

MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO FUZZY PARA SELEÇÃO DE TRANSPORTADORA DE CARGAS RODOVIÁRIA

Marcelo Prado Sucena (Instituto Militar de Engenharia) E-mail: marcelosucena@gmail.com
Leonardo Marques da Silva - E-mail: leo15sk8silva@gmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta a aplicação e desenvolvimento do método matemático FSAW (*Fuzzy Simple additive weighting*), que tem como abordagem uma análise multicritérios quantitativos e, por meio da Teoria *Fuzzy*, uma abordagem de critérios qualitativos. O projeto em questão apresenta um estudo de caso na empresa, uma produtora de conteúdo audiovisual de entretenimento e jornalismo que, em decorrência deste processo produtivo possui a necessidade de transportar os materiais armazenados em suas instalações para locações externas, utilizando para isso fornecedores de transporte rodoviário de cargas que são escolhidos com base apenas no critério de custo. Com o estudo de caso, foi possível praticar e validar a aplicabilidade do modelo matemático. Para tanto, foi necessário determinar junto à empresa os critérios de avaliação e sua relevância para o negócio. O resultado obtido por meio da aplicação do método FSAW evidenciou a melhor opção de transportadora rodoviária de cargas que no estudo apresentado foi denominada de “Transportadora 5”, apresentando a pontuação de 0,797, superando assim todas as outras opções definidas. Além disso, o método foi aplicado de acordo com o contexto definido pela empresa em questão e, desta forma, pode servir como base para o processo de tomada de decisão.

Palavras-Chave: FUZZY-SAW, Análise Multicritérios, Transportadora rodoviária de cargas.

FUZZY MULTICRITERIY ANALYSIS METHOD FOR SELECTION OF SHIPPING COMPANY

Abstract: This work presents the application and development of the Fuzzy Simple Additive Weighting (FSAW) method, which has as its approach a quantitative multicriteria analysis and, through the Fuzzy Theory, a qualitative criteria approach. The project in question presents a case study in the company, a producer of audiovisual content entertainment and journalism that, as a result of this productive process has the need to transport the materials stored in its facilities to external locations, using for this transport providers of freight that are chosen based only on the cost criterion. With the case study, it was possible to practice and validate the applicability of the mathematical model. To do so, it was necessary to determine with the company the evaluation criteria and their relevance to the business. The result obtained through the application of the FSAW method showed the best option of a road freight forwarder that in the presented study was denominated "Transportadora 5", presenting the score of 0.797, surpassing all the other options defined. In addition, the method has been applied according to the context defined by the company in question and can therefore serve as a basis for the decision-making process.

Keywords: FUZZY-SAW, Multicriteria Analysis, Freight Carrier.

1. Considerações iniciais

Ao decorrer dos anos, as relações comerciais e econômicas aumentaram sua complexidade gradativamente e, com isso, as atividades executadas pelas pessoas envolvidas sofreram essa mesma mudança. Diariamente, decisões fazem parte da rotina de todos os colaboradores de uma empresa.

É preciso compreender que boa parte dessas decisões pode ser tomada analisando-se vários critérios diferentes, trazendo, assim, maior complexidade para escolher uma alternativa entre as várias opções.

A escolha de uma transportadora rodoviária de cargas engloba um conjunto de variáveis que influencia toda a operação de uma empresa e pode ser feita com bases subjetivas, como na intuição do indivíduo, ou sustentada por cálculos matemáticos que indiquem qual das escolhas

representa a mais adequada, segundo certos critérios.

Jannuzzi (2009) explica que as técnicas de Apoio Multicritérios à Decisão (AMD) objetivam buscar soluções, não necessariamente ótimas, mas, sim, que encontrem, dentre um conjunto de opções, aquela que melhor seja aproveitada dentro do contexto.

O AMD possui diversidade de métodos e algoritmos. Um deles é o SAW (*Simple Additive Weighting*), que, segundo Afshari (2010), é comprovadamente eficiente, prático e consiste em um procedimento matemático em que todos os critérios são avaliados individualmente e classificados com certo grau de importância, tornando possível ajustar as escolhas de acordo com as diferentes necessidades que sustentam essa decisão. Além disso, a escolha do método SAW deve-se ao fato de que ele pode ser potencializado, quando utilizado em conjunto com a “Números Fuzzy”, aumentando as possibilidades de análise e sendo capaz de levar a escolha baseada na pluralidade de critérios (quantitativos e qualitativos).

