



# Uma metodologia baseada no modelo SCOR® e em inferência *fuzzy* para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores

***A methodology based on fuzzy inference and SCOR® model for supplier performance evaluation***

Francisco Rodrigues Lima Junior<sup>1</sup>  
Giovani Mantovani Roza Carvalho<sup>2</sup>  
Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti<sup>1</sup>

**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. Além disso, a maioria das abordagens existentes apresentam algumas limitações devido ao uso de técnicas inadequadas. Diante disso, este estudo propõe uma nova metodologia de apoio à avaliação de desempenho de fornecedores, desenvolvida a partir da combinação de sistemas de inferência *fuzzy* com alguns 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 com desempenho similar e indicar diretrizes adequadas para o gerenciamento de cada grupo de fornecedores. Visando demonstrar o processo de modelagem e uso, bem como avaliar a adequabilidade da proposta, foi realizada uma aplicação piloto que envolveu a avaliação de 10 fornecedores de uma empresa do setor automotivo. Quatro sistemas de inferência *fuzzy* foram implementados usando MATLAB® e parametrizados de acordo com os julgamentos de dois funcionários da empresa. Também foi realizada uma análise de sensibilidade para verificar a consistência dos resultados fornecidos por esses sistemas. Os resultados obtidos reforçam a adequação da metodologia proposta e das parametrizações realizadas durante a implementação. Quando comparada com as metodologias de avaliação de fornecedores encontradas na literatura, esta abordagem apresenta vantagens como o apontamento de diretrizes para a gestão da base de fornecedores, a possibilidade de integração com a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento, a capacidade de avaliar simultaneamente uma quantidade não limitada de fornecedores, a representação e o processamento de informações em formato linguístico e o mapeamento e armazenagem interna de todos os cenários de decisão do problema por meio de regras de inferência facilmente interpretáveis.

**Palavras-chave:** Avaliação de fornecedores; Desenvolvimento de fornecedores; Modelo SCOR®; Inferência *fuzzy*; Lógica *fuzzy*.

**Abstract:** *In the academic literature, supplier selection and evaluation have been addressed as a decision-making problem in which a set of suppliers is assessed 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. Furthermore, most of the existing approaches have some limitations due to the use of inadequate techniques. Thus this study proposes a new methodology to support the assessment of supplier performance, developed from the combination of fuzzy inference systems with some performance indicators of the 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 with similar performance and identify guidelines for the management of each supplier group. To demonstrate the*

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, Parque Arnold Shimidt, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, e-mail: eng.franciscojunior@gmail.com; carpinet@sc.usp.br

<sup>2</sup> Engenharia de Produção e Qualidade, Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé – UNIFEG, Avenida Dona Floriana, 463, Centro, CEP 37800-000, Guaxupé, MG, Brasil, e-mail: gmantovani@outlook.com

Recebido em Set. 13, 2015 - Aceito em Fev. 24, 2016

Supporte financeiro: CAPES e CNPq.

*modeling process and use, and also to evaluate the suitability of this proposal, a pilot application involving the evaluation of 10 suppliers of a company in the automotive sector was conducted. Four fuzzy inference systems were implemented using MATLAB® and parameterized according to the judgments of two employees of the company. A sensitivity analysis was performed to verify the consistency of the results yielded by these systems. The results support the suitability of the proposed methodology and the parameterization performed during implementation. When compared with the methodologies for the assessment of suppliers in the literature, this approach presents advantages such as the appointment of guidelines for the management of the supplier base; the possibility of integration with the supply chain performance evaluation; the ability to assess simultaneously a non-limited amount of suppliers, the representation and processing of information in a linguistic format, and the mapping and internal storage of all decision scenarios of the problem.*

**Keywords:** *Supplier evaluation; Supplier development; SCOR® model; Fuzzy inference; Fuzzy logic.*

## 1 Introdução

A gestão de abastecimento de produtos e serviços em organizações industriais se configura como uma atividade-chave para a gestão da cadeia de suprimento. Lee & Drake (2010) apontam 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 dos fornecedores afeta 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 de fornecedores é fundamental para garantir um bom funcionamento da cadeia de suprimento e para atender aos requisitos do cliente final.

A avaliação de desempenho 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 contratação, quando o objetivo passa a ser o monitoramento periódico do desempenho da base 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 (Sarkar & Mohapatra, 2006; Osiro et al., 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 metodologias quantitativas voltadas para o apoio à etapa de seleção de fornecedores (De Boer et al., 2001; Wu & Barnes, 2011; Lima et al., 2013, 2014a; Chai et al., 2013), a avaliação de desempenho visando ao desenvolvimento de fornecedores ainda é pouco

explorada. Além disso, a maioria das metodologias existentes na literatura apresentam limitações decorrentes do uso de técnicas inadequadas aos requisitos do problema. Outro complicador é que essas metodologias propõem a adoção de critérios similares àqueles usados na seleção de fornecedores (Aksoy & Öztürk, 2011; Rezaei & Ortt, 2013). Todavia, como o desempenho da empresa foco de uma cadeia de suprimento é dependente do desempenho de seus fornecedores, é desejável que os critérios usados na avaliação do desempenho de fornecedores estejam alinhados com os critérios de avaliação de cadeias de suprimento para possibilitar a integração entre elas.

Uma abordagem largamente adotada para a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento consiste no modelo de referência SCOR® (*Supply Chain Operations Reference*). Esse modelo propõe uma hierarquia de indicadores de desempenho relacionados à confiabilidade (*reliability*), responsividade (*responsiveness*), agilidade (*agility*), custo (*cost*) e gestão de ativos (*asset management*). Um dos diferenciais da adoção desses indicadores é que estes possibilitam que uma empresa foco compare o seu desempenho com o de outras organizações inseridas em cadeias de suprimento por meio do uso da base de *benchmarking* global SCORmark (SCC, 2012). Contudo, como nenhuma das metodologias de avaliação de desempenho de fornecedores encontradas na literatura utiliza os indicadores do SCOR®, estas não permitem integrar a avaliação de fornecedores à avaliação de desempenho de cadeias de suprimento nem fazer *benchmarking* em nível global.

Neste contexto, este estudo propõe uma nova metodologia de apoio à avaliação de desempenho de fornecedores baseada na combinação de sistemas de inferência *fuzzy* com os indicadores do modelo SCOR® voltados para a gestão de fornecedores. Por meio de um procedimento de classificação baseado em uma matriz bidimensional, cada fornecedor é categorizado de acordo com o desempenho alcançado em operações e em custo. De acordo com o resultado da categorização, são sugeridas ações a serem tomadas para a manutenção de relacionamento com o fornecedor, para a melhoria do desempenho das operações, para a redução de custos ou para a

substituição do fornecedor. Visando demonstrar o processo de modelagem e uso, bem como avaliar a adequabilidade da proposta, foi realizada uma aplicação piloto que envolveu a avaliação de 10 fornecedores de uma empresa do setor automotivo. Além disso, uma análise de sensibilidade utilizando gráficos de superfície foi feita para verificar a consistência dos resultados fornecidos pelos modelos computacionais.

Quanto à estrutura do artigo, a Seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre avaliação de fornecedores, modelo SCOR® e inferência *fuzzy*. A Seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados. A Seção 4 apresenta a metodologia proposta para apoiar a avaliação de fornecedores, o caso de aplicação e a análise de sensibilidade. Por último, a Seção 5 apresenta a conclusão e sugestões para pesquisa futuras.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 Gestão de abastecimento

Conforme representa a Figura 1, Park et al. (2010) estruturam as atividades de gestão de abastecimento como um processo que envolve 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. Depois da 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 et al., 2001; Wu & Barnes, 2011).

Depois da 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 estratégicos. Tais práticas colaborativas incluem o

desenvolvimento conjunto de produtos, 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, o gerenciamento de estoque pelo fornecedor por meio da consignação de mercadorias e o planejamento, previsão e reabastecimento colaborativos (Sarkar & Mohapatra, 2006; 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 (Sarkar & Mohapatra, 2006). 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 et al., 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 usados na avaliação de desempenho de fornecedores

O Quadro 1 apresenta uma lista de estudos que propõem metodologias de apoio à avaliação de desempenho para o desenvolvimento de fornecedores. Entre as técnicas utilizadas, incluem-se métodos multicritério, como AHP, ANP, PROMETHE e DEMATEL, e 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 et al., 2013). Tais abordagens combinadas se dão a partir da hibridização de técnicas diferentes para formar uma nova técnica ou por meio da aplicação sequenciada de técnicas diferentes em um mesmo problema.

