

UM MODELO DE TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES EM CADEIAS DE SUPRIMENTO ÁGEIS

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

ANDRÉ FELIPE CORRÊA CERVI - afcervi@gmail.com
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

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

Resumo: *A SELEÇÃO DE FORNECEDORES CONDUZ A SITUAÇÕES DE TOMADA DE DECISÃO CUJOS RESULTADOS IMPACTAM FORTEMENTE NA QUALIDADE DOS PRODUTOS DA EMPRESA COMPRADORA, NO TEMPO DE ENTREGA E NO CUSTO DE MANUFATURA, SENDO PORTANTO UMA ATIVIDADE CRÍTICA PARA A GESTÃO DE DESEMPENHO DA EMPRESA COMPRADORA. NA LITERATURA ACADÊMICA, VÁRIOS MODELOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO SOB MÚLTIPLOS CRITÉRIOS SÃO PROPOSTOS PARA LIDAR COM A SELEÇÃO DE FORNECEDORES. CONTUDO, A MAIORIA DESSES ESTUDOS NÃO CONSIDERA A INFLUÊNCIA QUE O TIPO DE CADEIA DE SUPRIMENTO EXERCE SOBRE O PROCESSO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES. NESTE CONTEXTO, ESTE ESTUDO PROPÕE UM MODELO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES EM CADEIAS DE SUPRIMENTO ÁGEIS. O MODELO UTILIZA O MÉTODO AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS) PARA LIDAR COM A INCERTEZA INERENTE ÀS INFORMAÇÕES NESTE TIPO DE CADEIA E PERMITE A ADOÇÃO DE CRITÉRIOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS. O MODELO FOI APLICADO NA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE UMA EMPRESA DO SETOR DE ELETRO-ELETRÔNICOS CONSIDERANDO 5 CRITÉRIOS: QUALIDADE, VELOCIDADE, CUSTO DE AQUISIÇÃO, PERFIL DO FORNECEDOR E FLEXIBILIDADE. A APLICAÇÃO DESTA PROPOSTA E A COMPARAÇÃO COM UM ESTUDO ANTERIOR DEMONSTRAM A VIABILIDADE DE USO DO AHP NA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE EMPRESAS INSERIDAS EM CADEIAS ÁGEIS. A PARTIR DESTA PROPOSTA, SÃO FEITAS SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.*

Palavras-chaves: *SELEÇÃO DE FORNECEDORES; CADEIAS DE SUPRIMENTO ÁGEIS; MÉTODO AHP*

Área: *1 - GESTÃO DA PRODUÇÃO*

Sub-Área: *1.3 - LOGÍSTICA E GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS E DISTRIBUIÇÃO*

A DECISION MAKING MODEL FOR SUPPLIER SELECTION IN AGILE SUPPLY CHAINS

Abstract: *THE DECISION MAKING FOR SUPPLIER SELECTION HAS IMPACT ON THE QUALITY OF PRODUCTS, ON TIME DELIVERY AND COST OF MANUFACTURING. THEREFORE, SUPPLIER SELECTION IS A CRITICAL ACTIVITY FOR THE PURCHASING COMPANY PERFORMANCE MANAGEMENT. IN THE ACADEMIC LITERATURE, MANY APPROACHES BASED ON MULTICRITERIA DECISION MAKING METHODS ARE PROPOSED TO DEAL WITH SUPPLIER SELECTION. HOWEVER, MOST OF THESE STUDIES DID NOT CONSIDER THE INFLUENCE THAT THE TYPE OF SUPPLY CHAIN HAS ON THE SUPPLIER SELECTION. IN THIS CONTEXT, THIS STUDY PROPOSES A MODEL TO SUPPORT SUPPLIER SELECTION IN AGILE SUPPLY CHAINS. THE MODEL USES THE AHP METHOD (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS) TO DEAL WITH THE UNCERTAIN INFORMATION AND ALLOWS THE ADOPTION OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CRITERIA. THE PROPOSED WAS APPLIED IN THE SUPPLIER SELECTION OF A COMPANY IN THE ELECTRONICS CONSIDERING FIVE CRITERIA: QUALITY, SPEED, COST, VENDOR PROFILE AND FLEXIBILITY. THE APPLICATION CASE DEMONSTRATES THE FEASIBILITY OF AHP METHOD FOR SUPPLIER SELECTION IN AGILE SUPPLY CHAINS. SUGGESTIONS ARE MADE FOR FUTURE RESEARCH.*

Keyword: *SUPPLIER SELECTION, AGILE SUPPLY CHAIN; AHP METHOD.*

1. Introdução

No cenário econômico atual, cada vez mais organizações industriais necessitam responder a níveis crescentes de volatilidade na demanda para garantir sua sobrevivência e competitividade. Como esse ambiente é marcado pela demanda incerta e altos níveis de variedade, a organização precisa concentrar esforços para responder ao mercado em intervalos de tempo menores, tanto em termos de volume quanto de mudança de variedade. Nesse contexto, é imprescindível a existência de parceiros ágeis a montante e a jusante da empresa em questão (CHRISTOPHER, 2007; JAIN; BENYOUCEF; DESHMUKH, 2008).

Empresas inseridas em cadeias de suprimento ágeis fabricam produtos customizados, focam em recursos de capacidade e na redução de risco no abastecimento. Como a agilidade dos processos internos de uma organização pode ser comprometida caso seus fornecedores provoquem longos tempos de espera de abastecimento, é importante que cada fornecedor seja escolhido com base em sua responsividade, e não somente pelo baixo custo de aquisição (CHRISTOPHER, 2007). Neste sentido, a seleção de fornecedores se configura como uma atividade-chave para garantir a eficiência de cadeias de suprimento ágeis.

A seleção de fornecedores é uma atividade muito importante porque conduz a situações de tomada de decisão cujos resultados influenciam nos custos de produção, no tempo de entrega e na qualidade dos produtos e, conseqüentemente, afetam o desempenho da organização compradora (CASTRO; GOMES; FRANCO, 2009). Outro fator que contribui para a importância da seleção de fornecedores é a possibilidade de escolher fornecedores visando estabelecer relações colaborativas e de longo prazo, alcançando diversas vantagens competitivas (HA; PARK; CHO, 2011). Na literatura acadêmica, diversos métodos de apoio à tomada de decisão sob múltiplos critérios (*Multicriteria Making Decision* - MCDM) vêm sendo usados para apoiar as decisões relacionadas a esse problema (HO; XU; DEY, 2010).