Neste contexto, pretende-se desenvolver um método matemático para escolha de transportadora rodoviária de cargas que melhor se adeque às necessidades apresentadas pela empresa objeto do estudo de caso, subsidiado pelo método multicritério FSAW (Fuzzy + SAW).

Tendo em vista o atual cenário da empresa do estudo de caso, os critérios decisivos são ignorados para a escolha da transportadora mais adequada, tendo como importância apenas o custo.

É evidente a necessidade de uma avaliação mais profunda e detalhada quanto aos critérios, que devem ser levados em consideração numa escolha de relevância para a operação da empresa.

Com a aplicação do modelo matemático proposto, os principais efeitos empresariais variam desde a redução de custo até uma melhora considerável no serviço prestado.

Com a introdução de apoio matemático no processo de análise da transportadora, é possível que nova cultura influencie as escolhas em outros setores da empresa, fazendo com que o método possa ser aproveitado em outras áreas que tenham necessidades plurais.

2. Metodologia

Para atingir os objetivos propostos nesse trabalho, em primeiro lugar, é necessário determinar os critérios de avaliação por meio de uma pesquisa explicativa que, segundo Prodanov (2013), tem como objetivo aprofundar a realidade por meio de controle e manipulação de variáveis, tendo como meta identificar as variáveis independentes e dependentes do fenômeno em questão para, então, aprofundar seu estudo. Por meio dessa pesquisa também serão levantados os graus de importância de cada critério, além de evidenciar quais são os valores mínimos aceitos.

Em seguida, desenvolver-se-á pesquisa descritiva que, ainda segundo Prodanov (2013), tem como intenção descrever os fatos observados sem interferir em nenhum deles e, desta forma, observar todas as características do fenômeno analisado e levantar seus dados. Assim, serão levantados quais fornecedores de transporte farão parte do processo de seleção, realizando inclusive o levantamento dos dados para cada critério definido. Consequentemente, é possível expurgar todas as transportadoras que não atingiram os mínimos requisitos necessários.

O próximo passo desenvolve-se o modelo matemático proposto (FSAW), utilizando-se de todos os dados coletados até então, tendo como ferramenta de suporte certo software de planilhas eletrônicas, que apoia o cálculo apresenta os resultados, evidenciando qual foi o fornecedor com a maior pontuação, sendo esse a melhor opção de escolha.

3. Sustentação teórica

3.1 Logística e o transporte rodoviário de carga

A logística, em uma empresa, tem papel fundamental na execução de praticamente todas as atividades, podendo estar envolvida em todos os processos produtivos, pois é inerente a qualquer negócio com movimentação física ou sistêmica de recursos. Em virtude disso, surge, então, a necessidade de administração especializada desta atividade, que tanto onera gastos.

Ainda segundo Machline (2011), o transporte de materiais, sendo ele dividido em (i) matérias primas, (ii) produtos em fabricação e (iii) produtos acabados, é um ponto de atenção na gestão industrial, podendo envolver infinidade de assuntos capazes de variar de estruturas físicas a sistemas de gestão de estoque e transporte. Desse modo, é possível entender que a movimentação de materiais é parte da atividade das empresas que possuem como recursos certos elementos físicos para executar as atividades de seu negócio.

Uma vez que há necessidade de se transportar recursos por meios rodoviários, surge então uma questão: deve-se fazer a gestão desta atividade ou contratar serviço especializado para tal? A resposta para essa pergunta é a importante decisão a ser tomada pelos gestores e, muitas vezes, depende de diversos fatores, não tendo assim verdade absoluta no que tange a essa questão.

Apesar disso, é amplamente difundida a prática de contratar fornecedores especializados em atividades que possuem pouca proximidade com a atividade real do negócio sendo, portanto, muito comum a contratação de transportadoras rodoviárias de cargas para executar as atividades de transporte de materiais.

O transporte de cargas é peça fundamental para a economia de forma geral, pois é a base da economia. Não obstante, existem diferentes formas de se transportar certa carga, normalmente classificadas pelo meio físico em que ela será transportada, comumente chamados de “modais”.

Segundo Ribeiro (2002), no Brasil o mais expressivo modo de transporte é o rodoviário, atingindo praticamente todos os pontos do território nacional, com volume médio de transporte de produtos semiacabados, principalmente em pequenas e médias distâncias.