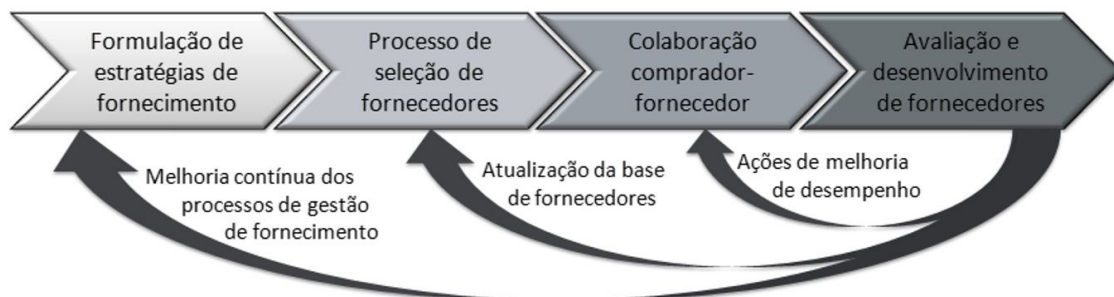


Figura 1. Framework para gestão abastecimento. Fonte: Park et al. (2010).

**Quadro 1.** Técnicas usadas na avaliação de desempenho para o desenvolvimento de fornecedores.

Abordagem	Proposto por	Técnica(s)	Escopo
Método Simples	Sarkar & Mohapatra (2006)	Comparação de números <i>fuzzy</i>	Avaliação da capacidade e do desempenho do fornecedor
	Araz & Ozkarahan (2007)	PROMETHEE ( <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i> )	Sistema de gestão e avaliação de fornecedores para abastecimento estratégico
	Lee et al. (2009)	ANP ( <i>Analytic Network Process</i> )	Avaliação do relacionamento entre comprador e fornecedor
	Park et al. (2010)	AHP ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> )	Gerenciamento de relacionamento com fornecedores
	Bai & Sarkis (2011)	<i>Rough set theory</i>	Avaliação de programas para desenvolvimento de fornecedores sustentáveis
	Aksoy & Öztürk (2011)	Redes neurais artificiais	Seleção e avaliação de desempenho de fornecedores em ambientes de produção <i>just-in-time</i>
	Sahu et al. (2014)	Números <i>fuzzy</i> trapezoidais	Avaliação de fornecedores sustentáveis em ambiente <i>fuzzy</i>
	Osiro et al. (2014)	Inferência <i>fuzzy</i>	Avaliação de fornecedores conforme o tipo de item comprado
Método combinado	Shirinfar & Haleh (2011)	<i>Fuzzy ANP, fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) e fuzzy PROMETHEE</i>	Avaliação de fornecedores e alocação de pedidos
	Zeydan et al. (2011)	<i>Fuzzy AHP, fuzzy TOPSIS e DEA (Análise Envolvória de Dados)</i>	Metodologia combinada para seleção e avaliação de fornecedores
	Ho et al. (2012)	Análise de regressão múltipla e DEMATEL	Avaliação da qualidade de fornecedores
	Hsu et al. (2014)	ANP e VIKOR ( <i>Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i> )	Avaliação do desempenho de fornecedores da indústria de eletrônicos em relação à emissão de gás carbônico
	Omurca (2013)	<i>Fuzzy c-means</i> combinado com <i>rough set theory</i>	Seleção, avaliação e desenvolvimento de fornecedores
	Rezaei & Ortt (2013)	<i>Fuzzy AHP</i>	Segmentação de fornecedores baseada em múltiplos critérios
	Liou et al. (2014)	Integral <i>fuzzy</i> combinada com uma versão do ANP baseada em DEMATEL	Avaliação e melhoria de desempenho de fornecedores considerando a interdependência entre critérios
	Akman (2014)	<i>Fuzzy c-means</i> combinado e VIKOR	Avaliação para a inclusão de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis
	Dou et al. (2014)	<i>Grey ANP</i>	Avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis

Fonte: Autor.

Um dos requisitos para a escolha de uma técnica adequada à avaliação de fornecedores é que esta deve permitir as atualizações do sistema de avaliação, como a inclusão e a exclusão de critérios e de fornecedores, sem gerar inconsistências nos resultados (Lima et al., 2014a). Contudo, as metodologias baseadas nas técnicas AHP (Park et al., 2010), ANP (Hsu et al., 2014; Liou et al., 2014), *fuzzy* AHP (Zeydan et al., 2011; Rezaei & Ortt, 2013), *fuzzy* ANP (Shirinfar & Haleh, 2011) e *grey* ANP (Dou et al., 2014) 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 abordagens baseadas em DEMATEL (Ho et al., 2012) e em comparações entre números *fuzzy* (Sarkar & Mohapatra, 2006). Já as metodologias baseadas em redes neurais artificiais (Aksoy & Öztürk, 2011) dificultam a



avaliação de fornecedores por requererem demasiados dados históricos de desempenho para o ajuste dos parâmetros internos dos modelos computacionais. Desta forma, verifica-se que a maioria das abordagens encontradas na literatura para apoiar a avaliação para o desenvolvimento de fornecedores não é plenamente apropriada a este domínio de 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. Os critérios de avaliação de fornecedores consideram fatores relacionados ao desempenho em qualidade, entrega, custo, aspectos ambientais, risco, potencial para colaboração, entre outros. Conforme mostra o Quadro 2, na maioria dos estudos os critérios são agrupados em dimensões de desempenho, que representam as perspectivas consideradas na avaliação.

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. Exemplos deste tipo de método de classificação são apresentados em Sarkar & Mohapatra (2006), Ho et al. (2012) Rezaei & Ortt (2013) e em Osiro et al. (2014). Outra abordagem utilizada consiste em uma ordenação geral dos fornecedores considerando simultaneamente todos os critérios 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 de Liou et al. (2014) e Sahu et al. (2014).

Uma limitação que afeta todas as metodologias de avaliação para o desenvolvimento de fornecedores analisadas por este estudo é a falta de alinhamento com a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento. Uma vez que a avaliação de desempenho de uma cadeia de suprimento engloba aspectos relacionados ao desempenho da empresa foco e de seus clientes e fornecedores-chave, é desejável que o sistema de avaliação de fornecedores utilizado 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. A seção do SCOR® voltada para a gestão

**Quadro 2.** Dimensões e critérios usados na avaliação para o desenvolvimento de fornecedores.

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

Fonte: Autor.

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 o Quadro 3, a hierarquia é composta por cinco atributos de desempenho referentes à confiabilidade (*reliability*), à responsividade (*responsiveness*), à agilidade (*agility*), aos custos (*cost*) e à gestão de ativos (*asset management*) (Ganga & Carpinetti, 2011; 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 representa 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 dos níveis 1 e 2. Optou-se por não traduzir a nomenclatura destas métricas (em inglês) para evitar distorções nos significados.

Uma das principais vantagens de usar os indicadores do SCOR® refere-se à possibilidade de uma organização comparar seu desempenho e

de sua(s) cadeia(s) imediata(s) em relação a outras cadeias para estabelecer metas realísticas e auxiliar no direcionamento estratégico. O SCOR® provê suporte ao *benchmarking* global entre cadeias de suprimento por meio de uma base de dados *online* denominada *SCORmark*, que contém dados históricos de mais de 1.000 empresas e 2.000 cadeias de suprimento. Para facilitar o *benchmarking*, o *SCORmark* 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 do total de cadeias avaliadas; *advantage*, que é o desempenho do ponto médio entre as empresas *Top 10*, e a mediana de todas as cadeias avaliadas; e *parity*, que é o desempenho mediano de todas as cadeias avaliadas (SCC, 2012; Ganga & Carpinetti, 2011).

Uma vez que o SCOR® é composto por uma grande variedade de indicadores, o monitoramento simultâneo de todos estes 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 o monitoramento dos processos que são críticos para a operação da cadeia. O SCOR® também sugere que alguns de seus indicadores sejam usados na avaliação de desempenho de fornecedores, bem como na avaliação de risco e no *benchmarking* (SCC, 2012). Todavia, analisando

Quadro 3. Atributos de desempenho do modelo SCOR®.

<i>Reliability</i>	Refere-se 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).

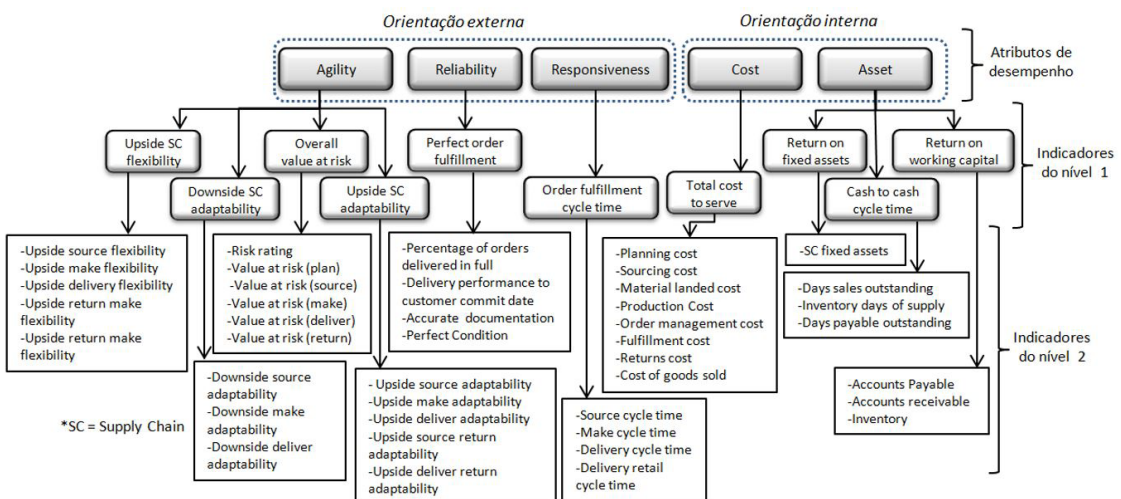


Figura 2. Métricas propostas pela versão 11 do modelo SCOR®. Baseado em SCC (2012).

os estudos encontrados na literatura, nota-se que todas as metodologias quantitativas baseadas nos indicadores do SCOR® estão voltadas para apoiar a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento (Ganga & Carpinetti, 2011; Agami et al., 2014).

