação, como o operador de agregação máximo, representado na equação 5 (LIMA JUNIOR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

$$S \circ R(x, y) = \max \{ \min \{ \mu_S(x, y), \mu_R(y, z) \} \} \quad (4)$$

$$AG(.) = \max \{ \mu_{R1}(x), \mu_{Rj}(x), \dots, \mu_{Rm}(x) \} \quad (5)$$

Por último, para gerar a saída final do sistema, a interface de defuzificação converte o valor *fuzzy* resultante da agregação das regras ativadas para um valor *crisp*. O operador centro de área é amplamente usado na defuzificação devido ao seu maior comprometimento com a solução, uma vez que considera regiões *fuzzy* com valores de pertinência baixos durante o cálculo do valor *crisp* de saída. O operador de defuzificação centro de área é mostrado na equação 6, na qual *n* é o número de pontos de discretização do conjunto *fuzzy* *A* (LIMA JUNIOR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

$$CDA = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_A(x_k) \cdot x_k}{\sum_{k=1}^n \mu_A(x_k)} \quad (6)$$

Visando sintetizar as etapas de funcionamento de um sistema de inferência *fuzzy*, o Quadro 1 resume os passos algoritmos apresentados ao longo desta subseção.

Início

- <1> Apresentar um conjunto de valores de entrada *crisp* às variáveis de entrada;
- <2> Fuzificar os valores de entrada;
- <3> Verificar quais regras de inferência são ativadas pelos valores de entrada fuzificados;
- <4> Determinar a saída de cada regra de inferência ativada usando os termos linguísticos consequentes;
- <5> Combinar as contribuições individuais de todas as regras ativadas a fim de se produzir uma resposta final;
- <6> Defuzificar o conjunto *fuzzy* resultante do passo <5> para apresentar a saída em formato *crisp*;

Fim

Quadro 1 – Etapas algorítmicas do sistema proposto por Mamdani e Assilian (1975). Fonte: Autor

3. Procedimentos Metodológicos

De acordo com a classificação proposta por Bertrand e Fransoo (2002), esta pesquisa pode ser caracterizada como quantitativa descritiva baseada em modelagem e simulação. Nesse tipo de pesquisa, utilizam-se modelos quantitativos baseados em um conjunto de variáveis, as quais representam um domínio de problema específico e possuem relacionamentos causais e quantitativos entre si. Quanto às etapas componentes da pesquisa, estas estão organizadas da seguinte forma:

i. **Pesquisa bibliográfica:** a pesquisa bibliográfica forneceu embasamento teórico para concepção, modelagem e aplicação do modelo proposto por este estudo. Foram analisados artigos internacionais sobre avaliação de desempenho de fornecedores, livros e artigos sobre lógica e inferência *fuzzy*, além da seção sobre medição de desempenho do modelo SCOR[®] (SCC, 2012);

ii. **Modelagem e simulação:** para a modelagem e simulação de uso dos sistemas computacionais, utilizou-se a ferramenta *fuzzy toolbox* do *software* MATLAB[®]. Três sistemas de inferência foram desenvolvidos e parametrizados por dois funcionários de uma empresa automotiva com o suporte dos autores deste estudo. Um caso ilustrativo de uso foi desenvolvido considerando dez fornecedores da empresa. Os resultados da aplicação piloto são apresentados e discutidos a seguir.

4. Apresentação e Discussão de Resultados

4.1 Metodologia Proposta para Avaliar o Desempenho de Fornecedores

A abordagem proposta por este estudo para apoiar a avaliação de desempenho visando ao desenvolvimento e à melhoria da base de fornecedores é representada na Figura 8. Os critérios de avaliação de fornecedores adotados consistem nos indicadores de desempenho de nível 2 do SCOR[®] voltados para a gestão de fornecedores. A Tabela 4 detalha esses critérios com base no SCOR[®] (SCC, 2012). Para agregar os valores dos indicadores de desempenho, são utilizados três sistemas de inferência *fuzzy*. Cada sistema está incumbido de processar os indicadores de um atributo de desempenho (*reliability*, *agility* e *cost*).