Em situações práticas, as características de cada tipo de cadeia de suprimentos exercem forte influência na escolha dos critérios de seleção de fornecedores usados e também na importância relativa destes critérios. Por exemplo, em uma organização inserida em uma cadeia de suprimentos enxuta, em que foco está na redução de desperdícios e na redução de estoques com a finalidade de diminuir custos de produção, são priorizados critérios de seleção de fornecedores que busquem garantir alto desempenho em qualidade e redução de custos (CASTRO; GOMES; FRANCO, 2009; HAYES *et al.*, 2004).

Apesar da influência que as características das cadeias de suprimento exercem sobre a seleção de fornecedores, analisando os modelos MCDM para seleção de fornecedores encontrados na literatura, verifica-se que poucos estudos atentam para o tipo de cadeia de suprimento na qual a empresa compradora está inserida (LUO, 2009). Diante disso, este estudo propõe um modelo MCDM para seleção de fornecedores em cadeias de suprimento ágeis baseado no método AHP. Para demonstrar a viabilidade desta proposta, o modelo foi aplicado na seleção de fornecedores de uma empresa de uma montadora de computadores considerando os critérios qualidade, velocidade, custo de aquisição, perfil e flexibilidade.

Quanto à estrutura do artigo, a Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre seleção de fornecedores em cadeias de suprimentos ágeis e a Seção 3 foca em métodos MCDM para seleção de fornecedores. A Seção 4 descreve os procedimentos de pesquisa de adotados. A Seção 5 contempla a apresentação e aplicação do modelo, bem como a discussão dos resultados obtidos. Por último, a Seção 5 apresenta as conclusões deste estudo.

2. Cadeias de Suprimento Ágeis

Conforme ilustra a Figura 1, uma cadeia de suprimentos (*Supply Chain*) compreende todas as atividades associadas ao fluxo e à transformação de produtos, desde o estágio de matéria prima até o consumidor final (HANDFIELD; NICHOLS, 1999). A gestão da cadeia de suprimentos é definida como uma coordenação estratégica e sistêmica das funções de negócio tradicionais e de ações táticas numa companhia e através de seus negócios dentro da cadeia de valor, com o propósito de aprimorar o desempenho de longo prazo das companhias individualmente e da cadeia de suprimento como um todo (MENTZER et al., 2001).

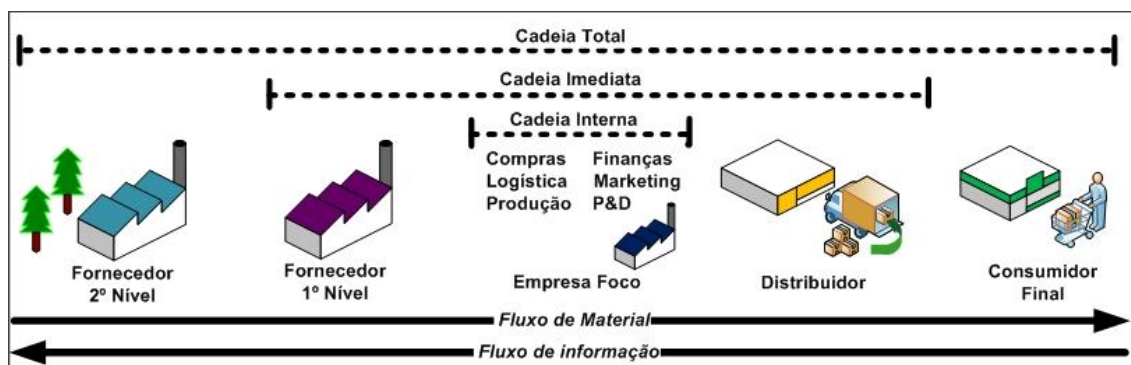


FIGURA 1 – Estrutura de uma cadeia de suprimentos

Um grande impulsionador das cadeias de suprimento ágeis é o crescente reconhecimento de que empresas individuais não mais competem como entidades isoladas, mas como uma rede de parceiros (WU; BARNES, 2011). Segundo Christopher (2007), cadeias de suprimento ágeis são sensíveis ao mercado, possuem processos alinhados e são baseadas em informação. Como são sensíveis ao mercado, as empresas inseridas em cadeias ágeis são capazes de interpretar e responder à demanda real. Alguns avanços em tecnologia da informação vem permitindo que a empresa receba informações sobre as reais exigências dos clientes ou captem a demanda diretamente do ponto-de-venda ou local de uso, o que aumenta a capacidade da organização em identificar a atender as necessidades do mercado.

Para que uma cadeia de suprimentos seja realmente ágil, é necessário alcançar alto nível de colaboração e sincronia. Com a adoção de práticas de estoque gerenciado pelo fornecedor, o comprador deixa de fazer pedidos e compartilha informações sobre vendas, níveis de uso e de consumo. Desta forma, o fornecedor estará mais bem capacitado para planejar e programar a aquisição de insumos, produzir e entregar o produto final (YUSUF et al., 2004; CHRISTOPHER, 2007). A seleção de fornecedores pode maximizar a chance de sucesso de relacionamentos colaborativos entre comprador e fornecedor, uma vez que permite fazer uma avaliação preliminar sobre o potencial dos fornecedores de estabelecer relações colaborativas visando a obtenção e compartilhamento de benefícios (HA; PARK; CHO, 2011).

2.1 Seleção de Fornecedores em Cadeias de Suprimentos Ágeis

Na literatura específica, o processo de seleção de fornecedores é descrito como uma sequência de etapas inter-relacionadas que envolvem diferentes situações de tomada de decisão, sendo elas: (1) definição do problema, (2) formulação dos critérios, (3) qualificação de fornecedores e (4) escolha final de fornecedores (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001; WU; BARNES, 2011). A primeira etapa consiste em definir o que se espera alcançar por meio da seleção de fornecedores (por exemplo, contratar fornecedor para novos produtos ou substituir fornecedor atual). Em seguida, na etapa de formulação dos critérios, é necessário

estabelecer um conjunto de critérios de seleção de fornecedores que expressem as necessidades operacionais e estratégicas do comprador. Na terceira etapa, selecionam-se os potenciais fornecedores capazes de atender a um conjunto de requisitos mínimos estabelecidos pelo comprador, diminuindo assim o número de alternativas a serem avaliadas na etapa posterior. Na escolha final, selecionam-se os fornecedores que melhor atendem às necessidades da empresa por meio de um ranqueamento, estabelecendo assim o quadro de fornecedores (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001).