## 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  $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0.0, 1.0]$ , 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  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ , 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  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  (Zimmermann, 1991; Pedrycz & Gomide, 2007).

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

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 pelo comportamento de  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  e permite a quantificação da imprecisão associada a uma dada informação. Conforme ilustra a Figura 3, os vértices de um número triangular são representados por  $l, m$  e  $u$ , sendo  $l < m < u$ . No caso de um número trapezoidal, conforme a Figura 4, usam-se os vértices  $a, m, n$  e  $b$ , sendo  $a < m < n < b$  (Lima et al., 2014b).

Em problemas de tomada de decisão, números fuzzy podem ser usados para representar julgamentos imprecisos, como “aproximadamente 6”, ou para modelar valores linguísticos como “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, conforme exemplifica a Figura 5 (Lima et al., 2014b; Osiro et al., 2014).

### 2.4.2 Sistema de inferência fuzzy proposto por Mamdani & Assilian (1975)

A combinação de alguns recursos da teoria dos conjuntos fuzzy em uma estrutura lógica constitui um sistema de inferência fuzzy (*Fuzzy Inference System*, FIS). O primeiro FIS foi proposto por Mamdani & Assilian (1975) e sofreu algumas modificações desde a versão original. Como pode ser visto na Figura 6, a

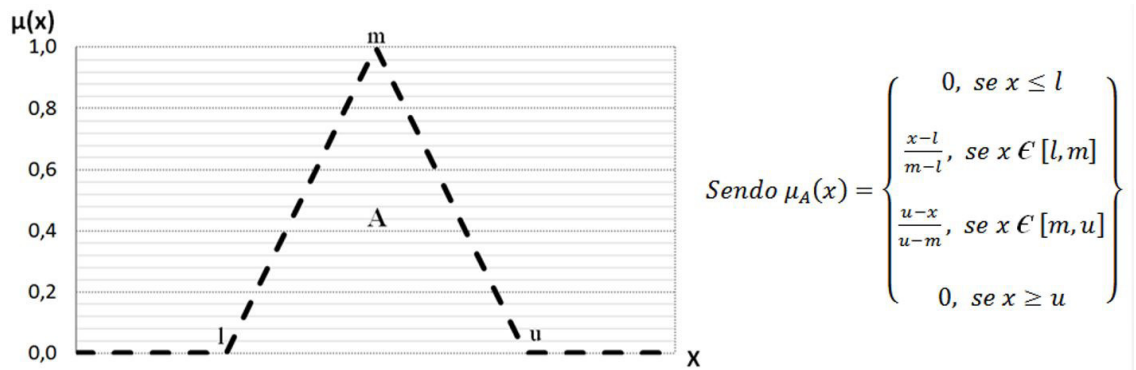


Figura 3. Número fuzzy triangular. Fonte: Lima et al. (2014a).

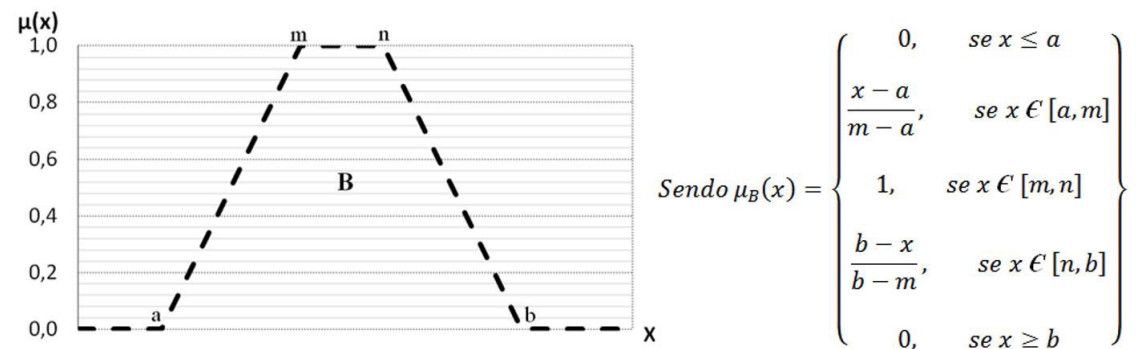


Figura 4. Número fuzzy trapezoidal. Fonte: Lima et al. (2014b).

estrutura do FIS proposto por Mamdani & Assilian (1975) é constituída por cinco elementos principais: interface de fuzificação, base de regras, mecanismo de inferência, base de dados e interface de defuzificação.

Quando um conjunto de valores numéricos de entrada é apresentado a um FIS, o processo de fuzificação converte cada valor em uma ou mais partições *fuzzy*. Em problemas de tomada de decisão e de avaliação de desempenho, geralmente tais partições correspondem a termos linguísticos (Osiro et al., 2014). 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 6,0 pertence de fato ao conjunto dos valores altos e simultaneamente pertence ao conjunto dos valores médios.

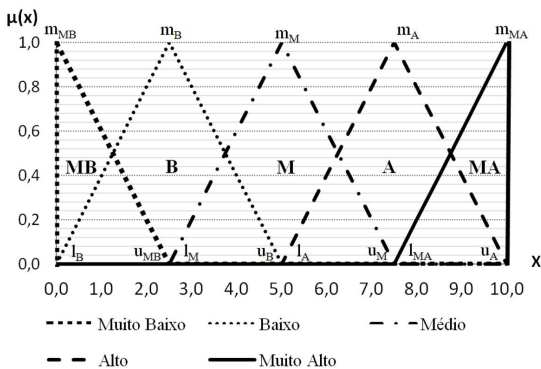


Figura 5. Exemplo de escala de valores linguísticos. Fonte: Lima et al. (2014b).

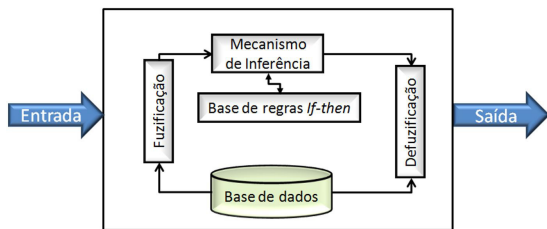


Figura 6. Estrutura do sistema de inferência proposto Mamdani & Assilian (1975). Fonte: Osiro et al. (2014).

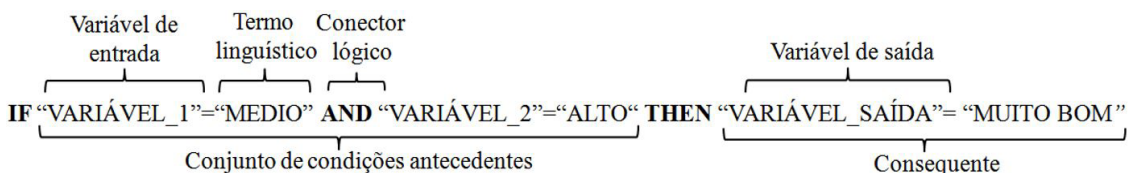


Figura 7. Exemplo de regra de inferência. Fonte: Lima et al. (2014b).

Depois da 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, é definido 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 em face das condições antecedentes apresentadas. Os conjuntos *fuzzy* resultantes do processamento das 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; Pedrycz & Gomide, 2007; Osiro et al., 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 (Pedrycz & Gomide, 2007; Osiro et al., 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 podem ser usados nesta etapa. A saída de cada regra é determinada a partir de um operador de composição de relação, que utiliza 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 ( $\mu_{R_i}(x)$ ) devem ser agregadas em um único conjunto *fuzzy* utilizando um operador de agregação, tal como o operador “maximum”, representado na Equação 5 (Lima et al., 2014b; Osiro et al., 2014).

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

$$AG(.) = \max \{ \mu_{R_1}(x), \mu_{R_2}(x), \dots, \mu_{R_m}(x) \} \quad (5)$$

Para gerar a saída final do FIS, a interface de defuzzificação converte o valor *fuzzy* resultante da agregação das regras ativadas para um valor *crisp*. O operador centro de área é amplamente usado na defuzzificação 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 (Altrock, 1995). O operador de defuzzificação centro de área é mostrado na Equação 6, na qual  $n$  é o número de pontos de discretização do conjunto *fuzzy*  $\tilde{A}$  (Osiro et al., 2014). Visando sintetizar as etapas de funcionamento do FIS proposto por Mamdani & Assilian (1975), o Quadro 4 resume os passos algoritmos apresentados.

