



Business Intelligence

PUC
RIO

Felipe Henrique Silveira

*Seleção de Fornecedores Utilizando Conjuntos
Fuzzy e Modelo TOPSIS*

Monografia de Final de Curso

07/06/2019

***Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da PUC/Rio
como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialização em
Business Intelligence.***

Orientadora:

Professora Ana Carolina Alves Abreu

RESUMO

Esta monografia utiliza a extração de conhecimento de colaboradores a partir da avaliação dos cinco critérios de desempenho (custo, qualidade, velocidade, confiabilidade e flexibilidade) utilizando conjuntos *fuzzy* para análise e o modelo TOPSIS para a ordenação dos melhores fornecedores para a seleção. O processo de seleção de fornecedores ocorre sob circunstâncias de escassez de recursos e sua utilização eficaz é fundamental para a competitividade. Nesse contexto, foi realizada a aplicação do modelo na seleção de fornecedores de bens e serviços de Internet da Coisas. Essa pesquisa visa, de forma geral, diagnosticar e ranquear fornecedores com base em atributos subjetivos, modelando a seleção de fornecedores a fim de obter melhores tomadas de decisão, ao terceirizar atividades complementares e ampliar a cadeia de valores.

ABSTRACT

This paper uses knowledge extraction from employees based on the evaluation of the five performance criteria (cost, quality, speed, reliability and flexibility) using fuzzy sets for analysis and the TOPSIS model for ranking the best suppliers. The supplier selection process occurs under circumstances of scarcity so that their effective use is key to competitiveness. In this context, the model was applied in supplier selection of Internet of Things enterprises. This research aims to diagnose and rank suppliers based on subjective attributes, modeling the supplier selection in order to obtain better decision-making, when outsourcing complementary activities to increase the value chain.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	4
1.1.	MOTIVAÇÃO	7
1.2.	OBJETIVOS DO TRABALHO	8
1.3.	DESCRIÇÃO DO TRABALHO	9
1.4.	ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA	9
2.	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	10
3.	METODOLOGIAS	11
4.	ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO	14
5.	RESULTADOS	15
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	23
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

A seleção de fornecedores é uma atividade comum nas empresas e possui elevada importância devido a seu alto custo e impactos na operação e nos produtos. Situa-se no campo da logística, mais especificamente na parte de suprimentos, sendo uma atividade da função de compras. A gestão eficiente de toda a rede de suprimentos de uma organização tem se tornado cada vez mais necessária para sua competitividade e para isso é preciso selecionar uma carteira confiável de fornecedores. Hoje vivemos um intenso processo de evolução tecnológica e concorrência e, para melhor controle e a otimização das funções organizacionais, é necessária uma gestão bem executada, fundamentada em informações confiáveis e que possam ser quantificadas e modeladas para a melhor tomada de decisões.

A terceirização do fornecimento de produtos e serviços tende a uma relação mais próxima e cooperativa entre a empresa contratante e seus fornecedores, buscando sempre diminuir os riscos e os custos, colocando os fornecedores em processo de concorrência. Para Slack (2009), alguns especialistas chegam a dizer que atualmente não existe concorrência entre empresas e sim entre suas redes de suprimentos. O equilíbrio entre cada uma das etapas da cadeia de suprimentos está ligado diretamente ao relacionamento entre as operações. Um relacionamento de rede totalmente equilibrado é aquele no qual uma empresa produz somente para a próxima etapa na rede e satisfaz totalmente suas exigências.

Segundo Corrêa (2010), uma vez elegida a terceirização para uma determinada operação, a escolha e desenvolvimento do fornecedor ideal é de extrema importância e devem ser levados em consideração, pontos como preço, compromisso com a qualidade, capacidade tecnológica para prover os recursos, saúde financeira, além do cumprimento dos prazos determinados. Quanto mais próximo o tipo de relacionamento, mais complexo é o processo e conseqüentemente os critérios para a seleção de fornecedores. Por outro lado, o desenvolvimento de fornecedores se mostra como uma grande oportunidade quando a organização identifica que um fornecedor não tem sido capaz de atender adequadamente suas necessidades. Assim surge a alternativa da empresa desenvolver, investir na melhoria das competências e do desempenho dos atuais, mas também dos possíveis fornecedores tendo como base, as informações coletadas.

A logística é a função que integra a cadeia de suprimentos. As operações da cadeia de suprimentos exigem processos gerenciais que utilizam funções diferentes, entre elas a produção e a logística. Assim, segundo Bowersox (2014) a gestão da cadeia de suprimentos consiste na colaboração entre empresas para impulsionar o posicionamento estratégico e melhorar a eficiência operacional. Slack (2009) relata que, inicialmente o caráter colaborador da integração dos canais não utilizavam informações confiáveis para a tomada de decisão nem possuía devida importância, mas a visão de que a integração da cadeia produtiva gerava valor foi um passo importante no desenvolvimento das redes de suprimentos.

A colaboração dentro do fluxo, com uma boa utilização dos recursos, permite a integração e geração de valor dentro de três perspectivas: de valor econômico, de valor de mercado e de valor de relevância. O fluxo principal que define a integração entre a rede de fornecedores, a rede de distribuição e a empresa integrada possuem cinco fluxos críticos: informação, produtos, serviços, recursos financeiros e conhecimento. É bidirecional no que diz respeito à troca desses atributos dentro do fluxo e o valor é resultado da sinergia entre as empresas. Com a iniciativa de coordenar mutuamente os fluxos, há a melhoria da eficiência geral e contínua, influenciando na competitividade dos arranjos dentro da cadeia. Conforme as decisões aumentam em importância e customização, a análise de decisões passa a ser importante.

Fazendo a ponte entre o planejamento e o controle, a análise preocupa-se com a identificação e avaliação de alternativas competitivas. No nível mais alto, encontra-se o planejamento estratégico, responsável pela formulação de alianças, análise de serviços ao cliente e desenvolvimento de competências e oportunidades. As operações empresariais controladas pelos sistemas de informação possuem cinco componentes: gestão de relacionamento com os clientes, logística, manufatura, compras e desdobramento do estoque. Cada um dos componentes possui módulos utilizados na integração e na gestão. De acordo com Bowersox (2014), pela perspectiva da cadeia de suprimentos, a disponibilidade de informações comuns e consistentes sobre requisitos, atividades e desempenho entre os parceiros da cadeia de suprimentos aumenta a eficácia, a eficiência, a relevância e a sustentabilidade operacionais. A capacidade de resposta do planejamento é um processo que avalia a demanda e o projeto estratégico para obter a maior capacidade de resposta exigida pelos clientes. O relacionamento de colaboração é permitido pelo desejo mútuo de compartilhamento de informações estratégicas, considerando a importância do conhecimento nos dias de hoje.

Os processos que se destacam são a colaboração no relacionamento com fornecedores, apoio ao ciclo de vida e logística reversa. Com isso, os arranjos da cadeia produtiva passam a obter vantagem competitiva sobre a concorrência não integrada. Além de menor custo, há o aumento da disponibilidade, desempenho operacional e confiabilidade dos serviços.

As origens das empresas contemporâneas se fundamentam na especialização funcional. Para que isso ocorra, a extensão empresarial baseia-se em dois paradigmas: o compartilhamento de informações e a especialização de processos, com o objetivo de maximizar o impacto sobre o consumidor, reduzir o risco e aumentar a eficiência. Como justificado por Bowersox (2014), as empresas que participam de uma cadeia de suprimentos têm papéis específicos e compartilham objetivos estratégicos. Essa integração mudou a forma como a logística é operada. Transporte e armazenamento andam em conjunto nas operações logísticas e não são mais delimitados pelos espaços físicos das empresas, onde os departamentos se comunicam com mais frequência.