Para conduzir o processo de seleção de fornecedores de modo racional e estruturado, as etapas “definição do problema” e “formulação de critérios” podem utilizar técnicas qualitativas como o QFD (*Quality Function Deployment*) e *brainstorming*. Já a qualificação de fornecedores e a seleção final requerem a adoção de técnicas quantitativas de apoio à tomada de decisão sob múltiplos critérios (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001).

Critérios de seleção de fornecedores são medidas usadas para avaliar o desempenho das alternativas de fornecimento durante a tomada de decisão para seleção de fornecedores. A literatura identifica dezenas desses critérios de natureza quantitativa e qualitativa. Além dos critérios tradicionalmente usados, como custo, qualidade e entrega, muitos estudos sugerem o uso de critérios que incorporem requisitos relacionados ao ambiente em que a decisão ocorre (CASTRO; GOMES; FRANCO, 2009; WU; BARNES, 2011). Em cadeias de suprimento ágeis, os critérios de seleção usados costumam estar relacionados às seguintes categorias:

i. Velocidade de resposta: Refere-se à habilidade do fornecedor de identificar mudanças e respondê-las rapidamente, seja de forma reativa ou proativa. Além de critérios qualitativos, como a habilidade do fornecedor introduzir um novo produto, podem ser adotados critérios quantitativos baseados no tempo, como tempo de ciclo, tempo de *setup*, tempo de processamento de pedido e outras medidas que incentivam práticas ágeis. (CHRISTOPHER, 2007; JAIN; BENYOUCEF; DESHMUKH, 2008);

ii. Alinhamento dos processos: Uma vez que cadeias de suprimentos ágeis são baseadas em informação, e não em estoque, a avaliação de fornecedores deve avaliar a conectividade entre as empresas por meio de sistemas comuns e de outros mecanismos de compartilhamento de informações visando a eficiência no planejamento, produção e entrega. Critérios como nível de serviço, práticas de gestão e estrutura para melhoria contínua também são relevantes para o alinhamento de processos. Dessa forma, essa avaliação estará voltada para o sistema de gestão e a estrutura de tecnologia da informação do fornecedor (YUSUF et al., 2004);

iii. Flexibilidade: Diz respeito à capacidade do fornecedor de aplicar diferentes soluções para alcançar os mesmos objetivos. Um fornecedor flexível deve responder satisfatoriamente a variações no tamanho de lotes, nas especificações dos produtos, nos prazos de entrega e nos processos de produção (JAIN; BENYOUCEF; DESHMUKH, 2008);

iv. Colaboração e confiança: A colaboração entre comprador e fornecedor resulta em baixos custos, alto desempenho logístico, agrega valor à cadeia em questão e aprimora o desempenho em serviços, criando assim benefícios para todas as partes (HA; PARK; CHO, 2011). A colaboração pode ocorrer por meio de práticas como o desenvolvimento conjunto de produtos da empresa compradora (*Early Supplier Involvement*), 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*) (JABBOUR; JABBOUR, 2009). Um relacionamento baseado em confiança é essencial para o sucesso da implementação de tais práticas colaborativas. Nesse sentido, critérios que avaliem o perfil do

fornecedor, seu potencial de comprometimento e compartilhamento de informações, sua reputação e poder financeiro são de grande relevância para a avaliação de fornecedores.

Apesar da gama de critérios qualitativos que podem ser considerados na seleção de fornecedores em cadeias ágeis, há situações práticas em que não há uma forma clara de quantificar aspectos intangíveis e por isso estes passam a ser de pouca importância para os gestores. Nesses casos, métodos MCDM para decisões sob incerteza são de grande utilidade.

3. Métodos Multicritério de apoio à Tomada de Decisão (métodos MCDM)

Métodos MCDM são importantes para abordar decisões difíceis em organizações, já que auxiliam os gestores em situações de incerteza, complexidade e objetivos conflitantes. A literatura identifica diversos métodos MCDM que podem ser utilizados em modelos simples ou modelos combinados. métodos estatísticos, técnicas de programação matemática e de inteligência artificial (IA) também vem sendo explorados para lidar com a seleção de fornecedores (HO; XU; DEY, 2010; WU; BARNES, 2011).

Dentre as diversas técnicas multicritério usadas na seleção de fornecedores, destacam-se os métodos Análise por Envoltório de Dados (DEA) (SAEN, 2010), Método de Análise Hierárquica (AHP) (HUDYMAČOVÁ et al., 2010), Método de Análise de Redes (ANP) (GENCER; GÜRPINAR, 2007) e métodos diversos de programação matemática, como por exemplo programação por metas e programação linear mista (SAWIK, 2011). Outras abordagens que vem sendo amplamente usadas são baseadas técnicas de inteligência artificial, como lógica *fuzzy* (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2012), redes neurais artificiais (LUO, 2009) e algoritmo genético (DAS; ROY; KAR, 2010). De modo geral, tais métodos se diferem por suas limitações, adequação ao contexto de uso e forma de abordagem das peculiaridades do problema (HO; XU; DEY, 2010). A escolha do método mais adequado depende de vários fatores, como a disponibilidade de informações, a quantidade e a natureza (quantitativa ou qualitativa) dos critérios adotados (DE BOER; WEGER; TELGEN, 1998).

De Boer, Pierangela e Morlacchi (2001) afirmam que a maioria dos métodos utilizados para seleção de fornecedores considera somente critérios quantitativos e isso pode afetar negativamente a composição da base de fornecedores. Chou, Shen e Chang (2007) alertam que a imprecisão é inerente à natureza de algumas informações relevantes no problema de seleção de fornecedores, tais como critérios qualitativos avaliados por meio da percepção humana e de julgamento. Neste sentido, abordagens que não possuem recursos para modelagem de incerteza não são capazes de apoiar efetivamente o processo para seleção de fornecedores. Algumas técnicas de IA e métodos MCDM como AHP e ANP teoricamente apresentam melhor desempenho na seleção de fornecedores por serem capazes de lidar com os fenômenos de incerteza inerentes a esse problema (HO; XU; DEY, 2010).