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

### 3 Procedimentos metodológicos

Seguindo a classificação proposta por Bertrand & Fransoo (2002), esta pesquisa é caracterizada como quantitativa descritiva baseada em modelagem e simulação. Nesse tipo de pesquisa, utilizam-se modelos quantitativos baseados em um conjunto de variáveis que representam um domínio de problema específico e possuem relacionamentos causais e quantitativos entre si. Seguindo as definições propostas por Pidd (2004), as simulações realizadas neste estudo são caracterizadas como discretas, estáticas e determinísticas. Quanto às etapas componentes da pesquisa, esta está organizada como segue:

- i. **Pesquisa bibliográfica:** A pesquisa bibliográfica forneceu embasamento teórico para concepção, modelagem e aplicação da metodologia proposta por este estudo. Esta etapa envolveu a análise

de artigos sobre avaliação de fornecedores e inferência *fuzzy*, bem como o estudo da seção sobre medição de desempenho do modelo SCOR® (SCC, 2012);

- ii. **Modelagem e simulação:** Para a construção dos sistemas computacionais, utilizou-se a ferramenta *fuzzy toolbox* do *software* MATLAB®. Quatro sistemas de inferência foram desenvolvidos e parametrizados usando a opinião de funcionários de uma empresa do setor automotivo. Tais especialistas também forneceram julgamentos sobre o desempenho de um conjunto de fornecedores em relação aos critérios de avaliação adotados. Estes valores foram usados na realização de uma aplicação piloto da metodologia proposta;
- iii. **Análise de sensibilidade:** Para verificar a consistência dos resultados fornecidos pelos sistemas de inferência, foi feita uma análise de sensibilidade dos quatro sistemas por meio da análise de um conjunto de gráficos de superfície de resposta. Essa análise também permitiu identificar os critérios de avaliação com maior importância relativa (ou peso).

### 4 Metodologia proposta para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores

Conforme ilustra a Figura 8, a metodologia proposta por este estudo para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores é composta por três etapas. Na etapa 1, o desempenho alcançado pelos fornecedores em relação à dimensão de desempenho “custo” é avaliado individualmente com base em três critérios. Na etapa 2, o objetivo é avaliar os mesmos fornecedores em relação à dimensão “desempenho das operações” com base na combinação entre oito critérios. Os critérios de avaliação adotados consistem em todos os indicadores de desempenho de nível 2 do SCOR® que são voltados para a gestão de fornecedores (SCC, 2012). O Quadro 5 descreve cada um desses

**Quadro 4.** Etapas algorítmicas do sistema de inferência proposto por Mamdani & Assilian (1975).

#### 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

Fonte: Autor.

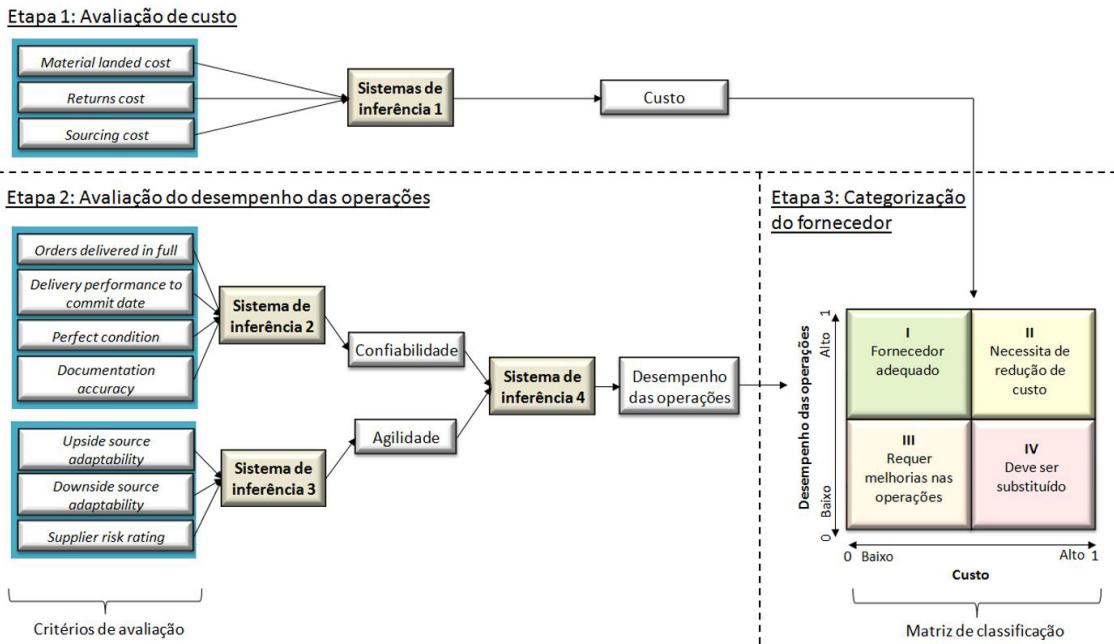


Figura 8. Metodologia proposta para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores. Fonte: Autor.

critérios e aponta o atributo a que cada critério está associado no SCOR®, as respectivas unidades de medição e os domínios de definição (universo de discurso) sugeridos.

Na etapa 3, os valores de desempenho alcançados pelos fornecedores nas etapas 1 e 2 são usados para categorizá-los em uma matriz bidimensional, na qual cada quadrante representa um grupo de fornecedores. A categorização de um fornecedor em um grupo específico sugere a adoção da diretriz de gestão indicada para aquele grupo.

A utilização da metodologia proposta requer a construção e a parametrização de quatro sistemas de inferência fuzzy (FIS). O FIS 1 é incumbido de calcular o desempenho alcançado por cada fornecedor na dimensão “custo” com base nas variáveis de entrada *material landed cost* ( $C_1$ ), *return cost* ( $C_2$ ) e *sourcing cost* ( $C_3$ ). O FIS 2 calcula o desempenho em “confiabilidade” a partir dos valores alcançados em *orders delivered in full* ( $C_4$ ), *delivery performance to commit date* ( $C_5$ ), *perfect condition* ( $C_6$ ) e *documentation accuracy* ( $C_7$ ). O FIS 3 calcula o desempenho em “agilidade” considerando *upside source adaptability* ( $C_8$ ), *downside source adaptability* ( $C_9$ ) e *supplier risk rating* ( $C_{10}$ ). O FIS 4 calcula o “desempenho das operações” do fornecedor com base nos valores de saída dos FIS 2 e 3.

A implementação computacional dos sistemas de inferência pode ser feita por um analista ou gestor que tenha domínio sobre a técnica inferência fuzzy. Durante a implementação computacional realizada neste estudo, com base em vários testes empíricos

feitos usando o software *MATLAB*®, foram escolhidos os seguintes operadores fuzzy: o operador “minimum” (Equação 2) é usado para operacionalizar o conectivo “AND” das regras de inferência e para gerar as relações de implicação entre os antecedentes e os consequentes das regras de inferência; o operador “max-min” (Equação 4) é utilizado para compor os relacionamentos entre as relações de implicação e os conjuntos singleton gerados na fuzificação; o operador “maximum” (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.

A parametrização dos sistemas de inferência deve ser feita com base na opinião de funcionários da empresa compradora que atuam nas áreas de logística, qualidade ou compras. O papel desses especialistas durante a parametrização consiste em: (1) auxiliar na escolha da quantidade de termos linguísticos usados para modelar cada variável; (2) ajudar a definir a morfologia e os valores numéricos de cada termo linguístico utilizado; (3) definir o termo linguístico consequente de cada uma das regras de inferência utilizadas. Tais ajustes devem ser feitos apenas durante a implementação da metodologia proposta. Durante o uso, é necessário apenas escolher os fornecedores a serem avaliados e estimar a pontuação destes em cada um dos critérios. Tais estimativas devem ser apresentadas aos FIS 1, 2 e 3. Como nesses sistemas o universo de discurso de todas as variáveis de entrada é definido no intervalo [0, 1], os valores das