As operações realizadas pelas empresas fazem parte de um plano mais amplo. Do ponto de vista estratégico, é necessário planejar a rede de suprimentos, pois as atividades estão interconectadas. Assim, a forma e a configuração da rede podem ser tratadas com maior controle. Segundo Bowersox (2014), a rede de relações cliente-fornecedor estabelece um fluxo de informações, materiais, peças e é dividida em camadas. As empresas possuem operações essenciais

e em todos os casos possuem clientes e fornecedores. Do lado dos fornecedores, existem os de primeira camada, que são os fornecedores diretos, os de segunda camada e assim sucessivamente. Com a demanda cria-se vínculos com os fornecedores e clientes, assim uma empresa tem que saber gerenciar as funções dentro e fora dela, para garantir que sua cadeia de valor faça com que o produto ou serviço chegue ao cliente. Quando se fala de cadeia de valor ou cadeia de suprimentos, temos como base os processos que envolvem fornecedores e clientes, que ligam empresas desde a matéria-prima até consumo pelo cliente.

Dentre as várias definições da gestão da cadeia de suprimentos pode-se dizer que, as fronteiras de aplicação das empresas estão se expandindo, atingindo outros níveis de atuação além da simples administração interna, chegando aos fornecedores dos fornecedores. Fazendo com que os laços empresariais fiquem mais estreitos e formem parcerias de relacionamento para lidar com o mercado. Em uma aplicação específica, o fato do parceiro não conseguir entregar o produto no tempo que a sua empresa necessita, ocasiona que sua empresa também não consiga suprir a demanda do mercado adequadamente. Assim, as limitações e problemas do seu parceiro devem ser entendidos e resolvidos para que seu cliente seja satisfeito. Segundo Corrêa (2004), respondendo a uma competição mais acirrada por mercados, as empresas têm embarcado num fluxo ininterrupto de iniciativas de melhoramento de desempenho. As vantagens competitivas de uma empresa são de suma importância e estão ligadas diretamente à gestão da cadeia de suprimentos. Para atingi-las, a organização tem como expectativas: redução dos impactos na capacidade do fornecedor de acordo com a demanda dos clientes e no ciclo de tempo da reposição de estoques. Visando o controle destes impactos, o gerenciamento eficiente da cadeia de suprimentos torna-se muito importante para as organizações. Um mercado global, competitivo, em rápida transformação, juntamente com maiores expectativas de clientes cada vez mais sofisticados, impôs às empresas, a revisão crítica do valor da sua cadeia de suprimentos. O desenvolvimento e conhecimento das empresas gera compartilhamento de novas tecnologias, tornando-se efetivamente uma relação mais saudável e duradoura entre parceiros. Alguns dos benefícios que podem ser atingidos nas parcerias são: aumentar o valor para o acionista, ao reduzir custos e aumentar a lucratividade com processos de negócio remodelados, eficiência operacional aprimorada e gerenciamento global de inventários, reduzir o risco global de suprimento, ao aperfeiçoar os fluxos de informação e tirar total proveito dos seus investimentos em infraestrutura, criar visibilidade para a cadeia suprimento entre as organizações, ao compartilhar dados com parceiros de negócio confiáveis, entregar produtos ao mercado com mais rapidez ao obter maior controle sobre todo o ciclo de vida de produtos e suportar o crescimento futuro ao gerenciar e expandir as operações combinadas.

O desenvolvimento de fornecedores está ligado ao conceito de uma gestão de relacionamento de longo prazo entre as empresas compradoras e fornecedoras através de alianças estratégicas bem definidas. Razão pela qual as empresas estão vivenciando o desafio de se obter proximidade com os parceiros, de conseguir a flexibilidade que o mercado requer além do tempo de resposta ideal para suprir as necessidades demandadas pelos clientes. Com isso, os objetivos dessas parcerias são a busca pela melhoria dos serviços prestados pela empresa contratada, o aumento da qualidade dos produtos e também a redução dos custos envolvidos nos processos, sejam eles voltados para mão-de-obra, produção, armazenagem ou distribuição. Todos esses

objetivos estão direcionados à meta de alcançar uma maior competitividade para ambas as empresas frente ao mercado. Para estreitarem o relacionamento, as empresas utilizam de algumas técnicas, tais como o aprimoramento e desenvolvimento de seus fornecedores através de treinamentos e compartilhamento de conhecimento, envolvimento dos colaboradores da empresa fornecedora na elaboração de projetos em busca das soluções em comum. Há também a formação de equipes multifuncionais envolvendo o pessoal tanto da empresa contratada quanto da compradora e ainda uma integração nos sistemas de informação em busca da melhor comunicação possível, possibilitando a rastreabilidade de falhas na gestão dos produtos, como a projeção de demanda e atendimento correto dos prazos estabelecidos. Atualmente, em uma abordagem mais moderna, tem se focado em uma rede de suprimentos mais enxuta, com poucos fornecedores, aumentando a integração e participação colaborativa. A relação de fornecimento tem se tornado cada vez mais crucial para as empresas devido ao aumento de especialização e do nível de complexidade tecnológica. Essa maior integração traz perspectivas de efetividade e obtenção de vantagem competitiva em longo prazo, uma vez que essa parceria tende a ter alto volume de negócios e muitas vezes de produtos exclusivos.

Em um momento de maior instabilidade econômica, deve haver maior segurança no acordo de critérios vantajosos para ambas as partes, como redução de custo, aumento da confiabilidade e controle da flexibilidade. Para obter maior segurança nos acordos de longo prazo é necessário o compromisso com a gestão de relacionamento entre as empresas compradoras e as fornecedoras e, após identificada a oportunidade de desenvolvimento, é necessário que seja viável antes de ser concretizada. A decisão fundamental entre comprar ou produzir está intensamente relacionada com os custos de produção ou terceirização. A viabilidade, do ponto de vista estratégico, ocorre quando há o estreitamento das relações considerando os cinco níveis de desempenho (qualidade, confiabilidade, rapidez, flexibilidade e custo). Neste contexto, essa pesquisa visa diagnosticar e ranquear fornecedores com base em atributos subjetivos, modelando a seleção de fornecedores a fim de obter melhores tomadas de decisão, ao terceirizar atividades complementares e ampliar sua cadeia de valores.

1.1. MOTIVAÇÃO

A seleção de fornecedores, no âmbito operacional, é uma atividade exercida pelo departamento de compras sob estratégias definidas em geral em conjunto com as funções de *marketing*, produção e finanças. Estão presentes variações de demanda, que interferem na produção sendo assim necessário alinhar o volume de compras com a produção a fim de atender a demanda de uma forma eficaz. Da mesma forma, o estoque consome recursos financeiros e por isso seu controle eficiente junto à previsão de demanda do mercado é uma forma de reduzir custos operacionais. Portanto, o alinhamento entre os ambientes interno e externo da empresa, é de suma importância.

No início do fluxo de operações de uma organização está o departamento de compras, que exerce as funções de negociação, acompanhamento e fechamento das compras para atender os objetivos de desempenho pré-estabelecidos. Muitas vezes os processos envolvidos são repetidos visando maior confiabilidade, entretanto muitas vezes as práticas cotidianas dificultam a flexibilidade da seleção de novos fornecedores. Diante da necessidade de adaptabilidade das estratégias devidas às mudanças do mercado e da produção faz-se necessária uma abordagem flexível, que permita maior controle diante das mudanças frequentes. Em um momento onde a oferta da produção é maior que a demanda do mercado, uma gestão eficiente dos recursos, tendo sempre em vista o mercado é de extrema importância.