O transporte rodoviário se destaca pela facilidade e versatilidade de se transportar materiais para os mais diferentes locais, uma vez que a malha rodoviária acompanha o crescimento das cidades, o que, por sua vez, viabiliza este tipo de serviço.

3.2 Análise multicritério de apoio à decisão (AMAD)

Também conhecida como Análise Multicritério, segundo Januzzy (2009), a AMAD busca por soluções de problemas que se adequem à realidade de cada problema. Tem como premissa a criação de uma hierarquia de critérios, que determina os de maior importância, fazendo com que as soluções dependam diretamente da forma como os critérios são dispostos. A AMAD segue um conjunto de procedimentos que, normalmente, é compartilhado com os diversos métodos de análise multicritério pertencentes a essa área de estudo. Estes critérios, por sua vez, são (i) especificar o problema a ser resolvido, (ii) definir os critérios e seus pesos e (iii) realizar uma comparação quantitativa e qualitativa entre os valores de cada critério.

Nesse ínterim, vale ressaltar, também, o método *Simple Additive Weighting* (SAW), que é um dos muitos pertencentes à AMAD e possui princípios básicos, porém, é conhecido por sua simplicidade e eficiência comprovadas. Siahann (2017) explica que este método consiste, basicamente, em uma soma ponderada entre todos os atributos das opções e aquela que obtiver o maior valor pode ser considerada a melhor opção. Por ser simples, os algoritmos que aplicam esse conceito exigem muito menos processamento em larga escala.

A função Utilidade (S_i) da i -ésima alternativa é a parte central de todo o processo decisório

baseado na metodologia SAW, representando o valor final da pontuação obtida pela alternativa calculada. De acordo com Afshari (2010), o cálculo é feito por intermédio do somatório da multiplicação dos pesos (w_j) do j -ésimo critério pelos valores normalizados (r_{ij}) da i -ésima alternativa do j -ésimo critério, como pode ser observado na expressão 1.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} \quad (1)$$

Ainda segundo Afshari (2010), a normalização (r_{ij}) consiste na transformação de todos os valores de diferentes escalas de medida (Km, R\$, Kg, Unidade, entre outros) para uma única escala, que varia de 0 a 1.

Existem várias formas para se realizar o processo de normalização, contudo, nesse estudo apenas duas serão utilizadas, dependendo do contexto de cada critério. A expressão 2.1 é utilizada em critérios em que, quanto maiores os valores, mais vantajosos eles são e, quando o inverso é verdadeiro, a expressão 2.2 deve ser aplicada. Vale ressaltar que o cálculo é feito sobre os valores não normalizados (x_{ij}) da i -ésima alternativa do j -ésimo critério e que $\max(x_{ij})$ representa o maior valor encontrado, entre todas as alternativas do critério calculado, e $\min(x_{ij})$ o menor.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (2.1)$$

$$r_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (2.2)$$

A ordenação dos valores é uma etapa subjetiva e depende das necessidades e dos objetivos dos tomadores de decisão, o que demonstra que a solução é específica para um contexto. É importante salientar que diferentes critérios podem ter o mesmo grau de importância podendo, assim, apresentarem o mesmo valor de ordenação.

Existem muitas formas de se atribuir um valor para o peso, porém, no presente estudo será utilizada a forma recíproca que se caracteriza pela atribuição de um escalar (z_j) para o j -ésimo critério, sendo a ordem de importância crescente, ou seja, quanto menores os valores atribuídos, maior é a relevância do critério para o estudo. Já a expressão 3 representa o cálculo do peso (w_j) do j -ésimo critério que se entende como a divisão do inverso do escalar atribuído pelo somatório de todos os inversos.

$$w_j = \frac{\frac{1}{z_j}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{z_k}} \quad (3)$$

3.3 Teoria Fuzzy

Diariamente, pessoas de todo o mundo utilizam termos subjetivos para os mais diversos fins, desde um simples comentário de aprovação, como “achei essa comida muito boa”, até situações que exigem um número mais exato, como uma pesquisa de satisfação tendo como alternativas de resposta “discordo plenamente, discordo, concordo e concordo plenamente”.

De forma geral, os termos supracitados podem ser considerados vagos e, dependendo do contexto social aplicado, podem até mesmo mudar de significado. Entende-se, então, que é necessária uma forma para se qualificar conceitos subjetivos e representá-los por meio da ciência do conhecimento humano. E, com esse objetivo, a teoria Fuzzy é utilizada principalmente para a construção de modelos matemáticos baseados em conceitos subjetivos.