**Quadro 5.** Detalhamento dos critérios de avaliação de fornecedores adotados neste estudo.

Dimensão de desemp.	Atributos no SCOR®	Crítérios de avaliação	Descrição	Unid.	Domínio
Custo	Cost (custo)	<i>Material landed cost (C<sub>1</sub>)</i>	Custos associados com a compra de materiais e a disponibilização no local de uso, incluindo preço de compra, fretes, seguros, impostos, taxas e custos de importação caso exista	\$	[1, 100.000]
		<i>Return cost (C<sub>2</sub>)</i>	Custo total de materiais retornados devido a erros de planejamento, de qualidade dos fornecedores, de produção, de gerenciamento de pedidos e de entrega	\$	[1, 100.000]
		<i>Sourcing cost (C<sub>3</sub>)</i>	Custos associados com o gerenciamento do pedido, recebimento, inspeção e armazenamento	\$	[1, 100.000]
Desempenho em operações	Reliability (confiabilidade)	<i>Orders delivered in full (C<sub>4</sub>)</i>	Percentual de pedidos recebidos em que todos os itens estão nas quantidades acordadas	%	[1, 100]
		<i>Delivery performance to commit date (C<sub>5</sub>)</i>	Percentual de pedidos entregues na data acordada	%	[1, 100]
		<i>Perfect condition (C<sub>6</sub>)</i>	Percentual de pedidos entregues dentro da especificação com pouca ou nenhuma avaria	%	[1, 100]
		<i>Documentation accuracy (C<sub>7</sub>)</i>	Percentual de pedidos entregues na data com documentação correta	%	[1, 100]
	Agility (agilidade)	<i>Upside source adaptability (C<sub>8</sub>)</i>	Refere-se ao percentual máximo de aumento nas quantidades de material adquiridas e recebidas que pode ser alcançado e sustentado por 30 dias	%	[1, 100]
		<i>Downside source adaptability (C<sub>9</sub>)</i>	Percentual de redução nas quantidades de matéria-prima que pode ser alcançado antes da entrega e sustentado por 30 dias, sem implicar penalidades de custo	%	[1, 100]
		<i>Supplier risk rating (C<sub>10</sub>)</i>	É a soma das probabilidades de eventos de risco que podem impactar os processos da cadeia ( <i>plan, source, make, deliver and return</i> ) vezes o impacto monetário desses eventos.	\$	[1, 100.000]

Fonte: Autor.

pontuações dos fornecedores devem ser ajustados usando a Equação 7.

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

Depois da computação dos sistemas de inferência, os valores de desempenho alcançados por cada fornecedor em relação às dimensões “custo” e “desempenho das operações”, calculados respectivamente pelos FIS 1 e 4, são usados em um procedimento de classificação. No caso da dimensão “custo”, se o valor do desempenho for menor que 0,5, este será considerado “alto”. Caso esteja situado no intervalo [0,5, 1,0], será classificado como “baixo”. Quanto à dimensão “desempenho das operações”, se o desempenho for menor que 0,5, será considerado “baixo”. Já um valor de desempenho contido no intervalo [0,5, 1,0] será classificado como

“alto”. Conforme ilustra a Figura 8, a combinação dessas classificações usando uma matriz bidimensional possibilita a categorização dos fornecedores em quatro grupos. De acordo com o resultado da categorização, devem ser desenvolvidos planos de ação com base nas seguintes diretrizes (Sarkar & Mohapatra, 2006; Osiro et al., 2014):

- **Grupo I:** Uma vez que o desempenho das operações é alto e o custo é baixo, conclui-se que o fornecedor vem atendendo às expectativas do comprador. Diante disso, os esforços devem ser voltados para a manutenção do relacionamento entre o comprador e o fornecedor. Os fornecedores deste grupo também podem ser desenvolvidos

objetivando a criação de parcerias colaborativas para o codesenvolvimento de itens críticos;

- **Grupo II:** Como o desempenho das operações é alto, mas o custo também é alto, sugere-se a adoção de programas de redução de custos. Para isso, os seguintes passos podem ser adotados: (1) identificação dos critérios relacionados a custo nos quais o fornecedor apresenta subdesempenho; (2) identificação das causas dos altos custos por meio da análise dos processos usando mapa de fluxo de valor e mapeamento de custos; (3) negociação de metas de redução de custo em relação a cada critério; (4) criação, implantação e monitoramento de planos de ação objetivando a redução de custo nos processos críticos;
- **Grupo III:** Embora o custo seja baixo, o desempenho das operações também é baixo, o que indica que o fornecedor necessita de melhorias em suas operações. Diante disso, as seguintes ações são sugeridas: (1) identificação dos critérios que requerem melhorias em seus resultados; (2) investigação dos processos críticos relacionados a esses critérios e das causas do subdesempenho; (3) desenvolvimento, implantação e monitoramento de programas visando à melhoria contínua dos processos críticos para os resultados das operações;
- **Grupo IV:** Como o fornecedor apresenta níveis de desempenho insatisfatórios em ambas as dimensões de desempenho, a adoção de programas de desenvolvimento não se mostra viável. Por isso, recomenda-se a seleção de um fornecedor substituto.

#### 4.1 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 no Quadro 5. Esses também forneceram julgamentos para auxiliar na parametrização das variáveis *fuzzy* e das regras de inferência. Com base em Altrock (1995) e Lima et al. (2014b), foram definidos três termos linguísticos para modelar cada variável de entrada e cinco termos para cada variável de saída. Seguindo o estudo de Ganga & Carpinetti (2011), foram utilizados números *fuzzy*

triangulares e trapezoidais. A Tabela 1 apresenta os termos linguísticos, as morfologias e os parâmetros numéricos adotados para modelar as funções de pertinência das variáveis de entrada dos FIS 1, 2, 3 e 4. Já a Tabela 2 detalha as funções de pertinência usadas nas variáveis de saída.

O consequente de cada regra de inferência foi definido segundo os julgamentos fornecidos pelos funcionários da empresa. Como a quantidade de regras de inferência presentes nos FIS 1, 2, 3 e 4 é de, respectivamente, 27, 81, 27 e 25, foi necessário o ajuste de 160 regras. O Quadro 6 apresenta algumas das regras do FIS 1 parametrizadas. Depois da construção e da parametrização dos quatro sistemas, foram estimadas as pontuações de 10 fornecedores da empresa em relação aos nove critérios. Os valores destas pontuações foram normalizados usando a Equação 7, resultando nos valores mostrados na Tabela 3.

A partir da apresentação dos valores da Tabela 3 aos sistemas de inferência 1, 2 e 3, foram calculados os valores de desempenho de cada um dos fornecedores avaliados. A Tabela 4 apresenta os valores de desempenho obtidos por meio do processo de inferência. A Figura 9 ilustra o processo de inferência do FIS 1 para o fornecedor  $F_j$ . Nessa figura, cada linha representa uma regra de decisão do FIS 1. As três primeiras colunas à esquerda se referem às variáveis de entrada e seus respectivos termos linguísticos, enquanto a quarta 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 0,52, 0,36 e 0,40, são ativadas as regras 11, 14, 20 e 23. 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 ao valor 0,513.

Os valores alcançados pelos fornecedores nas dimensões “custo” e “desempenho das operações” foram usados para categorizá-los de acordo com os procedimentos da etapa 3. A Tabela 5 apresenta os resultados da categorização e as ações recomendadas para cada fornecedor. A Figura 10 ilustra esses resultados na matriz de classificação. Os fornecedores  $F_2$ ,  $F_4$ ,  $F_6$ ,  $F_7$ ,  $F_9$  e  $F_{10}$  foram classificados no grupo I. Como estes vêm atendendo às expectativas do comprador em relação às duas dimensões de desempenho, o comprador deve manter o relacionamento com eles e considerá-los como parceiros prioritários durante o desenvolvimento de novos produtos. O fornecedor  $F_1$  foi classificado no grupo II, pois alcançou um bom desempenho em operações mas apresentou custos elevados. Neste caso, podem ser elaborados planos



Tabela 1. Funções de pertinência usadas nas variáveis de entrada dos FIS 1, 2, 3 e 4.

Variáveis de entrada	Sistema de inferência <i>fuzzy</i> 1																			
	“Bom” Triangular				“Regular” Triangular				“Ruim” Trapezoidal											
	a	m	n	u	l	m	u	a	a	m	n	b								
C <sub>1</sub>	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,45	0,90	0,50	0,90	1,00	1,00	1,00								
C <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,40	0,80	0,50	0,80	1,00	1,00	1,00								
C <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,45	0,90	0,50	0,90	1,00	1,00	1,00								
Variáveis de entrada	Sistema de inferência <i>fuzzy</i> 2																			
	“Ruim” Trapezoidal				“Regular” Triangular				“Bom” Trapezoidal											
	a	m	n	b	l	m	u	a	a	m	n	b								
C <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,20	0,50	0,20	0,50	0,80	0,50	0,80	1,00	1,00	1,00								
C <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,10	0,50	0,10	0,50	0,90	0,50	0,90	1,00	1,00	1,00								
C <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,10	0,40	0,10	0,50	0,90	0,60	0,90	1,00	1,00	1,00								
C <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,10	0,40	0,10	0,50	0,90	0,60	0,90	1,00	1,00	1,00								
Variáveis de entrada	Sistema de inferência <i>fuzzy</i> 3																			
	“Ruim” Trapezoidal				“Regular” Triangular				“Bom” Trapezoidal											
	a	m	n	b	l	m	u	a	a	m	n	b								
C <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,10	0,50	0,10	0,50	0,90	0,50	0,90	1,00	1,00	1,00								
C <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,05	0,50	0,05	0,45	0,90	0,50	0,90	1,00	1,00	1,00								
C <sub>10</sub>	0,50	0,80	1,00	1,00	0,20	0,50	0,80	0,00	0,00	0,20	0,50	0,50								
Variáveis de entrada	Sistema de inferência <i>fuzzy</i> 4																			
	“Péssimo” Trapezoidal				“Ruim” Triangular				“Regular” Trapezoidal				“Bom” Triangular				“Ótimo” Triangular			
	a	m	n	b	l	m	u	a	a	m	n	b	l	m	u	a	a	m	n	u
Confiabilidade	0,00	0,00	0,10	0,30	0,10	0,30	0,50	0,30	0,50	0,60	0,80	0,80	0,60	0,80	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Agilidade	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,30	0,50	0,30	0,50	0,70	0,70	0,70	0,50	0,70	0,90	0,70	0,90	1,00	1,00	1,00

Fonte: Autor.