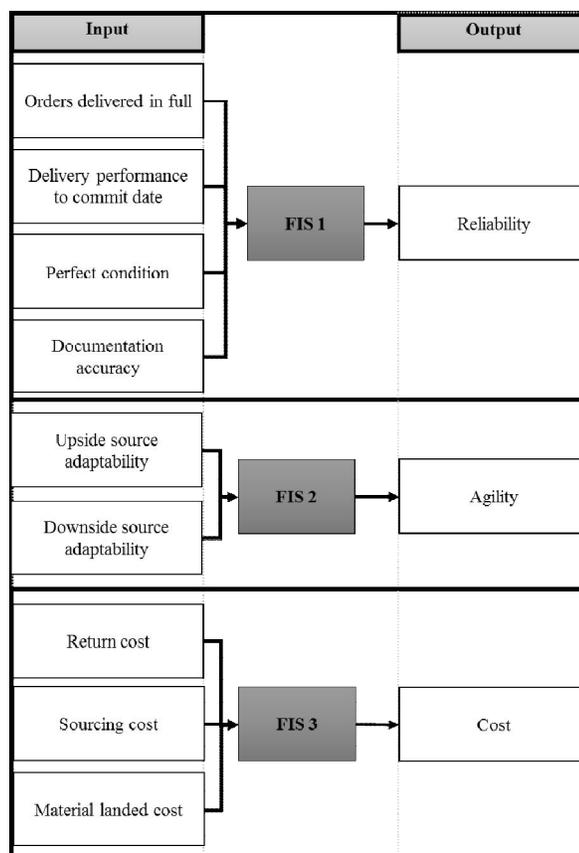


Figura 8 – Abordagem proposta para apoiar a avaliação para o desenvolvimento de fornecedores. Fonte: Autor

Tabela 4 – Detalhamento dos critérios usados na metodologia proposta

| Atributos | Crítérios (ou indicadores) | Descrição dos critérios | Unidade | Domínio sugerido |
|-------------------------------------|--|---|---------|------------------|
| <i>Reliability</i> (confiabilidade) | <i>Orders delivered in full</i> (C ₁) | Percentual de pedidos recebidos onde todos os itens estão nas quantidades acordadas. | % | [1, 100] |
| | <i>Delivery performance to commit date</i> (C ₂) | Percentual de pedidos entregues na data acordada. | % | [1, 100] |
| | <i>Perfect condition</i> (C ₃) | Percentual de pedidos entregues dentro da especificação com pouca ou nenhuma avaria. | % | [1, 100] |
| | <i>Documentation accuracy</i> (C ₄) | Percentual de pedidos entregues na data com documentação correta. | % | [1, 100] |
| <i>Agility</i> (agilidade) | <i>Upside source adaptability</i> (C ₅) | Percentual máximo sustentado decorrente do aumento nas quantidades de matérias primas entregues em 30 dias. | % | [1, 100] |
| | <i>Downside source adaptability</i> (C ₆) | Percentual máximo sustentado decorrente da redução nas quantidades de matérias primas que podem ser adquiridas ou recebidas em 30 dias. | % | [1, 100] |
| <i>Cost</i> (custo) | <i>Material landed cost</i> (C ₇) | Custos associados com a compra de materiais, incluindo preço de compra, fretes, seguros, impostos, taxas e custos de importação caso exista. | \$ | [1, 100.000] |
| | <i>Return cost</i> (C ₈) | Custos associados com a disposição de materiais retornados ao fornecedor devido erros de planejamento, problemas de qualidade, produção ou pedido e erros de entrega. | \$ | [1, 100.000] |
| | <i>Sourcing cost</i> (C ₉) | Custos associados com o gerenciamento do pedido, recebimento, inspeção e armazenamento. | \$ | [1, 100.000] |

Fonte: Autor.