Segundo Abar (2005), o grau de pertinência inicialmente tinha uma variação de 0, ½ e 1, e, posteriormente, tornou-se uma variação de infinitos valores entre 0 e 1. Esse pensamento foi sugerido pelo lógico polonês Jan Lukasiewicz (1878-1956), que foi o precursor das noções lógicas com conceitos “vagos”.

Na figura 1 tem-se um exemplo de como é representada uma função de pertinência. O eixo horizontal representa o universo de discurso que, neste caso, é a temperatura medida em graus centígrados; já o eixo vertical representa o grau de pertinência em que, quanto mais próximo de 1, maior é o grau de possibilidade de os termos linguísticos serem verdadeiros, sendo esses representados pelas linhas do gráfico.

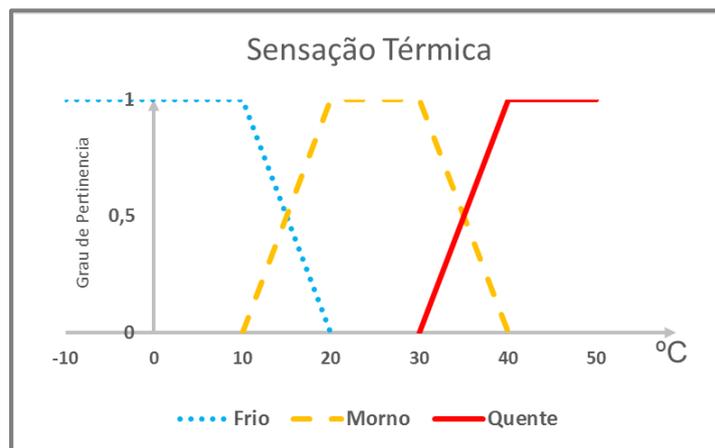


Figura 1 – Variável linguística sensação térmica

Ademais, uma variável Fuzzy é formada por N termos linguísticos compreendidos em um mesmo universo de discurso. Como pôde ser observado na figura 1, a variável Fuzzy “Sensação Térmica” é composta pelos termos linguísticos ‘frio’, ‘morno’ e ‘quente’, ambos compreendidos em um mesmo universo de discurso que, neste caso, é uma escala de temperatura variando de -10°C a 50°C.

Segundo Gomide *et al.* (1995), os termos linguísticos possuem a eles atribuídos uma função de pertinência a qual, por sua vez, é a representação gráfica da variância do grau de possibilidade inerente ao termo linguístico no âmbito do universo de discurso; ou seja, representa o quão possível é a veracidade do termo linguístico de acordo com os valores do universo de discurso.

Ainda quanto a Figura 1, pode-se observar que em 0°C o grau de possibilidade da função de pertinência respectiva ao termo linguístico “frio” é 1, ou seja, é total a possibilidade do termo linguístico “frio” ser verdadeiro quando ocorrer temperatura igual a 0°C, e todos os outros termos linguísticos não serão verdadeiros.

Entre as inúmeras formas de se representar uma função de pertinência, as mais comuns utilizadas são as triangulares e trapezoidais, que são mais facilmente implementadas em sistemas computacionais, haja vista sua simplicidade.

Segundo Souza (2010), pode-se representar uma função de pertinência triangular, como na Figura 2, tomando-se os pontos SL, C e SR (*Spread Left, Center e Spread Right*), sendo:

$$\mu(x) = \frac{x - SL}{C - SL}, \text{ Para } SL \leq x \leq C;$$

$$\mu(x) = \frac{C - x}{C - SR}, \text{ Para } C \leq x \leq SR \text{ e};$$

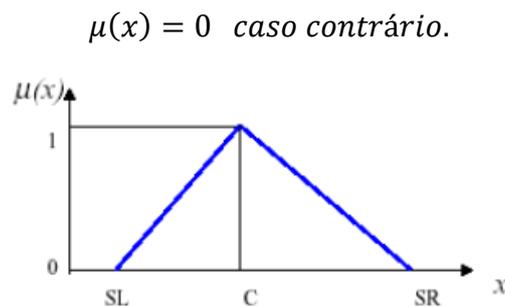


Figura 2 – Exemplo de função de pertinência triangular

Ainda segundo Souza (2010), a função de pertinência trapezoidal pode ser representada pelos pontos a, b, c e d (Figura 3), regulando a inclinação das bordas em que:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{1 - (b - x)}{b - a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c}, & c < x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases}$$