Tabela 2. Funções de pertinência usadas nas variáveis de saída dos FIS 1, 2, 3 e 4.

Variável de saída	Sistema de inferência fuzzy 1								
	“Ótimo” Triangular		“Bom” Triangular		“Ruim” Triangular		“Péssimo” Triangular		
Custo	l	u	l	u	l	u	l	u	
	0,00	0,20	0,10	0,25	0,40	0,50	0,70	0,80	1,00
	0,00	0,20	0,10	0,25	0,40	0,50	0,70	0,80	1,00
Variável de saída	Sistema de inferência fuzzy 2								
	“Péssimo” Trapezoidal		“Ruim” Triangular		“Bom” Triangular		“Ótimo” Triangular		
Confiabilidade	a	n	b	l	u	a	l	u	
	0,00	0,10	0,30	0,10	0,30	0,50	0,60	0,80	1,00
	0,00	0,10	0,30	0,10	0,30	0,50	0,60	0,80	1,00
Variável de saída	Sistema de inferência fuzzy 3								
	“Péssimo” Triangular		“Ruim” Triangular		“Bom” Triangular		“Ótimo” Trapezoidal		
Agilidade	l	u	l	u	l	u	l	u	
	0,00	0,30	0,00	0,30	0,50	0,70	0,50	0,90	1,00
	0,00	0,30	0,00	0,30	0,50	0,70	0,50	0,90	1,00
Variável de saída	Sistema de inferência fuzzy 4								
	“Péssimo” Triangular		“Ruim” Triangular		“Bom” Trapezoidal		“Ótimo” Triangular		
Desempenho das operações	l	u	a	l	u	a	l	u	
	0,00	0,20	0,20	0,20	0,40	0,45	0,70	1,00	1,00
	0,00	0,20	0,20	0,40	0,45	0,70	0,45	0,70	1,00

Fonte: Autor.

**Quadro 6.** Regras de inferência do FIS 1.

Regra	SE			ENTÃO
	<i>Material landed cost</i>	<i>Return cost</i>	<i>Sourcing cost</i>	<i>Cost</i>
1	Bom	Bom	Bom	Ótimo
2	Bom	Bom	Regular	Bom
3	Bom	Bom	Ruim	Regular
4	Bom	Regular	Bom	Ótimo
5	Bom	Regular	Regular	Bom
6	Bom	Regular	Ruim	Regular
7	Bom	Ruim	Bom	Regular
8	Bom	Ruim	Regular	Regular
9	Bom	Ruim	Ruim	Ruim
10	Regular	Bom	Bom	Bom
11	Regular	Bom	Regular	Regular
12	Regular	Bom	Ruim	Ruim
13	Regular	Regular	Bom	Regular
14	Regular	Regular	Regular	Regular
15	Regular	Regular	Ruim	Ruim
16	Regular	Ruim	Bom	Regular
17	Regular	Ruim	Regular	Ruim
18	Regular	Ruim	Ruim	Péssimo
19	Ruim	Bom	Bom	Regular
20	Ruim	Bom	Regular	Ruim
21	Ruim	Bom	Ruim	Ruim
22	Ruim	Regular	Bom	Regular
23	Ruim	Regular	Regular	Ruim
24	Ruim	Regular	Ruim	Péssimo
25	Ruim	Ruim	Bom	Ruim
26	Ruim	Ruim	Regular	Péssimo
27	Ruim	Ruim	Ruim	Péssimo

Fonte: Autor.

**Tabela 3.** Pontuações normalizadas dos fornecedores.

Fornecedores	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
F <sub>1</sub>	0,52	0,36	0,40	0,80	0,55	0,92	1,00	0,60	0,40	0,78
F <sub>2</sub>	0,35	0,32	0,30	0,95	0,99	1,00	1,00	0,70	0,60	0,32
F <sub>3</sub>	0,88	0,75	0,40	1,00	0,22	0,60	0,90	0,90	1,00	0,55
F <sub>4</sub>	0,20	0,10	0,60	0,98	1,00	0,95	1,00	1,00	0,85	0,25
F <sub>5</sub>	0,48	0,30	0,35	0,72	0,50	0,90	0,70	0,70	0,30	0,95
F <sub>6</sub>	0,43	0,10	0,10	0,40	0,70	1,00	0,95	0,95	0,10	0,15
F <sub>7</sub>	0,10	0,12	0,20	0,84	0,25	0,75	1,00	1,00	0,50	0,60
F <sub>8</sub>	0,13	0,05	0,03	0,27	0,20	0,45	0,70	0,70	0,55	0,82
F <sub>9</sub>	0,26	0,12	0,10	0,68	0,75	0,82	0,52	0,52	0,80	0,05
F <sub>10</sub>	0,45	0,30	0,30	0,99	1,00	1,00	0,80	0,80	0,95	1,00

Fonte: Autor.

de ação visando identificar os fatores que contribuem para os altos custos por meio da análise de processos e atividades críticas.

Os fornecedores  $F_5$  e  $F_8$  apresentaram baixos custos, mas não atenderam às expectativas em relação ao

desempenho das operações. Portanto, foram classificados no grupo III. Para melhorar estes resultados, devem ser elaborados planos de ação visando à melhoria contínua dos processos críticos para a confiabilidade e/ou da agilidade do fornecedor. O fornecedor  $F_3$

**Tabela 4.** Valores de desempenho calculados pelos sistemas de inferência.

Fornecedores	FIS 1	FIS 2	FIS 3	FIS 4
F <sub>1</sub>	0,513	0,802	0,268	0,514
F <sub>2</sub>	0,457	0,937	0,658	0,817
F <sub>3</sub>	0,816	0,596	0,700	0,441
F <sub>4</sub>	0,480	0,937	0,841	0,834
F <sub>5</sub>	0,472	0,619	0,219	0,265
F <sub>6</sub>	0,320	0,800	0,500	0,717
F <sub>7</sub>	0,268	0,665	0,498	0,524
F <sub>8</sub>	0,207	0,407	0,218	0,233
F <sub>9</sub>	0,317	0,690	0,719	0,568
F <sub>10</sub>	0,448	0,937	0,553	0,772

Fonte: Autor.

**Tabela 5.** Resultado da categorização dos fornecedores avaliados e ações sugeridas.

Desempenho em custo	Classificação	Desempenho das operações	Classificação	Grupo	Diretriz sugerida	
F <sub>1</sub>	0,513	Alto	0,514	Alto	II	Necessita de redução de custos
F <sub>2</sub>	0,457	Baixo	0,817	Alto	I	Fornecedor adequado
F <sub>3</sub>	0,816	Alto	0,441	Baixo	IV	Deve ser substituído
F <sub>4</sub>	0,480	Baixo	0,834	Alto	I	Fornecedor adequado
F <sub>5</sub>	0,472	Baixo	0,265	Baixo	III	Requer melhorias nas operações
F <sub>6</sub>	0,320	Baixo	0,717	Alto	I	Fornecedor adequado
F <sub>7</sub>	0,268	Baixo	0,524	Alto	I	Fornecedor adequado
F <sub>8</sub>	0,207	Baixo	0,233	Baixo	III	Requer melhorias nas operações
F <sub>9</sub>	0,317	Baixo	0,568	Alto	I	Fornecedor adequado
F <sub>10</sub>	0,448	Baixo	0,772	Alto	I	Fornecedor adequado

Fonte: Autor.

apresenta um desempenho insatisfatório em ambas as dimensões de desempenho e foi classificado no grupo IV. Diante da alta quantidade de esforços e recursos requeridos para o desenvolvimento desse fornecedor, sugere-se a seleção de um substituto.

#### 4.2 Análise de sensibilidade

Uma análise de sensibilidade dos quatro sistemas de inferência foi feita usando gráficos de superfície de resposta. A análise das funções representadas nestes gráficos permite avaliar os efeitos de interação entre os critérios e a consistência da superfície de resposta do modelo computacional (Lima et al., 2014b). A Figura 11 apresenta alguns dos gráficos de superfície gerados durante a análise de sensibilidade. A Figura 11a mostra a superfície de resposta do FIS 1 gerada a partir da interação entre os critérios *return cost* e *sourcing cost*. A Figura 11b mostra a superfície de resposta do FIS 3 gerada pela interação entre *upside source adaptability* e *downside source adaptability*.

A Figura 4c mostra a superfície de resposta do FIS 2 criada pela interação entre *delivery performance to commit date* e *orders delivered fullfilment*. Já a Figura 4d mostra a superfície de resposta do FIS 4 determinada pela interação entre “agilidade” e “confiabilidade”.