A natureza subjetiva da abordagem atual em vendas fornece uma oportunidade de extrair conhecimento dos colaboradores para a criação de um modelo flexível para atender as mudanças recorrentes. A tomada de decisão passa a ser mais metódica pela análise de uma quantidade grande de dados, que se torna mais precisa devida à maior dificuldade do cérebro humano tomar decisões levando em consideração um grande número de fatores (critérios) e opções (fornecedores). A partir da análise das pequenas partes é possível ter maior controle e obter novas informações objetivando decisões mais assertivas na seleção e sugestão de novas estratégias. O vendedor pode, portanto, reduzir seu tempo executando tarefas rotineiras e contribuir de forma mais intensa na melhoria do processo e relacionamento entre as organizações. As informações coletadas, por sua vez, podem servir como base para o desenvolvimento de novas estratégias de funções táticas e estratégicas e novas abordagens de venda pelo operacional.

A seleção de fornecedores é atualmente executada pelo departamento de compras, muitas vezes sob a estratégia direta do *marketing*. Os métodos utilizados são comumente qualitativos apesar de também haver aplicação de modelagem matemática. A distância entre a cultura dos colaboradores devido à formação base diferente exige uma abordagem que facilite a comunicação e a interpretação dos dados a fim de extrair informações precisas para a tomada de decisão.

Os métodos puramente qualitativos restringem a tomada de decisões baseada no conhecimento extraído dos dados. Por outro lado, métodos quantitativos exigem uma base de dados ainda não consolidada por grande parte das indústrias brasileiras.

Essa ponte pode ser feita pelo modelo proposto, que extrai conhecimento dos colaboradores e permite a inferência de novas decisões pela abordagem analítica e permite a síntese de informações diante da alta demanda de flexibilidade do setor de logística. A partir da avaliação dos critérios, e da consequente extração do conhecimento dos colaboradores, é possível quantificar essa avaliação por conjuntos *fuzzy* e ranquear os melhores fornecedores pelo modelo TOPSIS.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Esta monografia pretende fazer uso de conjuntos *fuzzy* para a análise de conhecimento e aplicar o modelo TOPSIS para a seleção dos melhores fornecedores na indústria da Internet das Coisas,

também abreviada por IoT, um acrônimo de *Internet of Things*. Para tal, os seguintes objetivos são propostos:

- Desenvolvimento de um modelo flexível de análise de fornecedores de Internet das Coisas que permita alterações frequentes de critérios estabelecidos pelas necessidades internas e a consequente análise desse conhecimento;
- Utilização de um sistema para ordenar os fornecedores com base nas necessidades, utilizando o modelo TOPSIS;
- Apresentar uma base de análise para identificar problemas nos fornecedores a fim de desenvolver suas deficiências.

1.3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho descreve as necessidades e apresenta um modelo de análise de soluções para a melhoria da rede de suprimentos do ponto de vista do desempenho logístico, bem como os métodos referentes a números e conjuntos *fuzzy* e o modelo TOPSIS. Em conjunto, essas técnicas foram empregadas para a análise dos fornecedores objetivando a seleção de empresas com alto grau de sinergia e desenvolvimento daquelas que apresentam o desempenho aquém do esperado. Especificamente foram analisados 10 fornecedores de Internet das Coisas com os nomes ocultados.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA

Esta monografia está dividida em quatro capítulos adicionais, descritos a seguir:

O **capítulo 2** descreve o problema a ser estudado, que consiste na seleção de fornecedores pelas necessidades da empresa contratante e é exemplificada por um caso de IoT (Internet das Coisas).

O **capítulo 3** apresenta as metodologias aplicadas, com base nas dimensões de desempenho de uma organização do ponto de vista logístico, métodos matemáticos com números e conjuntos *fuzzy* e o modelo TOPSIS descrito em passos.

O **capítulo 4** detalha os resultados obtidos no exemplo de seleção de uma empresa de Internet das Coisas, junto às análises modeladas por números *fuzzy*.

Finalmente, o **capítulo 5** descreve as conclusões do trabalho referentes à análise dos fornecedores do ponto de vista das melhores escolhas e de desenvolvimento na indústria de IoT. Apresenta, também, possíveis trabalhos futuros a partir do desenvolvimento do modelo proposto.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O processo de *procurement* está vinculado ao departamento de compras. É definido pela procura e aquisição de bens ou serviços de organizações terceirizadas, especializadas na solução que atenda a necessidade identificada pela empresa contratante.

A estratégia de *procurement* leva em consideração aspectos que solucionem as necessidades de fornecimento da empresa objetivando maior competitividade. O processo procura garantir que o comprador receba os bens ou serviços esperados com o melhor preço levando em consideração aspectos como quantidade, qualidade, tempo e localização.

Muitas das decisões de compra incluem fatores como manuseio e entrega, margem de lucro e flutuação de preço. Porém, no caso estudado, em se tratando de uma empresa de bens e serviços, a abrangência dos critérios precisa ser ampla, a fim de dar aporte a todas as necessidades identificadas pelo setor da empresa. Em geral, decisões precisam ser tomadas sob condições de escassez de recursos e por isso sua elevada importância estratégica.

Dentro do processo de *procurement*, está a seleção de fornecedores que precisa ser flexível o bastante para a adaptação de estratégias e mudança na linha de produção e oferta de produtos. Com a oferta maior que a demanda, a administração efetiva dos recursos torna-se um fator indispensável na garantia da competitividade.

O problema se inicia na análise interna da empresa, que pode exigir maior ou menor flexibilidade, qualidade ou outros aspectos relevantes na garantia de entrega do produto conforme especificado, pelo menor preço possível. Por isso, essa análise interna precisa estar alinhada com a análise externa e macroeconômica. Esses fatores são muito variáveis e uma metodologia que diminua o tempo de análise passa a ser imprescindível.

A partir da especificação da necessidade, é feita uma análise de custo para referência de preços de mercado e posteriormente é feita a identificação dos fornecedores para a seleção com base em critérios que se alteram constantemente. As etapas seguintes do *procurement* incluem a emissão de ordem de compra, expedição, recebimento e inspeção, e aprovação do recebimento. Todas essas etapas são muito dependentes da capacidade de fornecimento das empresas a serem selecionadas e tendo em vista o desempenho do departamento de compras, é necessário maior controle das atividades realizadas para a melhoria do processo.

Existe uma lacuna tecnológica muito grande entre as pequenas e grandes empresas. As pequenas utilizam soluções empíricas enquanto as maiores têm capacidade de adquirir sistemas especialistas que tratam de forma bastante eficiente a seleção dos fornecedores. Entretanto, também é necessária uma grande base de dados para a inferência e muitas vezes não permite a extração de conhecimento pelos funcionários responsáveis.

No caso de uma indústria que deseja selecionar fornecedores de bens e serviços de IoT, necessidades específicas precisam ser atendidas e a modelagem de um sistema especialista passa a ser inviável quando se deseja alta flexibilidade do sistema por exigência interna da produção. Por

isso, um modelo de análise para melhor síntese passa a ser importante para inferir decisões baseadas na análise dos dados.