3.1 O Método AHP

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970 e é conhecido por ser um método compensatório capaz de priorizar alternativas mediante a consideração de múltiplos critérios em situações em que estes possuem natureza intuitiva, racional ou qualitativa. O AHP envolve muitos fatores intangíveis e por isso requer um controle racional e lógico por parte dos tomadores de decisão (SAATY, 2008).

No AHP a representação de um problema de decisão é feita em uma estrutura hierárquica de 3 níveis (“objetivo”, “critérios” e “alternativas”) com a finalidade de capturar os elementos básicos do problema e então derivar índices de escala para integrar as percepções e objetivos dentro de uma síntese. Em alguns casos, os critérios de decisão são

decompostos em um conjunto de atributos que também devem ser representados na hierarquia de decisão. Nessa estrutura, os elementos são comparados par a par com outros elementos e as comparações são utilizadas para deduzir julgamentos. A síntese dos julgamentos é obtida como um resultado da recomposição hierárquica com a finalidade de encontrar a melhor alternativa em relação ao objetivo do problema (HUDYMÁČOVÁ et al., 2010; SAATY, 2008). Para medir as preferências relativas dos tomadores de decisão durante a coleta de dados, Saaty (1980) propôs o uso de uma escala comparativa (conhecida como escala fundamental de Saaty), que varia entre os extremos 1 e 9.

Com base em Saaty (1980) e Saaty (2008), uma síntese do AHP é descrita a seguir:

i. Construir uma matriz de comparação para coletar o julgamentos dos tomadores de decisão (*decision makers* – DM) quanto ao peso de cada critério j ($j = 1, 2, \dots, m$). Caso os critérios estejam decompostos em atributos, estes devem ser comparados seguindo os mesmos procedimentos de comparação dos critérios. Esta comparação deve ser feita somente entre atributos de um mesmo *cluster* (conjunto de atributos que definem um critério);

ii. Construir m matrizes de comparação para determinar o desempenho de cada alternativa i ($i = 1, 2, \dots, n$);

iii. Verificar a consistência dos julgamentos comparativos coletados. Para isso, deve-se calcular um índice de consistência (CR) para cada matriz de julgamentos a partir da equação 1, em que λ é o autovalor máximo e n é a ordem da matriz de comparações. O índice de consistência dos julgamentos também considera um erro de coerência aleatória (RI), cujos valores são determinados de acordo com a ordem da matriz de comparações. Para que os julgamentos comparativos sejam consistentes, o valor de CR deve ser menor ou igual a 0,20;

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n-1) * RI} \quad (1)$$

iv. Após assegurar a consistência dos julgamentos, deve-se obter o vetor de preferências (autovetor W) de cada matriz comparativa por meio do cálculo do autovalor máximo, conforme ilustra a equação 2. Nesta expressão, D é uma matriz quadrada normalizada e λ é o autovalor máximo da matriz. Esse procedimento é usado para encontrar os valores referentes ao peso de cada critério (w_j) e o desempenho das alternativas em relação a cada critério (x_{ij}). Mais detalhes sobre esse procedimento são encontrados em Saaty (1980);

$$D * W = \lambda * W \quad (2)$$

v. A equação 3 é usada para calcular o desempenho global das alternativas.

$$G_i = \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} * w_j \quad (3)$$

vi. Por último, ordena-se o desempenho das alternativas final em ordem decrescente, estabelecendo assim um *ranking* de preferências. A normalização do *ranking* pode fornecer melhor visualização sobre o quão preferível é cada alternativa.

4. Procedimentos de Pesquisa

Os procedimentos metodológicos utilizados para condução deste estudo estão divididos em três etapas: pesquisa bibliográfica, modelagem computacional e pesquisa de campo.

Durante a pesquisa bibliográfica foram analisados livros e artigos sobre cadeias de suprimentos ágeis, seleção de fornecedores e métodos MCDM.

Um modelo de simulação baseado no método AHP foi desenvolvido usando o *software Expert Choice*. Seguindo as definições propostas por Pidd (2004), as simulações realizadas são caracterizadas como discretas, estáticas e determinísticas. A pesquisa de campo visou obter dados para alimentar o modelo e foi realizada em uma empresa de equipamentos eletro-eletrônicos. Questionários foram utilizados para coletar os julgamentos de dois funcionários da empresa quanto ao peso dos critérios e ao desempenho dos fornecedores avaliados. Mais detalhes sobre o desenvolvimento e a aplicação do modelo são apresentados a seguir.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1 Descrição do Modelo

O modelo proposto é capaz de apoiar a tomada de decisão para seleção de fornecedores em ambientes de incerteza considerando múltiplos critérios quantitativos e qualitativos. Por utilizar o método AHP, o modelo é especialmente útil para avaliar alternativas de abastecimento quando as informações sobre os fornecedores são imprecisas ou dependem da intuição e experiência dos especialistas envolvidos no problema. Desta forma, o modelo proposto possibilita: (1) Avaliar o quanto cada fornecedor satisfaz a cada critério de decisão; (2) Avaliar o peso dos critérios segundo sua contribuição para o objetivo do problema; (3) Obter um *ranking* de preferências globais, que evidencia as melhores alternativas de fornecimento considerando seu desempenho global. A Figura 3 ilustra a presente proposta.