Por meio da análise da Figura 11a, nota-se que o critério *return cost* tem maior peso que o critério *sourcing cost*, pois, enquanto o aumento de *return cost* conduz a uma elevação constante do valor do desempenho em relação à dimensão “custo”, o valor de *sourcing cost* só afeta a resposta do sistema quando é maior que 0,50. A Figura 4b mostra que os critérios *downside source adaptability* e *upside source adaptability* têm pesos semelhantes e contribuem de forma similar para o valor da pontuação final em “agilidade”. A Figura 4c mostra que os pesos de *delivery performance to commit date* e *orders delivered fullfilment* também são semelhantes. Também é possível notar que o valor de resposta do FIS 2 será altamente dependente dos demais critérios sempre que *delivery performance to commit date* ou



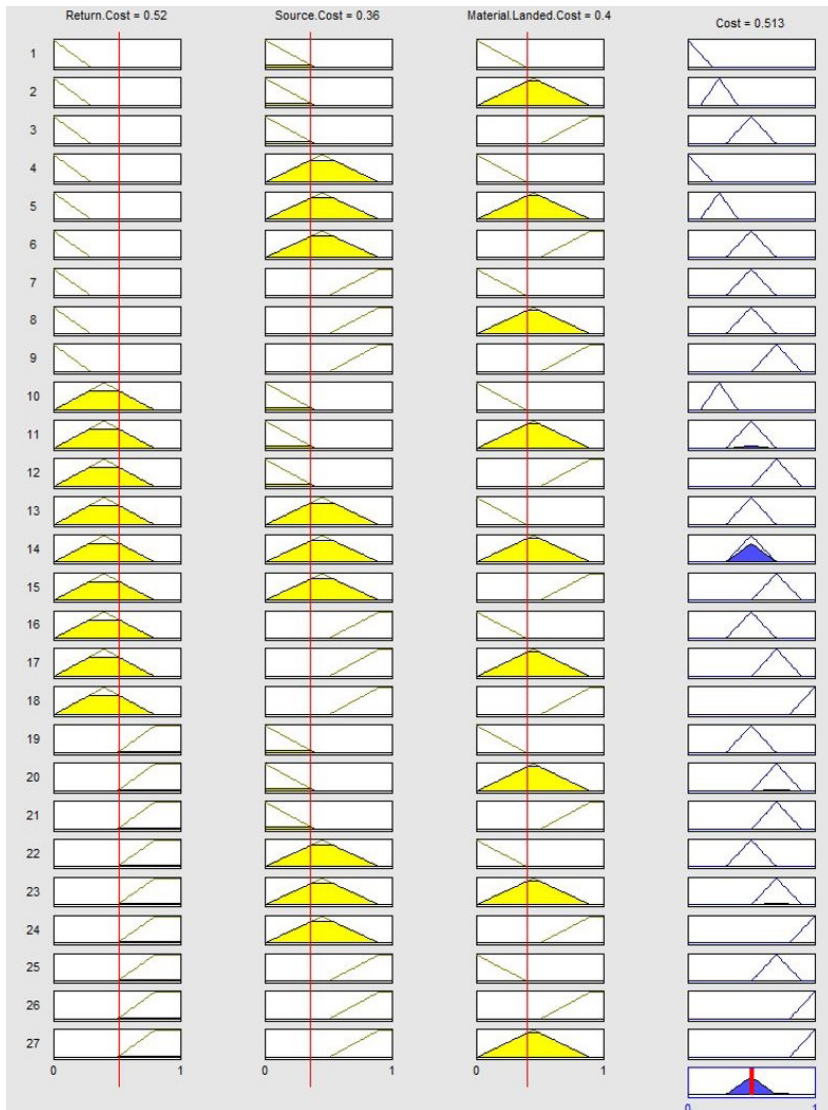


Figura 9. Processo de inferência do FIS 1 para o fornecedor 1. Fonte: Autor.

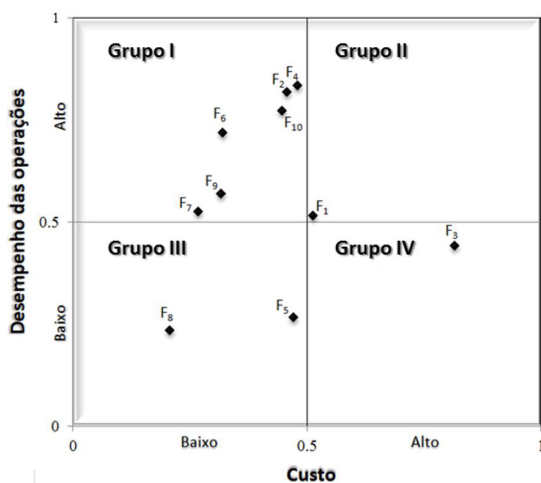


Figura 10. Categorização dos fornecedores avaliados. Fonte: Autor.

*orders delivered fullfilment* apresentar desempenho abaixo de 0,50. Já a análise da Figura 4d sugere que quando o desempenho de um fornecedor em relação à “agilidade” for próximo de zero, mesmo que este apresente “confiabilidade” ótima, o “desempenho das operações” será considerado muito baixo.

Os resultados da análise de sensibilidade mostram que todos os gráficos apresentam superfícies de resposta em formato de funções monótonas crescentes, indicando que o aumento de um valor em uma variável de entrada sempre produzirá um efeito positivo e não linear sobre a variável de saída. Uma vez que o comportamento dos resultados depende diretamente das escolhas feitas na parametrização dos sistemas de inferência, as superfícies de resposta obtidas reforçam a adequação dos operadores e dos valores *fuzzy* escolhidos, bem como a consistência dos valores de desempenho estimados para os fornecedores.

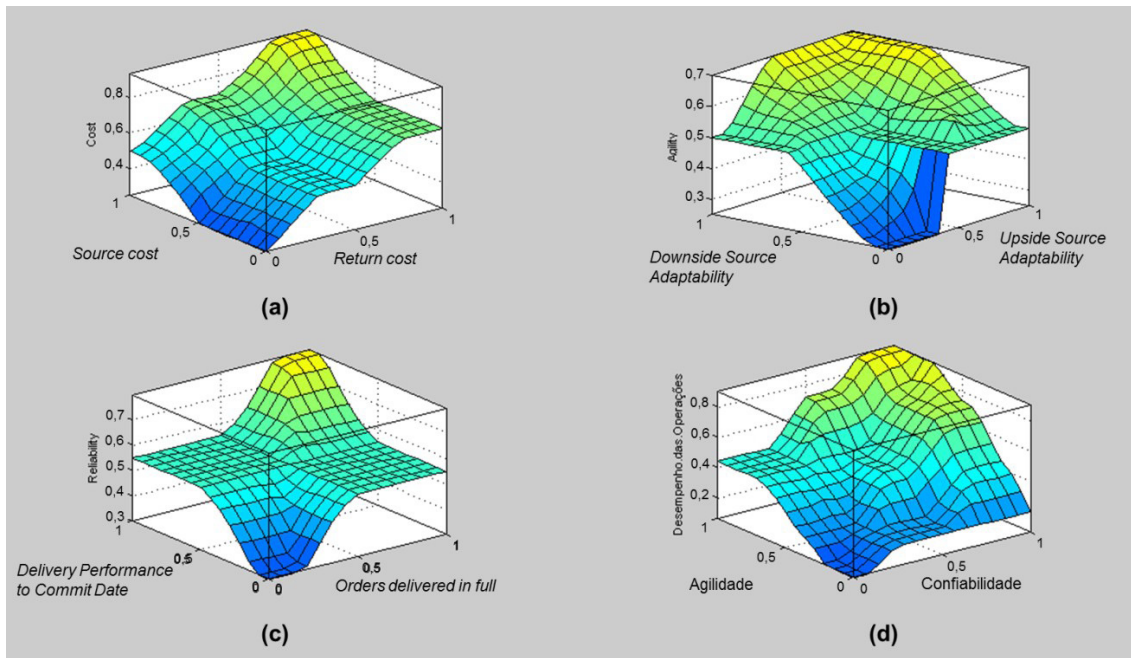


Figura 11. Gráficos de superfície de resposta dos FIS 1 (a), 3 (b), 2 (c) e 4 (d). Fonte: Autor.