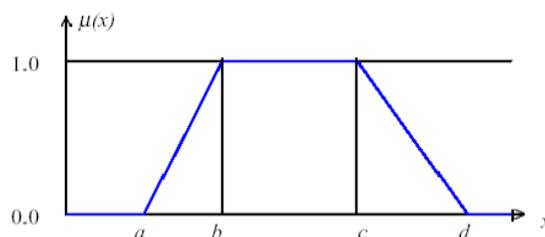


Figura 3 – Exemplo de função de pertinência trapezoidal

Segundo Sucena (2017), pode-se atribuir número escalar que seja representativo para determinado termo linguístico em uma variável Fuzzy. Desta forma, é possível realizar o ranqueamento dos números Fuzzy, ação essa fundamental para a análise de dados e tomada de decisão. Dentre os métodos mais comuns apresenta-se o da distribuição triangular $R = \frac{a1+2a2+a3}{3}$ para número triangular $R = \frac{a1+2(\frac{a2+a3}{2})+a4}{3}$ para números trapezoidais;

4. Estudo de caso

4.1 Pesquisa explicativa

Junto à empresa foram definidos todos os critérios a serem avaliados, além de determinar o grau de importância de cada elemento, seguindo escala de 1 a 10, sendo 1 mais relevante e 10 menos relevante.

Em seguida foram definidos todos os valores mínimos e máximos necessários para executar as atividades propostas pela empresa. Além disso, também foi necessário determinar a unidade de medida de cada critério e seu tipo de normalização.

Na Tabela 1 pode-se observar todos os critérios definidos e suas respectivas siglas; na Tabela 2 contém todas as informações complementares que foram coletadas.

Tabela 1 – Critérios e siglas

Critérios	Sigla
Abrangência de atendimento	C1
Custo por Km	C2
Tempo de coleta	C3
Tempo de entrega	C4
Rastreabilidade	C5
Total de caminhões até 5 ton.	C6
Canais de atendimento	C7
Abrangência do seguro	C8
Total de carretas	C9
Avaliação de reclamações	C10
Total de veículos	C11
Serviço de atendimento ao cliente	C12
Conservação da frota	C13
Total de carros	C14

Tabela 2 – Informações e definições

Sigla	Relevância	Unidade	Normalização	Valor Mín/Máx
C1	1	Qualitativa	Maior	Regular
C2	1	R\$/Km	Menor	N/A
C3	2	Horas	Menor	24 Horas
C4	2	Horas/Km	Menor	0,5 horas/km
C5	3	Qualitativa	Maior	Ruim
C6	4	Unidades	Maior	2
C7	5	Qualitativa	Maior	Ruim
C8	5	Qualitativa	Maior	N/A
C9	6	Unidades	Maior	1
C10	7	%	Maior	N/A
C11	8	Unidades	Maior	N/A
C12	8	Qualitativa	Maior	Regular
C13	9	Qualitativa	Maior	Regular
C14	10	Unidades	Maior	N/A

Cada critério escolhido relaciona-se a certos conceitos, que são:

- ✓ Abrangência de atendimento (C1): Critério qualitativo em que a avaliação é dada de acordo com a abrangência de locais de atendimento;
- ✓ Custo por Km (C2): Critério quantitativo em reais por quilômetro de serviço prestado;
- ✓ Tempo de coleta (C3): Critério quantitativo em que se define o tempo máximo que a transportadora levará para coletar os materiais solicitados;
- ✓ Tempo de Entrega (C4): Critério quantitativo em que a transportadora deve definir qual é o tempo máximo necessário para se entregar os materiais em seus destinos definidos;
- ✓ Rastreabilidade (C5): Critério qualitativo em que as formas de se rastrear a carga são avaliadas, podendo partir desde um contato telefônico até uma plataforma digital com monitoramento por GPS;
- ✓ Total de caminhões até 5 ton. (C6): Critério quantitativo em que a transportadora deve informar o total de caminhões disponíveis em sua frota para executar os atendimentos;