3. METODOLOGIAS

As metodologias aplicadas na solução do problema de seleção de fornecedores proposto faz a ligação das variáveis linguísticas dos critérios selecionados pela intercessão de conjuntos *fuzzy* e uma posterior ordenação pelo modelo TOPSIS.

Segundo Lazzo (2004), a teoria dos conjuntos *fuzzy* proporciona uma estrutura matemática que permite trabalhar com a imprecisão e a incerteza da informação fornecida por seres humanos. Essa teoria tem sido cada vez mais usada em sistemas que utilizam informações fornecidas por seres humanos e tem produzido bons resultados nas mais variadas aplicações.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* quando utilizada juntamente com os conceitos de lógica, resulta nos chamados sistemas de inferência *fuzzy*. No entanto, quando usada para efetuar operações aritméticas, os conjuntos *fuzzy* são conhecidos como números *fuzzy*.

O conjunto *fuzzy* é a ponte que liga o conceito impreciso à sua modelagem numérica, atribuindo-se a cada elemento do universo de estudo um valor entre 0 e 1, que representa o grau de pertinência do indivíduo ao conjunto.

A lógica *fuzzy*, de uma maneira mais ampla, lida com o pertencimento de variáveis reais em uma escala de 0 a 1. É aplicada para lidar com o conceito de verdade parcial, trazendo uma solução eficaz da interpretação vaga de critérios subjetivos. Sua fundação foi construída na observação de que pessoas tomam decisões baseadas em informação pouco precisa e não-numérica. Desse modo, a lógica *fuzzy* oferece um meio matemático para representar informações vagas e imprecisas.

A noção de pertencimento é central na modelagem *fuzzy*. Dadas as variáveis estudadas, no caso os subcritérios, é atribuído um grau de pertencimento em determinado conjunto. Um conjunto *fuzzy* F definido no universo U pode ser representado pelo conjunto de pares ordenados de um elemento x e seu grau de pertinência μ . Esse valor de pertinência é obtido a partir de uma função de pertinência que liga os valores de U com o intervalo $[0, 1]$, conforme mostra a equação 1:

$$F = \{(x, \mu(x)) | x \in U\} \quad (1)$$

Comumente, utiliza-se funções de pertinência triangulares por ser mais simples de modelar e reduzir o tempo das operações computacionais. O sistema de equações abaixo ilustra essa função de pertinência:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2)$$

Esse sistema pode ser representado como mostrado na figura 1, definindo a função de pertinência $A = [a_1, a_2, a_3]$. Desse modo, com apenas três variáveis, é possível definir a função dentro do universo de estudo.

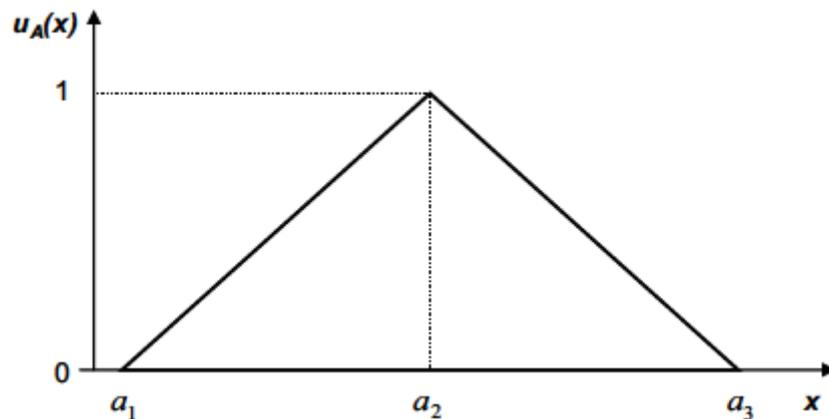


Figura 1 – Função de pertinência triangular

A intercessão de números *fuzzy* é dada pelo mínimo dos valores do conjunto U considerado. Essa operação pode ser aplicada devido ao conceito de qualidade, onde o sistema completo é definido pelo componente de menor qualidade.

Outra metodologia utilizada é o modelo TOPSIS, que ordena as alternativas considerando a quantidade de informação contida no sistema e a distância euclidiana da melhor e da pior solução. O modelo TOPSIS é um método multicritério de análise de decisão. É baseado na ideia que as alternativas devem possuir a menor distância geométrica da solução positiva ideal e a maior distância da solução negativa ideal.

O modelo compara um conjunto de alternativas identificando pesos para cada critério, normalizando a matriz de decisão e calculando a distância geométrica entre cada alternativa e as

soluções ideais. A partir de uma matriz composta por critérios e alternativas, o método é calculado conforme os seguintes passos:

Passo 1. A matriz de decisão é normalizada segundo a equação 3, onde os índices i e j representam os índices dos critérios e das alternativas na matriz P . Cada elemento da matriz é denotado por x_{ij} .

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\text{MAX } x_i} \quad (3)$$

Passo 2. É montada a matriz de decisão normalizada V ponderada para obter a normalização relativa, onde W é o vetor peso de cada critério que satisfaz $\sum_{j=1}^n W_j = 1$.

$$v_{ij} = w_{ij} \cdot r_{ij} \quad (4)$$

Passo 3. Solução positiva ideal e solução negativa ideal são calculadas conforme as equações abaixo:

$$\begin{aligned} A^+ &= \{V_1^*, \dots, V_j^*, \dots, V_n^*\} = \{(MAX_j V_{ij} \mid j = 1, \dots, n) \mid i = 1, \dots, m\} \\ A^- &= \{V_1^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\} = \{(MAX_j V_{ij} \mid j = 1, \dots, n) \mid i = 1, \dots, m\} \end{aligned} \quad (5)$$

Passo 4. A distância de cada alternativa em relação às soluções é calculada:

$$\begin{aligned} d^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \\ d^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

Passo 5. O coeficiente de proximidade de cada alternativa é calculado:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (7)$$

Passo 6. Pela comparação do coeficiente de proximidade, a ordenação das alternativas é determinada.

4. ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO

A arquitetura do sistema une a avaliação de subcritérios de desempenho de um conjunto de fornecedores por especialistas para a extração de conhecimento com a quantificação desse desempenho por números *fuzzy*. Após essa etapa, é aplicado o modelo TOPSIS para ranquear as opções.

A avaliação sistemática permite flexibilidade devida à melhor visibilidade e controle da seleção e as etapas a serem seguidas segue o modelo de *procurement* com a extração de conhecimento por números *fuzzy* e posteriormente ranqueado pelo modelo TOPSIS conforme a figura 2.

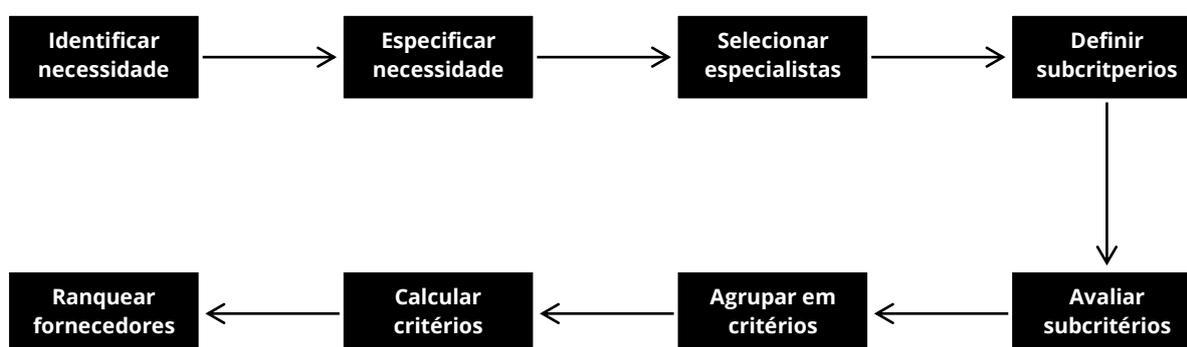


Figura 2 – Diagrama de seleção de fornecedores

Inicialmente, a solução de seleção dos melhores fornecedores parte da identificação da necessidade de suprimento de determinado insumo para a transformação e agregação de valor dentro da cadeia de valor. Depois é necessário especificar a necessidade, transformando em soluções que são ofertadas pelo mercado com as características, quantidade, especificações técnicas, tecnologias bem como qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo desejados.