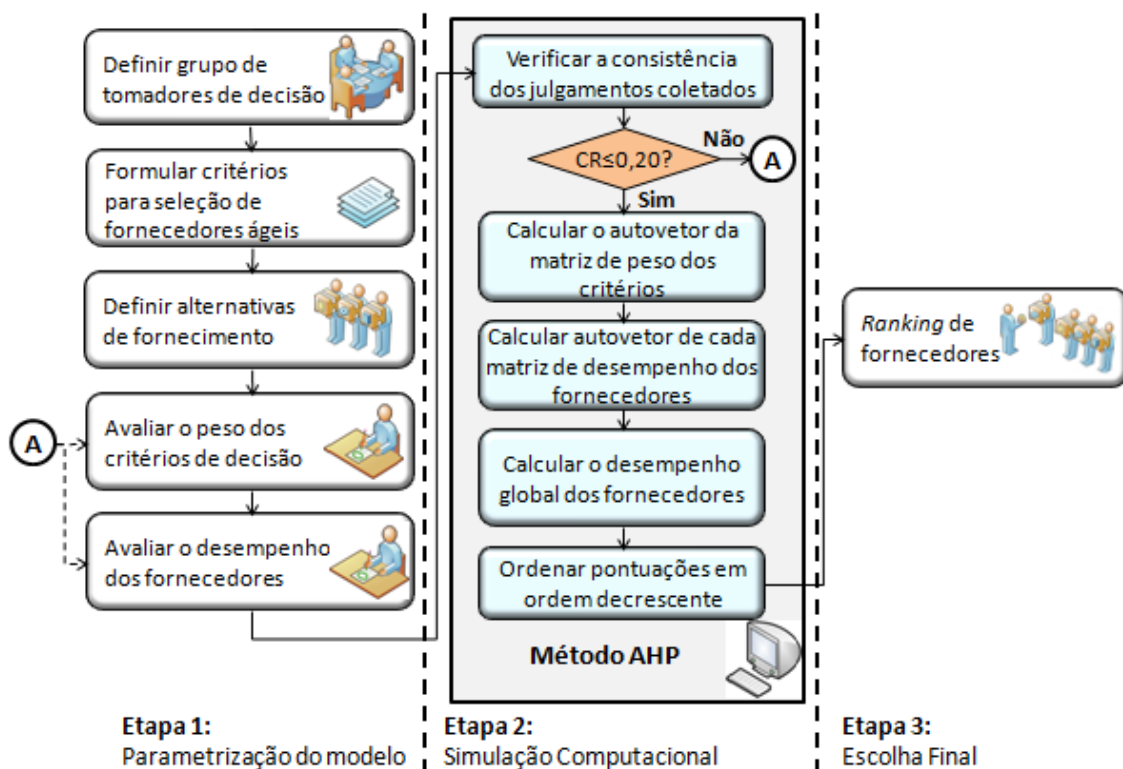


FIGURA 2 – Modelo proposto para seleção de fornecedores em cadeias de suprimento ágeis.

A etapa 1 foca na parametrização do modelo e se inicia com a escolha dos funcionários da empresa que atuarão como tomadores de decisão no processo de seleção de fornecedores. Esse grupo de tomadores de decisão deverá ser composto por representantes de áreas funcionais da empresa afetadas pela seleção de fornecedores, tendo como papel principal:

i. Formular critérios para seleção de fornecedores: Os critérios usados devem ser desdobrados a partir de requisitos operacionais da empresa e também de requisitos estratégicos, podendo estar relacionados ao desenvolvimento de parcerias colaborativas específicas. Considerando o ambiente de cadeia de suprimento ágil, devem ser contemplados requisitos relacionados não somente à eficiência do fornecedor, mas principalmente à sua eficácia segundo a perspectiva do comprador. Desta forma, requisitos relacionados à capacidade de resposta dos fornecedores, ao alinhamento dos processos e ao potencial para colaboração e compartilhamento de informações devem ser preferencialmente contemplados;

ii. Definir alternativas de abastecimento: Os potenciais fornecedores podem ser escolhidos usando bases de dados históricos da empresa compradora, consultas a *Internet* e a parceiros no mercado, ou ainda outras fontes de dados qualitativos ou quantitativos que estejam disponíveis. Nessa etapa, uma estratégia razoável consiste em escolher alternativas de abastecimento que já atendem clientes de cadeias ágeis, pois estes possuem maior chance de satisfazer os requisitos definidos na etapa anterior;

iii. Avaliar os elementos do problema: Os tomadores de decisão devem fornecer julgamentos comparativos que avaliem o desempenho dos fornecedores e o peso dos critérios. Além de sua intuição e experiência, o tomador de decisão pode utilizar do histórico do fornecedor (se houver), realizar consultas a parceiros no mercado ou contratar empresas de consultoria capazes de avaliar aspectos financeiros do fornecedor.

As informações coletadas na etapa 1 são usadas na etapa 2 para alimentar um modelo de simulação baseado no método AHP. O modelo de simulação pode ser desenvolvido em *softwares* específicos para o AHP, como o *Expert Choice*, ou ainda desenvolvidos em planilhas eletrônicas, como o *Microsoft Excel*. As informações geradas por meio da simulação fornecem um *ranking* de preferências das alternativas. Na etapa 3, cabe aos tomadores de decisão escolher um ou mais fornecedores segundo sua classificação no *ranking*. Escolher mais de um fornecedor pode ser necessário para minimizar riscos de interrupção de abastecimento, que são extremamente prejudiciais para eficiência de cadeias ágeis.

5.2 Aplicação em uma empresa do setor de eletro-eletrônicos

A empresa X atua como montadora de computadores no setor de eletro-eletrônicos há mais de 10 anos, comercializando computadores *desktop*, *notebooks* e acessórios de informática. Assim como outras empresas do mesmo setor, a maioria dos produtos possui um ciclo de vida curto (em média 1 a 2 anos) e por isso a empresa procura desenvolver novos produtos constantemente para lidar com a demanda volátil. Frequentemente, quando é desenvolvido um novo produto, é necessário contratar um ou mais fornecedores para suprir a necessidade de novos modelos de componentes eletrônicos, como *chips*, placas de circuito impresso, processadores, discos rígidos, entre outros.

A empresa X está lançando uma nova linha de computadores *desktop* e precisa selecionar um fornecedor de placas de circuito impresso dentre 5 alternativas de abastecimento especializadas nesse tipo de componente. Para avaliar as alternativas, um funcionário da função de compras e outro da qualidade adotaram 5 critérios, sendo estes:

- Qualidade (C_1): Refere-se à qualidade do produto e ao sistema de gestão da qualidade;
- Velocidade (C_2): Avalia o *leadtime*, o tempo estimado para o desenvolvimento conjunto do produto e a estrutura de tecnologia para troca de informações ágil;

• **Flexibilidade (C_3):** Refere-se à capacidade do fornecedor de atender satisfatoriamente a mudanças nas especificações de pedido, considerando, para isso, sua capacidade técnica e a facilidade de se negociar com o fornecedor;

• **Custo de aquisição (C_4):** Diz respeito ao preço do produto e outras despesas decorrentes da aquisição;

• **Perfil (C_5):** Avalia o potencial de colaboração do fornecedor, sua reputação de mercado do fornecedor e poder financeiro, bem como a experiência em transações anteriores.