A utilização da metodologia proposta requer a parametrização de três sistemas de inferência, que deve ser feita a partir da opinião de funcionários da empresa compradora relacionados com as áreas de logística, qualidade e / ou compras. Estes funcionários devem ser consultados para a escolha dos critérios e para a definição do conseqüente das regras de inferência. Estes também devem ajudar a definir e parametrizar um conjunto de termos linguísticos utilizados para a representação de cada variável. Tais ajustes devem ser feitos apenas durante a implantação do sistema na empresa. Durante o uso, é necessário apenas escolher os fornecedores a serem avaliados e estimar a pontuação destes em cada um dos critérios adotados. Essas estimativas devem ser apresentadas aos sistemas de inferência *fuzzy*. Como nesses sistemas o universo de discurso de todas as variáveis de entrada é definido no intervalo [0, 1], os valores das pontuações dos fornecedores devem ser ajustados usando a equação 7.

$$x'_i = [x_i - \min(x_1, x_2, \dots, x_n)] / \max(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7)$$

Por meio do processo de inferência descrito na subseção 2.4.2, são calculados os valores de desempenho dos fornecedores em relação a cada atributo. Para implementação computacional dos três sistemas de inferência usando o *software MATLAB*[®], com base em vários testes empíricos realizados, foram escolhidos os seguintes operadores: o operador “min” (equação 2) é usado para operacionalizar o conectivo “AND”; o operador “prod” (equação 3) gera as relações de implicação entre os antecedentes e consequentes nas regras de inferência; o operador “max-min” (equação 4) é utilizado para compor os relacionamentos entre as relações de implicação e os conjuntos gerados na fuzificação; o operador “max” (equação 5) foi escolhido para agregar os conjuntos *fuzzy* gerados na saída de cada regra de inferência ativada; o operador “centro de área” (equação 6) foi adotado para defuzificar os conjuntos *fuzzy* agregados e gerar o valor de saída do sistema.

Para avaliar se os fornecedores estão alcançando o nível de desempenho esperado, o comprador deve estabelecer um valor de desempenho mínimo esperado para cada atributo e compará-lo com o valor de saída de cada sistema. Com base nas lacunas de desempenho identificadas entre o desempenho real e o desempenho desejado, devem ser tomadas ações para a melhoria de cada fornecedor nos critérios e atributos deficitários. Para demonstrar a aplicabilidade da metodologia proposta, uma aplicação ilustrativa é apresentada a seguir.

4.2 Aplicação Piloto

Uma aplicação piloto da metodologia proposta foi realizada utilizando informações de uma empresa do setor automotivo. Essa empresa fabrica embreagens para carros de linha leve e possui uma ampla base de fornecedores de componentes. Dois funcionários atuantes nas áreas de compras e logística forneceram estimativas quanto ao desempenho de 10 fornecedores em relação aos critérios listados na Tabela 4. Esses também forneceram julgamentos para auxiliar na parametrização das variáveis *fuzzy* e das regras de inferência. Com base em Altrock (1995) e Lima Junior, Cervi e Carpinetti (2014), foram definidos três termos linguísticos para representar cada variável de entrada e cinco termos foram adotados para as variáveis de saída. Seguindo o estudo de Ganga e Carpinetti (2011), foram utilizados números triangulares e trapezoidais. As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam os termos linguísticos, a morfologia e os parâmetros numéricos usados nas funções de pertinência das variáveis de entrada dos sistemas de inferência (FIS) 1, 2 e 3, respectivamente. Já as Tabelas 8, 9 e 10 detalham as funções de pertinência das variáveis de saída dos respectivos sistemas.

Tabela 5 – Funções de pertinência das variáveis de entrada do FIS 1

| | | | |
|----------|--------|-----------|-------|
| Critério | “Ruim” | “Regular” | “Bom” |
|----------|--------|-----------|-------|

| | Trapezoidal | | | Triangular | | | | Trapezoidal | | | |
|----------------|-------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> |
| C ₁ | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,50 | 0,20 | 0,50 | 0,80 | 0,50 | 0,80 | 1,00 | 1,00 |
| C ₂ | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,50 | 0,10 | 0,50 | 0,90 | 0,50 | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| C ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,40 | 0,10 | 0,50 | 0,90 | 0,60 | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| C ₄ | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,40 | 0,10 | 0,50 | 0,90 | 0,60 | 0,90 | 1,00 | 1,00 |

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Funções de pertinência das variáveis de entrada do FIS 2

| Critério | “Ruim” | | | | “Regular” | | | | “Bom” | | | |
|----------------|-------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|--|
| | Trapezoidal | | | | Triangular | | | | Trapezoidal | | | |
| | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> | |
| C ₅ | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,50 | 0,10 | 0,50 | 0,90 | 0,50 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | |
| C ₆ | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,50 | 0,05 | 0,45 | 0,90 | 0,50 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | |

Fonte: Autor.