A seleção dos especialistas deve ser feita levando em consideração a experiência do colaborador tanto no ramo da atividade quanto sua compreensão interna da empresa e do mercado. Cada especialista, a partir da modelagem da arquitetura descrita na figura acima, tem a partir do modelo, um arcabouço para a tomada de decisão mais assertiva, permitindo a comparação de resultados e a identificação de características a serem melhoradas no processo.

Os especialistas por sua vez fazem a seleção dos subcritérios para que as necessidades sejam atendidas. Dentro das dimensões de desempenho de determinada empresa, esses subcritérios sempre podem ser agrupados nas cinco dimensões. É importante que esses critérios abranjam todas as necessidades e não precisam contemplar eventos independentes. Essa característica permite, comparativamente com muitos modelos estritamente matemáticos, diminuição do tempo de seleção de critérios.

Após a definição dos subcritérios, é necessário avaliá-los. Levando em conta a experiência dos funcionários na área de logística e o conhecimento dos ambientes internos e externos da empresa, os colaboradores avaliam cada subcritério. Essa avaliação pode ser individual ou uma média coletiva. O controle da análise é diferente para cada caso, pois se for feito individualmente é possível a obtenção de melhor controle individual, pois não é relativo à média, que por sua vez, diminui o erro do colaborador. A experiência do profissional serve de norte para as decisões iniciais e novas inferências a partir dos dados podem ser encontradas a partir de experimentos subsequentes. Nesse modo, em comparação com os métodos qualitativos, é possível analisar os resultados obtidos de forma mais sistêmica. Desse modo, foram consideradas as avaliações individuais.

Os subcritérios de qualidade e confiabilidade foram calculados com base numa escala que varia de muito baixa a muito alta, passando por baixa, média e alta. Os demais subcritérios por serem valores numéricos foram medidos para cada fornecedor em potencial.

O agrupamento de critérios nas cinco dimensões de desempenho de uma organização (qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo) permite o controle de cada característica de forma independente e é a entrada do modelo TOPSIS. Após o agrupamento, é possível calcular os valores relativos a cada fornecedor.

As dimensões qualidade e confiabilidade foram calculadas por conjuntos *fuzzy*, pela intercessão dos valores, segundo o conceito de qualidade e confiabilidade, que são determinados pelo componente de menor valor dentro do sistema.

Já as dimensões velocidade e custo foram somadas para se obter o valor total de cada elemento.

A partir da matriz alternativas versus critérios, foi aplicado o modelo TOPSIS para ranquear os fornecedores. Esse modelo é uma boa aplicação, pois para uma grande quantidade de informação, é possível avaliar os fornecedores de forma sistêmica, além de lidar com os valores fuzzy e numéricos de forma simples. O modelo calcula a quantidade de informação contida na matriz e a partir dele calcula a distância euclidiana da melhor e pior solução e ranqueia os fornecedores com base nessas distâncias

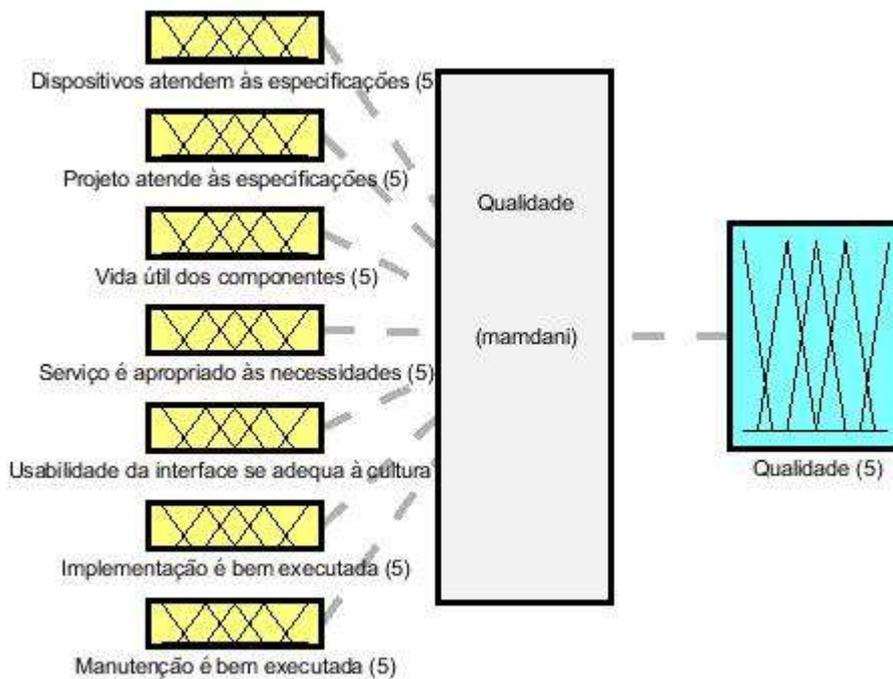
5. RESULTADOS

Os critérios qualidade e confiabilidade foram avaliados por um profissional experiente considerando cada subcritério de cada fornecedor. A tabela 1 contém os valores das avaliações e o cálculo da qualidade pela intercessão dos subcritérios avaliados.

Subcritérios de desempenho	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Dispositivos atendem às especificações	10	8	6	10	4	4	8	8	8	6
Projeto atende às especificações	8	8	4	10	4	2	8	8	4	8
Vida útil dos componentes é longa	8	8	8	6	8	4	8	10	8	4
Serviço é apropriado às necessidades	8	8	8	8	8	6	10	8	8	8
Usabilidade da interface se adequa à cultura	6	10	8	8	6	6	8	10	6	6
Implementação é bem executada	8	8	8	6	8	6	8	8	4	6
Manutenção é bem executada	8	8	4	8	8	8	6	8	4	8
Menor valor	6	8	4	6	4	2	6	8	4	4
Total	Média	Alta	Baixa	Média	Baixa	Muito baixa	Média	Alta	Baixa	Baixa

Tabela 1 – Avaliação da qualidade

Cada um dos subcritérios descritos acima foi modelado por conjuntos fuzzy, conforme a figura 2 demonstra, a fim de controlar as variáveis semânticas e as incertezas de avaliação. A partir dos subcritérios, foi calculada a intercessão dos atributos a fim de definir a qualidade.



System Qualidade: 7 inputs, 1 outputs, 0 rules

Figura 3 – Diagrama fuzzy para definição da qualidade

Cada um dos atributos foram detalhados na figura 4, mostrando a função de pertinência triangular de cada avaliação em cada subcritério, juntamente com a saída qualidade.