A Figura 3 apresenta a hierarquia de decisão deste problema de seleção de fornecedores.

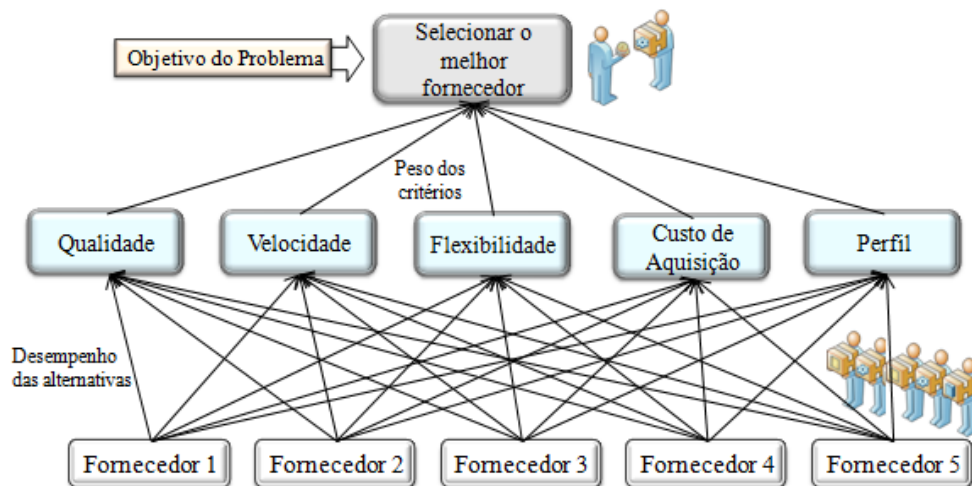


FIGURA 3 – Hierarquia de decisão para seleção de fornecedores em uma montadora de computadores.

Para avaliar o quanto os fornecedores atendem a cada critério e o quanto os critérios contribuem para o objetivo do problema, foi usada a escala mostrada no Quadro 1.

Pontuação numérica	Julgamento verbal correspondente
1	Igual Importância
3	Importância pequena de um sobre o outro
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande ou demonstrada
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários

QUADRO 1 – Escala fundamental de Saaty. Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A Tabela 1 corresponde aos julgamentos fornecidos pelos tomadores de decisão sobre o peso dos critérios de seleção de fornecedores adotados.

TABELA 1 - Julgamentos fornecidos pelo tomadores de decisão sobre o peso dos critérios

DM ₁						DM ₂					
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	1,0	1,0	1,0	3,0	1,0	C ₁	1,0	1,0	3,0	2,0	2,0
C ₂	1,0	1,0	1,0/2,0	1,0	2,0	C ₂	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0
C ₃	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	C ₃	1,0/3,0	1,0/2,0	1,0	3,0	3,0
C ₄	1,0/3,0	1,0	1,0/2,0	1,0	2,0	C ₄	1,0/2,0	1,0/3,0	1/3,0	1,0	3,0
C ₅	1,0	1,0/2,0	1,0	1,0/2,0	1,0	C ₅	1,0/2,0	1,0/3,0	1/3,0	1/3,0	1,0

Os valores do índice de consistência (CR) calculados para as matrizes da Tabela 1 usando a equação 1 foram iguais, com o valor de 0.09, o que atesta a consistência desses julgamentos. Posteriormente, os julgamentos dos dois tomadores de decisão foram agregados usando média aritmética, sendo o resultado mostrado na Tabela 2.

TABELA 2 – Julgamentos agregados referentes ao peso dos critérios

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	1,00	1,00	1,73	2,45	1,41
C ₂	1,00	1,00	1,00	1,73	2,45
C ₃	1,00/1,73	1,00	1,00	2,45	1,73
C ₄	1,00/2,45	1,00/2,45	1,00/2,45	1,00	2,45
C ₅	1,00/1,41	1,00/1,73	1,00/1,73	1,00/2,45	1,00

Usando a equação 2, calculou-se o autovetor da matriz de pesos dos critérios (ou o peso relativo dos critérios), mostrados na Tabela 3.

TABELA 3 – Peso relativo dos critérios de seleção de fornecedores adotados

C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
0,27	0,24	0,23	0,15	0,11

Após encontrar o peso de cada critério, iniciou-se o cálculo do desempenho relativo das alternativas em relação a cada critério. Analogamente ao passo anterior, calculou-se a consistência das matrizes referentes ao desempenho das alternativas em relação a cada critério segundo cada tomador de decisão. Novamente, os valores de *CR* sinalizaram a consistência dos julgamentos comparativos obtidos. Posteriormente, os julgamentos foram agregados utilizando média aritmética. O resultado dessa operação e o valor de *CR* obtido para cada matriz são mostrados na Tabela 4.

TABELA 4 – Índice de consistência das matrizes de desempenho dos fornecedores e julgamentos agregados