## 5 Conclusão

Este estudo apresentou uma nova metodologia para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores, desenvolvida a partir da combinação entre indicadores do modelo SCOR® com sistemas de inferência *fuzzy*. A abordagem proposta permite avaliar fornecedores em aspectos relacionados ao desempenho das operações e a custos. Os resultados dessa avaliação são usados para agrupar os fornecedores que apresentam desempenho similar e indicar diretrizes para o gerenciamento da base de fornecedores. Quando comparada com outras metodologias existentes na literatura, a metodologia proposta apresenta como vantagens:

- i. **Indicação de diretrizes para a gestão da base de fornecedores:** Diferentemente dos estudos propostos por Bai & Sarkis (2011), Shirinfar & Haleh (2011), Zeydan et al. (2011), Hsu et al. (2014), Liou et al. (2014) e Sahu et al. (2014), este estudo utiliza um procedimento de categorização que permite identificar os fornecedores que necessitam de atenção ou que devem ser substituídos. Dependendo da categorização do fornecedor, são sugeridas ações como a criação de programas de redução de custo ou o desenvolvimento de programas visando à melhoria das operações;

- ii. **Alinhamento com a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento e possibilidade de realizar de *benchmarking*:** Por ser o primeiro estudo a adotar os indicadores do SCOR® na avaliação de desempenho de fornecedores, esta metodologia é a única que permite a integração direta dos resultados da avaliação de fornecedores com a avaliação de desempenho da cadeia de suprimento. Além disso, o uso dos indicadores do SCOR® incorpora à metodologia proposta uma linguagem padrão que possibilita que a empresa compradora compare seus níveis de desempenho com organizações inseridas em outras cadeias de suprimento usando a base de *benchmarking* global *SCORmark*;
- iii. **Capacidade de avaliar simultaneamente uma quantidade não limitada de fornecedores:** ao contrário das abordagens comparativas baseadas nas técnicas AHP (Park et al., 2010), *fuzzy* AHP (Rezaei & Ortt, 2013), ANP (Lee et al., 2009; Hsu et al., 2014), *fuzzy* ANP (Shirinfar & Haleh, 2011) e *grey* ANP (Dou et al., 2014), que permitem a avaliação simultânea de poucos fornecedores, o método proposto não limita a quantidade de fornecedores avaliados. Além disso, para avaliar o desempenho de  $n$  fornecedores em relação a um critério, enquanto as abordagens comparativas requerem  $n(n-1)$  julgamentos, a metodologia

proposta requer somente  $n$  julgamentos, o que contribui para tornar a coleta de dados e a avaliação de fornecedores mais ágeis;

**iv. Modelagem de informações aproximadas por meio da representação e do processamento de valores em formato linguístico:** o uso de

variáveis representadas por funções de pertinência *fuzzy* é especialmente útil para modelar critérios qualitativos ou difíceis de mensurar, bem como para quantificar a imprecisão associada à opinião dos tomadores de decisão envolvidos na avaliação de fornecedores. Técnicas como DEA (Zeydan et al., 2011) e redes neurais artificiais (Aksoy & Öztürk, 2011) utilizam valores numéricos *crisp* para representação dos dados, o que inviabiliza o uso de critérios qualitativos e não considera a imprecisão inerente aos valores obtidos a partir de julgamentos humanos;

**v. Mapeamento de todos os cenários de decisão possíveis por meio do uso de regras de decisão:** a base de regras de cada sistema

explicita todos os cenários possíveis para o problema modelado, o que permite “enxergar” as situações de avaliação de desempenho de diferentes perspectivas. O uso de uma base de regras parametrizável também permite aos tomadores de decisão definir intuitivamente os pesos dos critérios usados. Desta forma, ao contrário das técnicas multicritério tradicionais, os sistemas de inferência *fuzzy* permitem mapear o comportamento não linear das variáveis e armazená-lo internamente;

**vi. Interpretabilidade dos dados:** a base de regras e as variáveis são parametrizadas por meio de valores linguísticos facilmente interpretáveis, o que fornece ao tomador de decisão melhor compreensão do comportamento do problema modelado. Isso não é possível em abordagens baseadas em redes neurais (Aksoy & Öztürk, 2011), uma vez que tais modelos funcionam como uma caixa-preta que não possui interface com o usuário e armazenam o conhecimento sobre o problema usando um formato numérico não interpretável.

Algumas implicações para a implementação desta proposta em aplicações futuras são: (1) os universos de discurso sugeridos para cada critério devem ser ajustados de acordo com a realidade da empresa; (2) embora neste estudo tenham sido utilizadas 160 regras de inferência, os sistemas de inferência também podem ser implementados usando somente

as regras principais, reduzindo assim o esforço de implementação e parametrização; (3) na etapa 3, o limiar adotado para classificar o desempenho como “baixo” ou “alto” deve ser ajustado conforme o nível de exigência da empresa compradora. 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 e ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.

## Referências

- Agami, N., Saleh, M., & Rasmy, M. (2014). An innovative fuzzy logic based approach for supply chain performance management. *IEEE System Journal*, 8(2), 336-342. <http://dx.doi.org/10.1109/JSYST.2012.2219913>.
- Akman, G. (2014). Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 69-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.013>.
- Aksoy, A., & Öztürk, N. (2011). Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 6351-6359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.104>.
- Altrock, C. V. (1995). *Fuzzy Logic and Neurofuzzy* (Applications in Business and Finance, 1). New Jersey: Prentice Hall.
- Araz, C., & Ozkarahan, I. (2007). Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. *International Journal of Production Economics*, 106(2), 585-606. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.008>.
- Bai, C., & Sarkis, J. (2011). Evaluating supplier development programs with a grey based rough set methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13505-13517.
- Bertrand, J. W. M., & Fransoo, J. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 22, 241-264. <http://dx.doi.org/10.1108/01443570210414338>.
- Chai, J., Liu, J. N. K., & Ngai, E. W. T. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3872-3885. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.040>.
- De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European*

- Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), 75-89. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00028-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00028-9).
- Dou, Y., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2014). Evaluating green supplier development programs with a grey analytical network process-based methodology. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 420-431. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.004>.
- Ganga, G. M. D., & Carpinetti, L. C. R. (2011). A fuzzy logic approach to supply chain performance management. *International Journal of Production Economics*, 132(1), 177-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.06.011>.
- González, M. E., Quesada, G., & Monge, C. A. (2004). Determining the importance of supplier selection process in manufacturing: a case study. *Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(6), 492-504. <http://dx.doi.org/10.1108/09600030410548550>.
- Ho, L., Feng, S., Lee, Y., & Yen, T. (2012). Using modified IPA to evaluate supplier's performance: multiple regression analysis and DEMATEL approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7102-7109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.034>.
- Hsu, C. W., Kuo, R. J., & Chiou, C. Y. (2014). A multi-criteria decision making approach for evaluating carbon performance of suppliers in the electronics industry. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3), 775-784. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-013-0265-5>.
- Lee, A. H. I., Chang, H.-J., & Lin, C.-Y. (2009). An evaluation model of buyer-supplier relationships in high-tech industry: the case of an electronic components manufacturer in Taiwan. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1417-1430. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2009.07.012>.
- Lee, D. M., & Drake, P. (2010). A portfolio model for component purchasing strategy and the case study of two South Korean elevator manufacturers. *International Journal of Production Research*, 48(22), 6651-6682. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540902897780>.
- Lima, F. R., Jr., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2013). Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. *Gestão & Produção*, 20(4), 781-801. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000005>.
- Lima, F. R., Jr., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014a). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014>.
- Lima, F. R., Jr., Cervi, A. F. C. & Carpinetti, L. C. R. (2014b). Uma metodologia multicritério baseada em inferência fuzzy para classificação ABC de estoques. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 6(3), 343-366.
- Liou, J. J. H., Chuang, Y., & Tzeng, G. (2014). A fuzzy integral-based model for supplier evaluation and improvement. *Information Sciences*, 266, 199-217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2013.09.025>.
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. [http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2).
- Omurca, S. I. (2013). An intelligent supplier evaluation, selection and development system. *Applied Soft Computing*, 13(1), 690-697. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.08.008>.
- Osiro, L., Lima, F. R., Jr., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development. *International Journal of Production Economics*, 153, 95-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.009>.
- Park, J., Shin, D., Chang, T. W., & Park, J. (2010). An integrative framework for supplier relationship management. *Industrial Management & Data Systems*, 110(4), 495-515. <http://dx.doi.org/10.1108/02635571011038990>.
- Pedrycz, W., & Gomide, F. (2007). *Fuzzy systems engineering: towards human-centric computing*. New York: IEEE Press.
- Pidd, M. (2004). *Computer simulation in management science* (5. ed.). United Kingdom: Wiley & Sons.
- Rezaei, J., & Ortt, R. (2013). Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy relations based AHP. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 75-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.037>.
- Sahu, N. K., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2014). Green supplier appraisalment in fuzzy environment. Benchmarking, Jr. *International Journal*, 21, 412-429.
- Sarkar, A., & Mohapatra, P. K. J. (2006). Evaluation of supplier capability and performance: a method for supply base reduction. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(3), 148-163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2006.08.003>.
- Supply Chain Council – SCC. (2012). *Supply Chain Operations Reference Model SCOR®*, version 11. United States of America.
- Shirinfar, M., & Haleh, H. (2011). Supplier selection and evaluation by fuzzy multi-criteria decision making methodology. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 22(4), 271-280.
- Wu, C., & Barnes, D. (2011). A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 17(4), 256-274. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2011.09.002>.
- Zeydan, M., Çolpan, C., & Çobanoğlu, C. (2011). A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2741-2751. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.064>.
- Zimmermann, H. J. (1991). *Fuzzy set theory and its applications*. Massachusetts: Kluwer Academic.