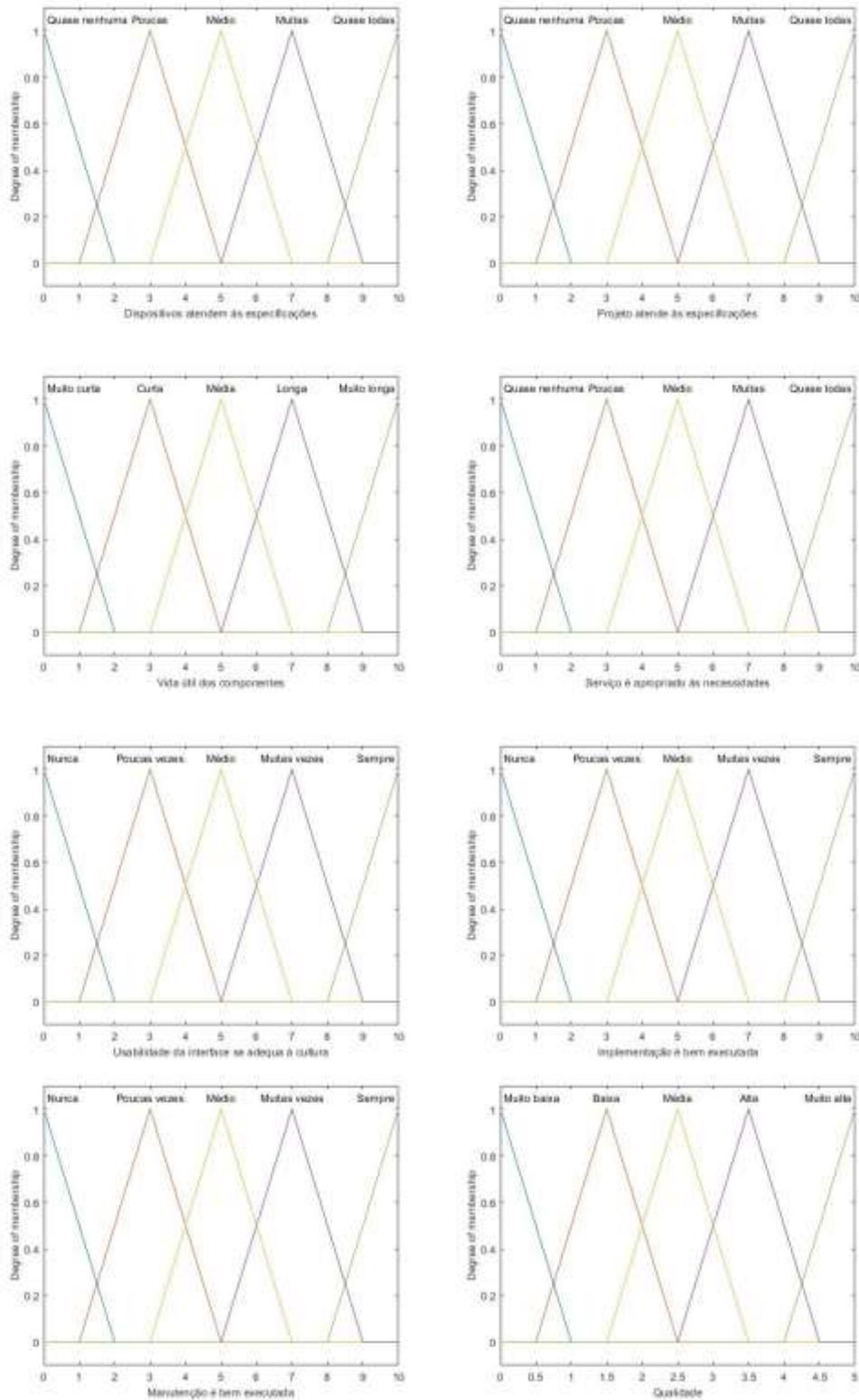


Figura 3 – Funções de pertinência da qualidade

Da mesma forma foram calculados os valores relativos à confiabilidade respectivos aos subcritérios listados na tabela 2.

Subcritérios de desempenho		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Confiabilidade	Projeto entregue dentro do prazo	10	8	8	6	10	10	10	10	10	8
	Implementação realizada no prazo	10	10	8	10	10	8	10	10	10	10
	Configuração realizada no prazo	8	10	10	8	8	8	8	8	8	8
	Espera da manutenção dentro do prazo	10	6	8	10	8	8	10	10	8	8
	Sistema disponível conforme determinado	8	8	10	8	6	8	8	10	10	10
	Menor valor	8	6	8	6	6	8	8	8	8	8
	Total	Alta	Média	Alta	Média	Média	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabela 2 - Avaliação da confiabilidade

O diagrama Fuzzy representado na figura x representa a avaliação do sistema Fuzzy para definir a confiabilidade do sistema.

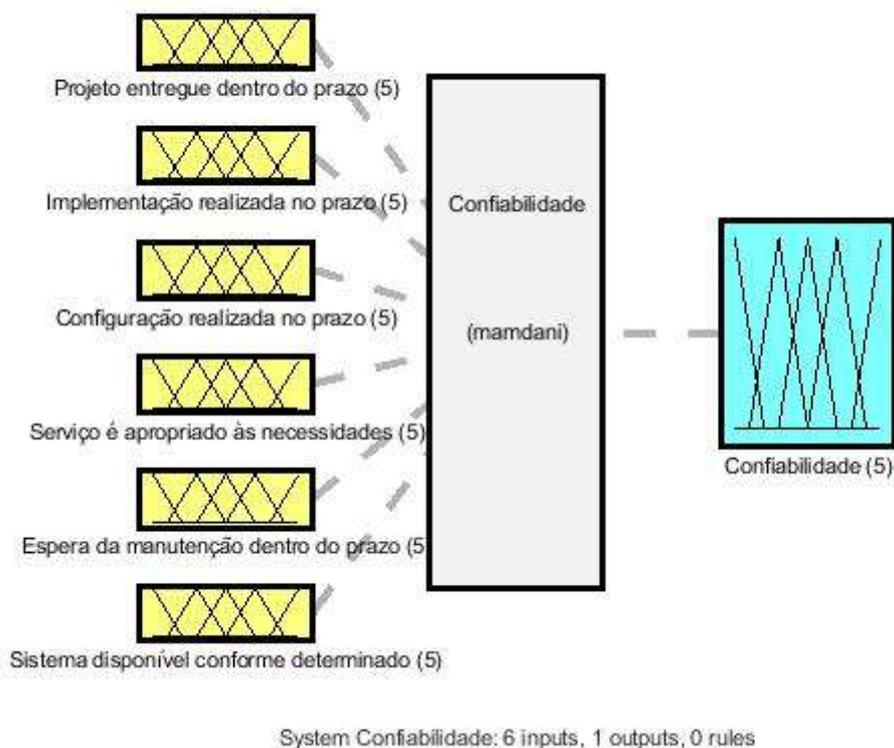


Figura 4 - Diagrama fuzzy para definição da confiabilidade

Cada um dos subcritérios foi detalhado na figura x, utilizando os conjuntos fuzzy, bem como a confiabilidade total calculada pela intercessão dos números Fuzzy equivalentes.