Valor de CR	Julgamentos agregados					
Qualidade (C ₁)		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
DM ₁ =0,11 DM ₂ =0,18	A ₁	1,00	1,00	1,00/3,87	1,00	1,00/1,73
	A ₂	1,00	1,00	1,29	1,00	2,23
	A ₃	3,87	1,00/1,29	1,00	1,00	1,00/1,73
	A ₄	1,00	1,00	1,00	1,00	1,58
	A ₅	1,73	1,00/2,23	1,73	1,00/1,58	1,00
Velocidade (C ₂)		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
DM ₁ =0,02 DM ₂ =0,08	A ₁	1,00	1,00/1,53	1,00	1,00/1,73	1,00
	A ₂	1,53	1,00	1,00	1,00/1,73	1,29
	A ₃	1,00	1,00	1,00	1,00	2,23
	A ₄	1,73	1,73	1,00	1,00	3,87
	A ₅	1,00	1,00/1,29	1,00/2,23	1,00/3,87	1,00
Flexibilidade (C ₃)		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
DM ₁ =0,00 DM ₂ =0,10	A ₁	1,00	2,24	1,00	1,73	1,00/1,73
	A ₂	1,00/2,24	1,00	1,00	1,00	1,00/1,73
	A ₃	1,00	1,00	1,00	1,73	1,00/2,24
	A ₄	1,00/1,73	1,00	1,00/1,73	1,00	1,00/1,73
	A ₅	1,73	1,73	2,24	1,73	1,00
Custo de aquisição (C ₄)		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
DM ₁ =0,10 DM ₂ =0,06	A ₁	1,00	1,00/1,73	3,00	1,00/1,73	1,00/3,87
	A ₂	1,73	1,00	2,65	1,00	1,00/1,29
	A ₃	1,00/3,00	1,00/2,65	1,00	1,00/1,73	1,00/3,00
	A ₄	1,73	1,00	1,73	1,00	1,00/3,00
	A ₅	3,87	1,29	3,00	3,00	1,00
Perfil (C ₅)		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
DM ₁ =0,07 DM ₂ =0,07	A ₁	1,00	1,29	1,00/1,73	1,00/1,73	1,00/1,73
	A ₂	1,00/1,29	1,00	1,00	1,00/1,73	1,00/1,73
	A ₃	1,73	1,00	1,00	1,00	1,00/1,73
	A ₄	1,73	1,73	1,00	1,00	1,00
	A ₅	1,73	1,73	1,73	1,00	1,00

O desempenho relativo das alternativas foi calculado utilizando a equação 2. Os resultados são mostrados na Tabela 5.

TABELA 5 – Desempenho relativo dos fornecedores em relação a cada critério

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	0,14	0,15	0,23	0,14	0,15
A ₂	0,24	0,19	0,15	0,22	0,15
A ₃	0,23	0,22	0,18	0,09	0,20
A ₄	0,20	0,31	0,14	0,18	0,24
A ₅	0,19	0,12	0,31	0,38	0,27

Usando a equação 3 e os dados obtidos nas Tabelas 4 e 6, calculou-se o desempenho global de cada uma das alternativas. A equação 4 detalha o cálculo do desempenho global para o caso do fornecedor A₁.

$$G_1 = (x_{11} * w_1) + (x_{12} * w_2) + (x_{13} * w_3) + (x_{14} * w_4) + (x_{15} * w_5) = (0,14 * 0,27) + (0,15 * 0,24) + (0,23 * 0,23) + (0,14 * 0,15) + (0,15 * 0,11) = 0,16 \quad (4)$$

Finalmente, o *ranking* de fornecedores foi obtido a partir da ordenação dos valores de G_i . De acordo com os resultados mostrados na Tabela 6, a ordem de preferência para escolha do melhor fornecedor é $A_5 > A_4 > A_3 = A_2 > A_1$. Portanto, A₅ é o melhor fornecedor de acordo com a avaliação realizada.

TABELA 6 – *Ranking* de fornecedores

Classificação	1º	2º	3º	4º
Fornecedores	A ₅	A ₄	A ₃ , A ₂	A ₁
Desempenho global (G ₁)	0,23	0,22	0,20	0,16
G ₁ normalizado	1,00	0,96	0,87	0,70

5.3 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos demonstram a adequação do método AHP para apoiar a seleção de fornecedores em cadeias de suprimento ágeis. O modelo proposto é especialmente útil para apoiar a ordenação de alternativas na etapa de escolha final do processo de seleção de fornecedores. Somente uma rodada de coleta de dados foi necessária para parametrizar o modelo, uma vez que os julgamentos comparativos coletados se mostraram consistentes. Embora somente dois especialistas tenham sido consultados na aplicação prática, a quantidade de tomadores de decisão que poderão ser envolvidos na seleção de fornecedores é ilimitada.

Os valores calculados para o peso dos critérios evidenciam a importância de aspectos relacionados à qualidade, velocidade e flexibilidade de fornecedores no ambiente de cadeias de suprimento ágeis. Embora a ordenação de alternativas aponte que A₅ é o melhor fornecedor avaliado, o desempenho global de A₅ e A₄ é bastante próximo. Diante da incerteza inerente à seleção de fornecedores em cadeias ágeis, uma estratégia possível é verificar qual dessas alternativas possui maior pontuação em relação ao critério de maior peso (ver Tabela 5). Usando essa abordagem, A₄ seria escolhido prioritariamente por possuir maior pontuação em relação à velocidade. Outra estratégia possível no caso de empates no *ranking* é desconsiderar o peso dos critérios no cálculo do desempenho global (equação 3). Nesse caso, A₅ seria escolhido.

Comparando esta proposta com o modelo de seleção de fornecedores em cadeias ágeis proposto por Luo (2009), que usa redes neurais de base radial, verificam-se as seguintes vantagens:

i. Modelagem de incerteza: O uso de comparações pareadas no AHP durante a coleta de julgamentos é um mecanismo que visa lidar com a imprecisão inerente à avaliação de fornecedores. Esta sistematização permite “enxergar” as alternativas de abastecimento de diferentes perspectivas de avaliação e construir estimativas de preferências relativas com base em poucas informações. Já as redes neurais de base radial utilizam valores numéricos absolutos como valores de entrada. Isso inviabiliza a adoção de critérios qualitativos nessas redes devido à dificuldade de quantificar fatores intangíveis usando valores absolutos;

ii. Desdobramento de critérios de decisão em subcritérios: No AHP, o desdobramento hierárquico de critérios de decisão pode ser facilmente modelado, uma vez que esse método utiliza uma hierarquia como estrutura básica e permite representar elementos em dois ou mais níveis hierárquicos. Já nas redes neurais, cada neurônio artificial na camada de entrada corresponde a um critério de decisão, que não pode ser desdobrado em subcritérios. Essa limitação torna o método AHP preferível às redes neurais, principalmente em situações em que é desejável obter uma avaliação mais detalhada dos fornecedores em relação a atributos específicos de um determinado critério;

iii. Esforço requerido para coleta de dados: A quantidade de julgamentos requerida no AHP por cada matriz de decisão de ordem n equivale a $n(n-1)$. Já as redes neurais requerem um conjunto de dados de entrada e saída em seu processo de treinamento, sendo que o número de amostras deve ser no mínimo duas vezes o número de conexões sinápticas existentes na estrutura da rede. Desta forma, a coleta de dados no AHP é mais ágil e, diferentemente das redes neurais, não requer um histórico de desempenho dos fornecedores;

iv. Interpretabilidade dos dados: Os cálculos realizados ao longo da hierarquia de decisão explicitam informações pertinentes à decisão final, como o peso de cada critério e o desempenho relativo das alternativas em relação a um critério em particular. Isso não é possível no modelo proposto Luo (2009), uma vez que as redes neurais funcionam como uma “caixa-preta” que não possuem interface com o usuário e armazenam o conhecimento sobre o problema ao longo de sua estrutura de modo não interpretável.