Tabela 7 – Funções de pertinência das variáveis de entrada do FIS 3

| Critério | “Bom” | | | “Regular” | | | | “Ruim” | | | |
|----------------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|--|
| | Triangular | | | Triangular | | | | Trapezoidal | | | |
| | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>u</i> | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> | |
| C ₇ | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 0,45 | 0,90 | 0,50 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | |
| C ₈ | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 0,40 | 0,80 | 0,50 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | |
| C ₉ | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 0,45 | 0,90 | 0,50 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | |

Fonte: Autor.

Tabela 8 – Funções de pertinência da variável de saída do FIS 1 (*reliability*)

| | “Péssimo” | | | “Ruim” | | | “Regular” | | | | “Bom” | | | “Ótimo” | | | |
|--|-------------|----------|----------|------------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
| | Trapezoidal | | | Triangular | | | Trapezoidal | | | | Triangular | | | Triangular | | | |
| | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>u</i> | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>u</i> | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>u</i> |
| | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,30 | 0,10 | 0,30 | 0,50 | 0,30 | 0,50 | 0,60 | 0,80 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 0,80 | 1,00 | 1,00 |

Fonte: Autor.

Tabela 9 – Funções de pertinência da variável de saída do FIS 2 (*agility*)

| | “Péssimo” | | | “Ruim” | | | “Regular” | | | “Bom” | | | “Ótimo” | | | |
|--|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| | Triangular | | | Triangular | | | Triangular | | | Triangular | | | Trapezoidal | | | |
| | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>u</i> | <i>a</i> | <i>m</i> | <i>n</i> | <i>b</i> |
| | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,45 | 0,07 | 0,40 | 0,65 | 0,90 | 0,70 | 0,90 | 1,00 | 1,00 |

Fonte: Autor.

Tabela 10 – Funções de pertinência da variável de saída do FIS 3 (*cost*)

| | “Ótimo” | | | “Bom” | | | “Regular” | | | “Ruim” | | | “Péssimo” | | |
|--|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|
| | Triangular | | | Triangular | | | Triangular | | | Triangular | | | Triangular | | |
| | <i>l</i> | <i>m</i> | <i>u</i> |
| | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,10 | 0,25 | 0,40 | 0,30 | 0,50 | 0,70 | 0,50 | 0,70 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 1,00 |

Fonte: Autor.

Após a construção e a parametrização dos três sistemas, foram estimadas as pontuações de 10 fornecedores para cada um dos nove critérios. Os valores destas pontuações foram normalizados usando a equação 7, resultando nos valores mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Pontuações normalizadas dos fornecedores

| Fornecedores | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | C ₈ | C ₉ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| F ₁ | 0,80 | 0,55 | 0,92 | 1,00 | 0,60 | 0,40 | 0,52 | 0,36 | 0,40 |
| F ₂ | 0,95 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 0,70 | 0,60 | 0,80 | 0,70 | 0,65 |
| F ₃ | 1,00 | 0,22 | 0,60 | 0,90 | 0,90 | 1,00 | 0,88 | 0,75 | 0,40 |
| F ₄ | 0,98 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | 0,96 | 0,87 | 0,80 |
| F ₅ | 0,72 | 0,50 | 0,90 | 0,70 | 0,70 | 0,30 | 0,48 | 0,30 | 0,35 |
| F ₆ | 0,40 | 0,70 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,10 | 0,43 | 0,10 | 0,10 |
| F ₇ | 0,84 | 0,25 | 0,75 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,67 | 0,52 | 0,50 |

| | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| F_8 | 0,27 | 0,20 | 0,45 | 0,70 | 0,70 | 0,55 | 0,13 | 0,05 | 0,03 |
| F_9 | 0,68 | 0,75 | 0,82 | 0,52 | 0,52 | 0,80 | 0,26 | 0,12 | 0,10 |
| F_{10} | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,80 | 0,95 | 0,55 | 0,40 | 0,30 |

Fonte: Autor.