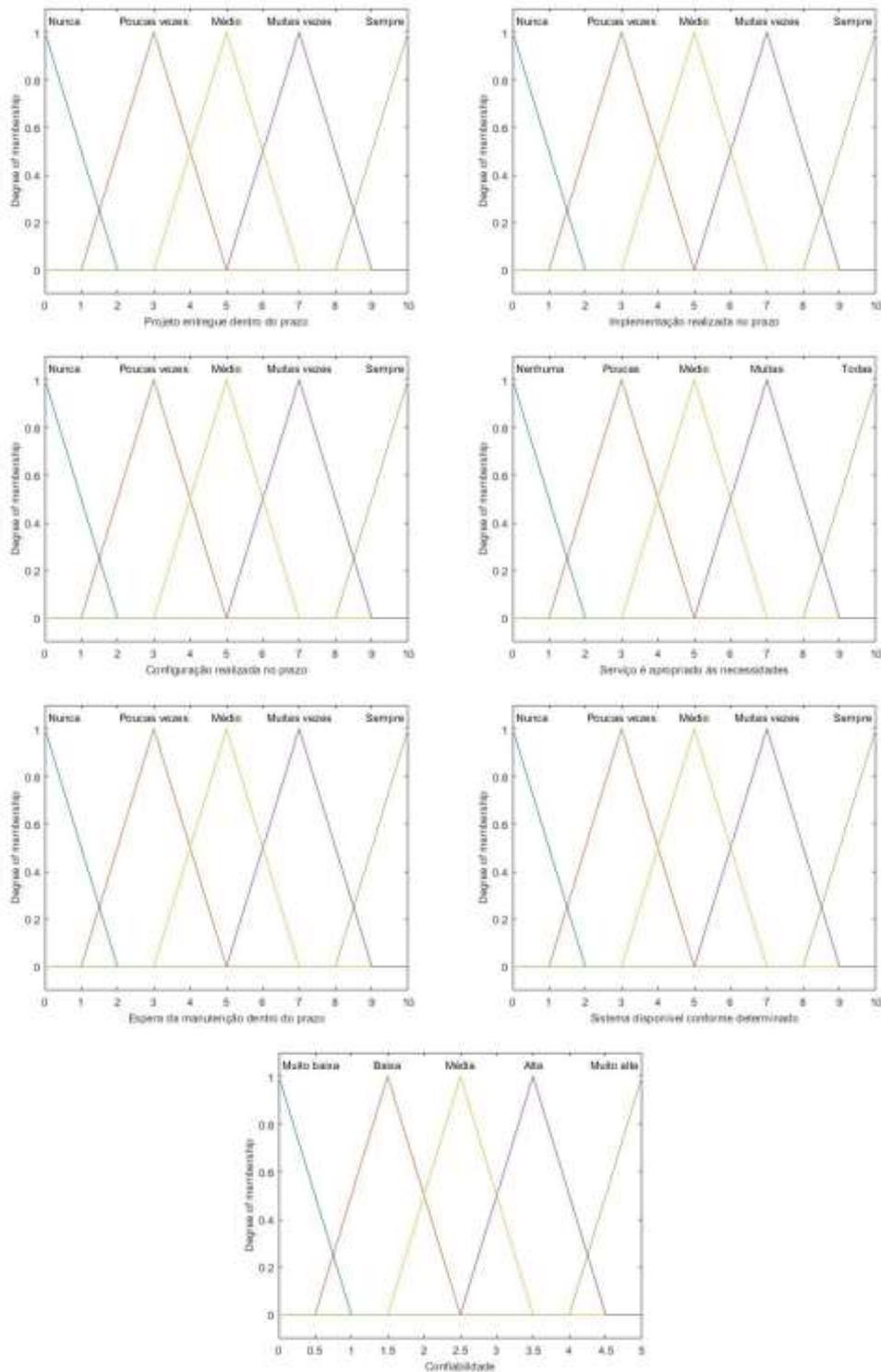


Figura 5 – Funções de pertinência da confiabilidade

As dimensões velocidade e custo foram montadas a partir do somatório de cada subcritério que compõem o critério de desempenho, conforme ilustra a tabela 3. Assim sendo, a velocidade total foi calculada pelo somatório dos tempos de projeto, implementação, configuração e treinamento para cada fornecedor, em dias, abrangendo todos os subcritérios considerados relevantes pelo especialista. A dimensão custo considera o somatório dos custos de projeto, implementação e operacional. A dimensão flexibilidade considerou a média dos valores avaliados e constitui uma boa aproximação devido ao pequeno número de subcritérios.

Subcritérios de desempenho		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Velocidade	Tempo de projeto é mínimo	4	6	6	4	4	2	5	3	4	4
	Tempo de implementação é mínimo	7	8	5	5	6	7	6	10	6	6
	Tempo de configuração é mínimo	1	2	1	2	2	1	3	1	1	1
	Tempo de treinamento é mínimo	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2
	Total	14	17	13	12	14	12	15	16	12	13
Flexibilidade	Capacidade de introduzir novos componentes	3	4	2	3	4	3	2	1	3	3
	Capacidade de alterar componentes	3	3	3	5	3	5	3	5	3	3
	Capacidade de alterar o projeto	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3
	Total	3.3	3.7	3.0	4.0	3.3	4.0	3.0	3.3	3.3	3.0
Custo	Custo de projeto	0	0	0	6	0	5	0	0	0	0
	Custo de implementação do sistema	30	42	35	39	24	22	41	60	33	4
	Custo operacional	18	14	18	29	14	19	23	26	15	19
	Total	48	56	53	74	38	46	64	86	48	23

Tabela 3 – Avaliação de custo, flexibilidade e velocidade

A partir da definição das cinco dimensões de desempenho existentes, foi montada a matriz de alternativas versus critérios, com os fornecedores de IoT tendo seus nomes ocultados conforme mostra a tabela 4.

Alternativas x Critérios	Qualidade	Velocidade	Confiabilidade	Flexibilidade	Custo
A1	Média	14	Alta	3.3	48
A2	Alta	17	Média	3.7	56
A3	Baixa	13	Alta	3.0	53
A4	Média	12	Média	4.0	74
A5	Baixa	14	Média	3.3	38
A6	Muito baixa	12	Alta	4.0	46
A7	Média	15	Alta	3.0	64
A8	Alta	16	Alta	3.3	86
A9	Baixa	12	Alta	3.3	48
A10	Baixa	13	Alta	3.0	23

Tabela 4 – Matriz de decisão

Os valores subjetivos dos resultados do conjunto fuzzy foram transformados em números, considerando seus respectivos resultados das funções de pertinência segundo a tabela abaixo

A x C numérica					
A1	0.5	14	0.7	3.3	48
A2	0.7	17	0.5	3.7	56
A3	0.3	13	0.7	3.0	53
A4	0.5	12	0.5	4.0	74
A5	0.3	14	0.5	3.3	38
A6	0.1	12	0.7	4.0	46
A7	0.5	15	0.7	3.0	64
A8	0.7	16	0.7	3.3	86
A9	0.3	12	0.7	3.3	48
A10	0.3	13	0.7	3.0	23

Tabela 5 – Matriz de decisão numérica

A tabela foi então normalizada para valores entre 0 e 1 para não considerar a discrepância de valores das grandezas diferentes.

A x C normalizada (0 < x _{ij} < 1)					
A1	0.71	0.86	1.00	0.83	0.48
A2	1.00	0.71	0.71	0.92	0.41
A3	0.43	0.92	1.00	0.75	0.43
A4	0.71	1.00	0.71	1.00	0.31
A5	0.43	0.86	0.71	0.83	0.61
A6	0.14	1.00	1.00	1.00	0.50
A7	0.71	0.80	1.00	0.75	0.36
A8	1.00	0.75	1.00	0.83	0.27
A9	0.43	1.00	1.00	0.83	0.48
A10	0.43	0.92	1.00	0.75	1.00

Tabela 6 – Matriz de decisão normalizada

Foi, então, atribuída a matriz normalizada relativa considerando o somatório de cada critério igual a 1 e dividindo o critério por esse somatório, a fim de se obter a contribuição relativa de cada critério no total.