6. Conclusão

Uma cadeia de suprimentos ágeis é uma rede dinâmica de empresas, cujos membros e estrutura geralmente necessitam mudar constantemente. Nesse sentido, o sucesso de operação desse tipo de cadeia depende fortemente da habilidade das empresas para selecionar as alternativas de abastecimento mais apropriadas em determinadas situações.

Em cadeias de suprimento ágeis, a imprecisão nas informações e uso de critérios qualitativos dificulta a avaliação dos fornecedores, uma vez que a avaliação deve quantificar fatores intangíveis, como flexibilidade e confiança. Esse estudo propôs um modelo MCDM para seleção de fornecedores em cadeias de suprimento ágeis que utiliza o método AHP para lidar com a incerteza inerente a este ambiente. A presente proposta contribui para o avanço da literatura sobre o tema e para ajudar gestores em situações práticas de seleção de fornecedores. O modelo foi aplicado na seleção de fornecedores para placas de circuito impresso de uma montadora de computadores.

Embora o modelo proposto tenha sido aplicado usando 5 critérios de seleção de fornecedores, o método AHP permite que mais critérios sejam adotados. A estrutura hierárquica do AHP também permite que os critérios sejam desdobrados em subcritérios, de modo que atributos específicos possam ser usados para obter uma avaliação mais detalhada dos fornecedores. Comparando a presente proposta com o modelo de seleção de fornecedores para cadeias ágeis proposto por Luo (2009), o AHP apresenta vantagens quanto à modelagem

de incerteza, desdobramento de critérios de decisão em subcritérios, esforço requerido na coleta de dados e interpretabilidade dos dados.

Uma limitação da presente proposta é a premissa que os critérios de decisão sejam variáveis independentes. Nos casos em que há dependência entre critérios, recomenda-se utilizar o método ANP, uma vez que esse é capaz de quantificar tais relações de dependência. Trabalhos futuros podem adotar critérios dependentes e aplicar o ANP na seleção de fornecedores em cadeias ágeis. Outra sugestão para trabalhos futuros é o desenvolvimento de modelos MCDM para seleção de fornecedores em outros tipos de cadeias de suprimento.

Referências

- CASTRO, W.A.S.; GOMEZ, O.D.C.; FRANCO, L.F.O. Selección de proveedores: uma aproximacion al estado del arte. *Cuaderno de Administración - Bogotá*, v. 22, p. 145-167, 2009.
- CHOU, S.; SHEN, C.Y.; CHANG, Y.H. Vendor Selection in a modified re-buy situation using a strategy-aligned fuzzy approach. *International Journal of Production Research*, v. 45, p. 3113-3133, 2007.
- CHRISTOPHER, M. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimento - criando redes que agregam valor. 2ª ed. São Paulo: Thomson, 2007.
- DAS, D.; ROY, A.; KAR, S. Improving production policy for a deteriorating item under permissible delay in payments with stock-dependent demand rate. *Computers and Mathematics with Applications*, v. 60, p. 1973-1985, 2010.
- DE BOER, L.; LABRO, E.; MORLACCHI, P. A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 7, p. 75-89, 2001.
- DE BOER, L.; WEGEN, L.V.D.; TELGEN, J. Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 4, p. 109-118, 1998.
- GENCER, C.; GÜRPINAR, D. Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modelling*, v. 31, p. 2475-2486, 2007.
- HA, B.; PARK, Y.; CHO, S. Suppliers' affective trust and trust in competency in buyer – Its effect on collaboration and logistics efficiency. *Int. J. of Operations & Production Management*, v. 31, p. 56-77, 2011.
- HANDFIELD, R.B.; NICHOLS, E.L. *Introduction to Supply Chain Management*, Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, 1999.
- HAYES, R. H. et al. *Operations, Strategy and Technology: Pursuing the competitive edge*. John Willey & Sons: EUA, 2004.
- HO, W.; XU, X.; DEY, P.K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 202, p.16-24, 2010.
- HUDYMÁČOVÁ, M.; BENKOVÁ, M.; PÓCSOVÁ, J.; ŠKOVŘÁNEK, T. Supplier selection based on multi-criterial AHP method. *Acta Montanistica Slovaca*, v. 15, p. 249-255, 2010.
- JABBOUR, A.B.L.S.; JABBOUR, C.J.C. Are supplier selection criteria going green? Case studies of companies in Brazil. *Industrial Management & Data Systems*, v. 109, n. 4, p. 477-495, 2009.
- JAIN, V.; BENYOUCEF, L.; DESHMUKH, S.G. A new approach for evaluating agility in supply chains using Fuzzy Association Rules Mining. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 21, p. 367-385, 2008.
- LUO, X. Supplier selection in agile supply chains: Na information-processing model and na illustration. *Journal of Purchasing & Supply Management*, v.15, p. 249-262, 2009.
- MENTZER, J.T. et al. Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, v. 22, p. 1-25, 2001.
- SAATY, T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, v.1, n.1, p. 83-98, 2008.
- SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. 1 ed. McGraw Hill: New York, 1980.
- SAEN, R.F. Restricting weights in supplier selection decisions in the presence of dual-role factors. *Applied Mathematical Modelling*, v.34, p. 2820-2830, 2010.

SAWIK, T. Supplier selection in make-to-order environment with risks. *Mathematical and Computer Modelling*, v.53, p. 1670-1679, 2011.

WU, C.; BARNES, D. A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. *Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 17, p. 256–274, 2011.

YUSUF, Y.; GUNASEKARAN, A.; ADELEYE, E.; SIVAYOGANATHAN, K. Agile supply chain capabilities: determinants of competitive objectives. *European Journal of Operational Research*, n.159, p.379-392, 2004.