A partir da apresentação dos valores da Tabela 11 aos sistemas de inferência, foram calculadas as pontuações finais para os fornecedores em cada um dos atributos do SCOR[®]. A Figura 9 mostra a representação do processo de inferência *fuzzy* para o fornecedor F_1 utilizando o FIS 2. Nessa figura, cada linha representa uma regra de decisão deste FIS. As duas primeiras colunas à esquerda se referem às variáveis de entrada e seus respectivos termos linguísticos, enquanto a terceira coluna se refere à variável de saída. A região amarela representa os conjuntos *fuzzy* ativados pelas pontuações do fornecedor 1. As regiões destacadas em azul na última coluna se referem aos conjuntos *fuzzy* gerados por cada regra ativada. Tomando como exemplo o fornecedor F_1 , para as pontuações de entrada 0,6 e 0,4, são ativadas as regras 4, 5, 7 e 9. Ao agregar os conjuntos *fuzzy* resultantes de cada regra, é gerada a região *fuzzy* de saída (representada na última linha da última coluna), que após ser defuzificada, retorna o valor 0,453.

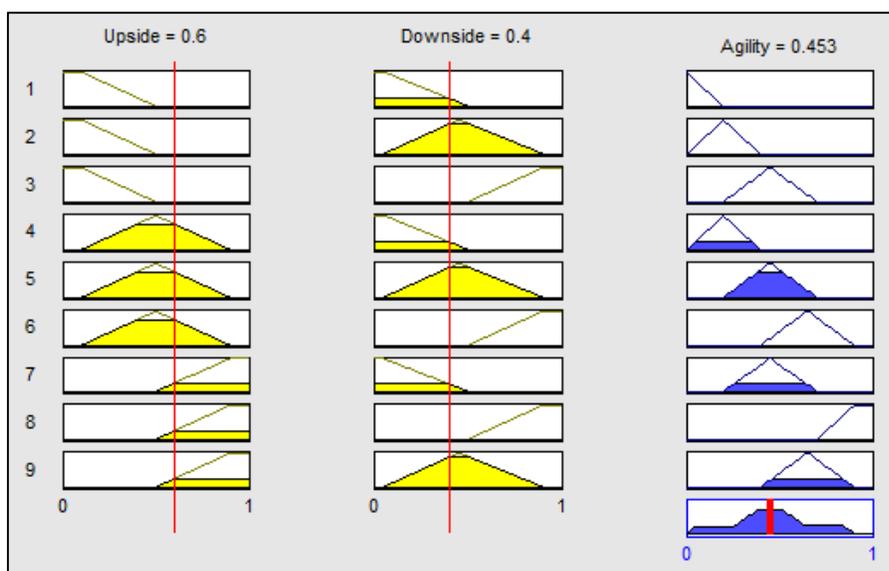


Figura 9 - Processo de inferência do FIS 2 ao inserir os valores do fornecedor 1. Fonte: Autor.

A Tabela 12 apresenta as pontuações de saída calculadas pelos três sistemas para os 10 fornecedores avaliados, bem como a classificação relativa dos mesmos e os valores de desempenho mínimos esperados para cada atributo. Nota-se que os fornecedores que obtiveram um resultado satisfatório em todos os atributos foram F_7 , F_9 e F_{10} . Nestes casos, a empresa compradora deve manter o relacionamento com estes fornecedores e considerá-los como potenciais parceiros durante o desenvolvimento de novos produtos, já que estes tendem a contribuir positivamente para a sustentabilidade da cadeia de suprimento.