A x C normalizada (prod)					
A1	0.119	0.097	0.109	0.098	0.099
A2	0.167	0.080	0.078	0.108	0.085
A3	0.071	0.105	0.109	0.088	0.090
A4	0.119	0.113	0.078	0.118	0.064
A5	0.071	0.097	0.078	0.098	0.125
A6	0.024	0.113	0.109	0.118	0.103
A7	0.119	0.091	0.109	0.088	0.074
A8	0.167	0.085	0.109	0.098	0.055
A9	0.071	0.113	0.109	0.098	0.099
A10	0.071	0.105	0.109	0.088	0.206

Tabela 7 – Matriz de decisão normalizada relativa

Foi calculada a entropia para a definição da quantidade de informação da matriz de decisão e a partir da entropia, foi calculado o grau de diversidade de informação contida em cada critério. O peso de cada critério pelo método da entropia é calculado pela diversidade de cada atributo dividido pela diversidade total, conforme a tabela 8. O somatório do peso de critério para caráter de verificação foi 1, conforme necessário.

Entropia	0.956	0.997	0.995	0.998	0.969	
Diversidade	0.044	0.003	0.005	0.002	0.031	0.09
Peso do critério	52%	3%	5%	3%	36%	1.00

Tabela 8 – Entropia, diversidade e peso dos critérios

Os pesos dos critérios foram então multiplicados por cada elemento da matriz normalizada para a obtenção da matriz de alternativas versus critérios ponderada. Desse modo o devido grau de importância de cada elemento foi calculado com base na diversidade de informação relativa contida na matriz, conforme a tabela abaixo.

A x C ponderada					
A1	0.373	0.029	0.055	0.023	0.173
A2	0.522	0.024	0.039	0.026	0.149
A3	0.224	0.031	0.055	0.021	0.157
A4	0.373	0.034	0.039	0.028	0.112
A5	0.224	0.029	0.039	0.023	0.219
A6	0.075	0.034	0.055	0.028	0.181
A7	0.373	0.027	0.055	0.021	0.130
A8	0.522	0.025	0.055	0.023	0.097
A9	0.224	0.034	0.055	0.023	0.173
A10	0.224	0.031	0.055	0.021	0.362

Tabela 8 – Matriz de decisão ponderada

Foram calculados os benefícios e os custos, sendo representados pela solução ideal positiva e a solução ideal negativa conforme a tabela 9.

Solução ideal positiva (d+)	0.522	0.034	0.055	0.028	0.362
Solução ideal negativa (d-)	0.075	0.024	0.039	0.021	0.097

Tabela 9 – Solução ideal positiva e negativa

A distância euclidiana de cada fornecedor foi então calculada referente às duas soluções: a positiva e a negativa conforme mostra a tabela 10.

Distância euclidiana	d+	d-
A1	0.240	0.308
A2	0.214	0.450
A3	0.362	0.162
A4	0.291	0.299
A5	0.331	0.193
A6	0.482	0.086
A7	0.276	0.300
A8	0.265	0.447
A9	0.353	0.169
A10	0.298	0.305

Tabela 10 – Distância euclidiana

A similaridade de cada alternativa foi calculada e a ordenação pode ser feita levando em consideração os valores em ordem decrescente

Similaridade	
A1	0.562
A2	0.678
A3	0.309
A4	0.507
A5	0.368
A6	0.152
A7	0.521
A8	0.628
A9	0.323
A10	0.505

Tabela 11 – Similaridade das alternativas

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A aplicação do modelo proposto se mostrou uma boa ferramenta para a análise dos fornecedores de empresas que ainda não são voltadas a dados e não possuem um histórico desses dados, mas possuem profissionais experientes, que podem fornecer conhecimento ao sistema.

O modelo de análise por números *fuzzy* se mostrou uma boa forma de separar os critérios e subcritérios de análise nas cinco dimensões de desempenho. A subjetividade da avaliação foi trazida para uma forma quantificável que permite a comparação de resultados ao longo do tempo e entre grupos diferentes de fornecedores. Desse modo, é possível fazer a análise de desempenho de forma

flexível, que atenda as exigências internas da empresa. Neste trabalho, apenas uma instância foi avaliada, mas, por exemplo, se ao longo do tempo a qualidade de determinada empresa diminuir, ficará evidente nas informações e medidas poderão ser tomadas. Conseqüentemente, pode-se calcular o custo da não-qualidade e analisar se ainda é interessante manter o fornecedor atual. A comparação entre fornecedores também é possível, assim como entre grupos de fornecedores. O objetivo de criar um modelo de análise a partir do conhecimento dos colaboradores se mostrou uma boa forma de enxergar a situação em determinado instante de tempo ou diante de algum agrupamento de empresas a fim de uma tomada de decisão mais assertiva. Trabalhos futuros nessa área podem contemplar a comparação de um grupo de fornecedores em determinado período ou diferentes grupos de fornecedores, além da análise de causas do desempenho.

Outro objetivo atendido foi a ordenação dos fornecedores pelo modelo TOPSIS. Embora a matemática do sistema não permita uma análise exata da ordenação pela definição dos critérios, é possível a partir de uma grande massa de dados, selecionar um grupo de fornecedores para uma análise mais detalhada. Assim, para uma grande quantidade de informação, o modelo se mostra eficiente. Porém, para uma quantidade pequena de empresas, alguns fatores específicos podem ser mais determinantes para a seleção, como o custo. Embora ajustes de pesos possam ser introduzidos, fica presente o empirismo da decisão. Daí o desenvolvimento de um modelo que leve em consideração as exigências da empresa na contratação de seus fornecedores pode fornecer maior controle na seleção das organizações.

Da mesma forma como a análise permitiu a evidência do bom desempenho, também permitiu a evidência do mal desempenho. Esse mal desempenho pode ser uma oportunidade de desenvolvimento da empresa ou de verticalização do negócio. Após identificados problemas específicos, é possível analisar o custo de melhoria e ganhos com esses investimentos e apoiar a decisão nesses aspectos.

Em suma, o modelo simples e semântico proposto, oferece uma boa forma de análise de fornecedores a partir da extração de conhecimento dos colaboradores para melhor tomada de decisão em relação aos fornecedores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALY, S.; VRANA, I.: Fuzzy expert marketing-mix model. AGRIC. ECON. – CZECH, 2005

BALLI, Serkan.; KORUKOĞLU, Serdar: Operating System Selection Using Fuzzy AHP And TOPSIS Methods. Mathematical and Computational Applications, Vol. 14, No. 2, 2009.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby; BOWERSOX, John C. Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos. 4ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

CORRÊA, Henrique Luiz. Gestão de Redes de Suprimento: Integrando Cadeias de Suprimento No Mundo Globalizado. São Paulo: Atlas, 2010.

LAZO, Juan Guillermo L.: Determinação do Valor de Opções Reais por Simulação Monte Carlo com Aproximação por Números Fuzzy e Algoritmos Genéticos. DEE-PUC-Rio, Agosto de 2004

MORE, Jesus D., de SÁ, Irene I. R., FERNANDES, Cláudia A.: Um enfoque fuzzy para tomada de decisões na empresa “O Boticário”. III SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia

PIRES, Sílvio R.I. Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos estratégias, práticas e casos – Supply chain management. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ROSS, Timothy J.: Fuzzy Logic with Engineering Applications. 3ª edição, Wiley 2010

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.