Tabela 12 – Valores de desempenho fornecidos pelos sistemas de inferência

| | FIS 1 | | FIS 2 | | FIS 3 | |
|-------|----------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | Desempenho em <i>reliability</i> | Classificação | Desempenho em <i>agility</i> | Classificação | Desempenho em <i>cost</i> | Classificação |
| F_1 | 0,802 | 3° | 0,453* | 9° | 0,520 | 5° |
| F_2 | 0,937 | 1° | 0,591* | 6° | 0,777* | 8° |
| F_3 | 0,612 | 8° | 0,894 | 1° | 0,799* | 9° |
| F_4 | 0,937 | 1° | 0,842 | 2° | 0,886* | 10° |
| F_5 | 0,629 | 7° | 0,452* | 10° | 0,464 | 4° |
| F_6 | 0,800 | 4° | 0,481* | 8° | 0,339 | 3° |

| | | | | | | |
|----------------------------|--------|----|--------|----|--------|----|
| F₇ | 0,666 | 6° | 0,650 | 4° | 0,631 | 7° |
| F₈ | 0,408* | 9° | 0,570* | 7° | 0,229 | 1° |
| F₉ | 0,683 | 5° | 0,606 | 5° | 0,333 | 2° |
| F₁₀ | 0,931 | 2° | 0,794 | 3° | 0,546 | 6° |
| Desempenho esperado | ≥ 0,60 | - | ≥ 0,60 | - | ≤ 0,70 | - |

* O fornecedor atendeu ao desempenho mínimo esperado no respectivo atributo

Fonte: Autor.

Somente o fornecedor F_8 não atendeu ao nível de desempenho esperado em confiabilidade (*reliability*). Porém, a metade dos fornecedores avaliados não alcançou o desempenho esperado em agilidade (*agility*). Para melhorar estes resultados, devem ser elaborados planos de ação visando ao desenvolvimento destes fornecedores. Neste sentido, devem-se identificar os critérios que são críticos para a melhoria destes atributos e investigar os processos críticos e as causas dos problemas de desempenho. Com base nestas informações, deve-se elaborar, implantar e monitorar programas de melhoria contínua juntamente com o fornecedor. Por último, os fornecedores F_2 , F_3 e F_4 não atenderam ao desempenho esperado no atributo custo (*cost*) e, portanto, requerem programas de redução de custo. Neste caso, devem-se identificar os fatores nos quais cada fornecedor apresenta altos custos e identificar as causas relacionadas por meio da análise dos processos ou atividades críticas. Ferramentas como diagrama de causa e efeito, mapa de fluxo de valor e mapeamento de custos podem ser usadas nesta etapa. Metas de redução de custo devem ser definidas e negociadas com cada fornecedor. Programas para a redução de custos nos processos e atividades críticas devem ser desenvolvidos, implantados e monitorados pelo fornecedor em parceria com o comprador.

5. Conclusão

A gestão de fornecedores é uma atividade crítica que tem impacto sobre a sustentabilidade das organizações inseridas em cadeias de suprimento. A avaliação de fornecedores apoiada pelo uso de ferramentas computacionais pode automatizar a tomada de decisão e contribuir para a melhoria da gestão e do desenvolvimento de fornecedores. Este estudo apresentou uma nova metodologia para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores, que combina os indicadores do modelo SCOR[®] com sistemas de inferência *fuzzy*. A abordagem proposta possibilita a avaliação de aspectos relacionados aos atributos confiabilidade (*reliability*), agilidade (*agility*) e custo (*cost*).

Quando comparada com outros estudos da literatura, a abordagem proposta apresenta vantagens como: a capacidade de avaliação simultânea de um número ilimitado de fornecedores; a possibilidade de modelar todos os cenários de decisão possíveis através das regras de decisão; a quantificação da incerteza das informações por meio da representação e do processamento de valores em formato linguístico. Além disso, o uso dos indicadores de desempenho do SCOR[®] incorpora ao modelo uma linguagem padrão que possibilita a comparação dos valores de desempenho com organizações inseridas em outras cadeias de suprimento usando a base de *benchmarking* global *SCORmark*.

Pesquisas futuras podem integrar essa metodologia à avaliação de desempenho de cadeias de suprimento e realizar *benchmarking* usando os dados da base *SCORmark*. Estudos futuros também podem usar a técnica de inferência *fuzzy* para avaliar os resultados alcançados por programas de desenvolvimento de fornecedores e por iniciativas de redução de custo.

Agradecimentos

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento desta pesquisa.

Referências

- ALTROCK, C.V. *Fuzzy Logic and Neurofuzzy - Applications in Business and Finance*. 1 ed. Prentice Hall: New Jersey, 1995.
- AKMAN, G.. *Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods*. *Computers & Industrial Engineering*, v. 86, p. 69-82, 2014.
- AKSOY, A.; OZTÜRK, N. *Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments*. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 6351-6359, 2011.
- ARAZ, C; IREM, O. *Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure*. *International Journal of Production Economics*, v. 106, p. 585-606, 2007.
- BAI, C., SARKIS, J. *Evaluating supplier development programs with a grey based rough set methodology*. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 11, p. 13505-13517, 2011.
- BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J. *Operations management research methodologies using quantitative modeling*. *International Journal of Operations and Production Management*, 22, 241-264, 2002.
- DE BOER, L., LABRO, E., MORLACCHI, P. *A review of methods supporting supplier selection*. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v.7, n. 2, p. 75-89, 2001.
- DOU, Y.; ZHU, Q.; SARKIS, J. *Evaluating green supplier development programs with a grey-analytical network process-based methodology*. *European Journal of Operational Research*, v. 233, p. 420-431, 2014.
- GANGA, G. M. D.; CARPINETTI, L. C. R. *A fuzzy logic approach to supply chain performance management*. *International Journal of Production Economics*, v. 132, p. 177-187, 2011.
- GONZÁLEZ, M. E. et al. *Determining the importance of supplier selection process in manufacturing: a case study*. *Journal of Physical Distribution & logistics Management*, v. 34, p. 492-504, 2004.
- HO, L; FENG, S; LEE, Y; YEN, T. *Using modified IPA to evaluate supplier's performance: Multiple regression analysis and DEMATEL approach*. *Expert Systems with Applications*, v. 39, p. 7102-7109, 2012.
- HSU, C.W, KUO, R.J., CHIOU, C.Y. *A multi-criteria decision-making approach for evaluating carbon performance of suppliers in the electronics industry*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 11, n. 3, p. 775-784, 2014.
- LEE, D. M., DRAKE, P. *A portfolio model for component purchasing strategy and the case study of two South Korean elevator manufacturers*. *Int.Journal of Production Research*, v. 48, p. 6651-6682, 2010.
- LIMA JUNIOR, F. R; CERVI, A. F. C; CARPINETTI, L. C. R. *Uma metodologia multicritério baseada em inferência fuzzy para classificação ABC de estoques*. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 6, p. 343-366, 2014.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. *Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte*. *Gestão & Produção*, v. 20, p. 781-801, 2013.
- LIOU, J. J. H.; CHUANG, Y.; TZENG, G. *A fuzzy integral-based model for supplier evaluation and improvement*. *Information Sciences*, v. 266, p. 199-217, 2014.
- MAMDANI, E.H.; ASSILIAN, S. *An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller*. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 7, n. 1-13, 1975.
- OMURCA, S. I. *An intelligent supplier evaluation, selection and development system*. *Applied Soft Computing*, v. 13, p. 690-697, 2013.
- OSIRO, L.; LIMA JUNIOR, F. R., CARPINETTI, L. C. R. *A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development*. *International Journal of Production Economics*, v. 153, p. 95-112, 2014.
- PARK, J., SHIN, D., CHANG, T.W., PARK, J. *An integrative framework for supplier relationship management*. *Industrial Management & Data System*, v. 110, n. 4, p. 495-515, 2010.
- REZAEI, J.; ORTT, R. *Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy relations based AHP*. *European Journal of Operational Research*, v. 225, p. 75-84, 2013.
- SAHU, N. K.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. *Green supplier appraisalment in fuzzy environment*. *Benchmarking: An International Journal*, v. 21, p. 412-429, 2014.
- SARKAR, A.; MOHAPATRA, P. K. J. *Evaluation of supplier capability and performance: a method for supply base reduction*. *Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 12, p. 148-163, 2006.
- SCC. *Supply Chain Operations Reference Model SCOR®*. 11 ed. Supply Chain Council, 2012.
- ZEYDAN, M.; ÇOLPAN, C.; ÇOLBANOGLU, C. *A combined methodology for supplier selection and performance evaluation*. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 2741-2751, 2011.
- ZIMMERMANN, H.J. *Fuzzy set theory and its applications*. 1 ed. Massachussets: Kluwer Academic, 1991.