- ✓ Canais de atendimento (C7): Critério qualitativo de avaliação dos canais de atendimento, em que o avaliador deve verificar a facilidade de se comunicar com a transportadora;
- ✓ Abrangência do seguro (C8): Critério qualitativo em que, quanto maior for a abrangência, melhor é o seguro proposto pela transportadora;
- ✓ Total de carretas (C9): Critério quantitativo em que a transportadora deve informar o total de carretas disponíveis em sua frota para executar os atendimentos;
- ✓ Avaliação de reclamações (C10): Critério quantitativo em que se deve observar o % de atendimento das reclamações no site: www.reclameaqui.com.br e, caso a transportadora não possua nenhuma avaliação, esse critério deve ser zerado;
- ✓ Total de veículos (C11): Critério quantitativo em que a transportadora deve informar o total de veículos disponíveis em sua frota para executar os atendimentos, independentemente do tipo de veículo;
- ✓ Serviço de atendimento ao cliente (C12): Critério qualitativo em que o atendimento ao cliente deve ser avaliado, seguindo como parâmetro a cordialidade, a presteza e a eficiência no atendimento;
- ✓ Conservação da frota (C13): Critério qualitativo em que serão avaliadas as condições em geral da frota de veículos, observando principalmente pontos como: pintura, pneus, ruídos, vazamentos e limpeza dos veículos;
- ✓ Total de carros (C14): Critério quantitativo em que a transportadora deve informar o total de carros disponíveis em sua frota para executar os atendimentos.

4.2 Pesquisa descritiva

Junto à empresa foram selecionadas cinco transportadoras para a realização da coleta dos dados e, para simplificar a exibição dos dados, serão denominadas sequencialmente como T1 a T5.

Inicialmente foi necessário que todas as transportadoras enviassem os dados quantitativos. Todos os critérios qualitativos foram definidos pelos responsáveis do setor de transporte, seguindo os seguintes termos linguísticos: péssimo, ruim, regular, bom e ótimo. Todos os dados foram, então, incluídos na matriz de decisão, que pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 – Matriz de decisão inicial

Opções	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
T1	Regular	R\$ 1,40	12	0,2	Ruim	2	Bom	Regular	3	0%	10	Regular	Regular	5
T2	Bom	R\$ 1,30	24	0,3	Ruim	5	Bom	Ruim	1	90%	8	Regular	Bom	2
T3	Bom	R\$ 1,60	15	0,5	Ruim	2	Regular	Ruim	1	100%	6	Bom	Regular	3
T4	Regular	R\$ 2,00	10	0,3	Bom	4	Bom	Regular	2	85%	10	Ótimo	Regular	4
T5	Ótimo	R\$ 2,10	20	0,6	Regular	10	Bom	Regular	3	100%	23	Regular	Bom	10

4.3 Estudo de caso

Para o desenvolvimento do método matemático FSAW é necessário criar um modelo em que o Objetivo é relacionado às alternativas por meio dos critérios definidos. O modelo em questão pode ser observado na Figura 4.

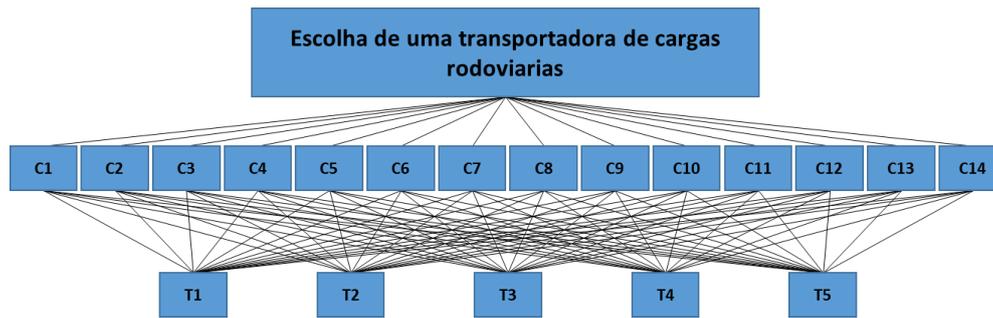


Figura 4 – Modelo de relacionamento

Em seguida, é necessário desenvolver uma variável Fuzzy para a definição dos critérios qualitativos. Para tanto, foram definidos cinco termos linguísticos para a avaliação dos critérios, que são: péssimo, ruim, regular, bom e ótimo, dentro de universo de discurso definido com valores entre 0 e 10, em que quanto mais próximo de 10 melhor é a classificação.

Denominada de “Avaliação Qualitativa”, a variável Fuzzy em questão pode ser observada na Figura 5.

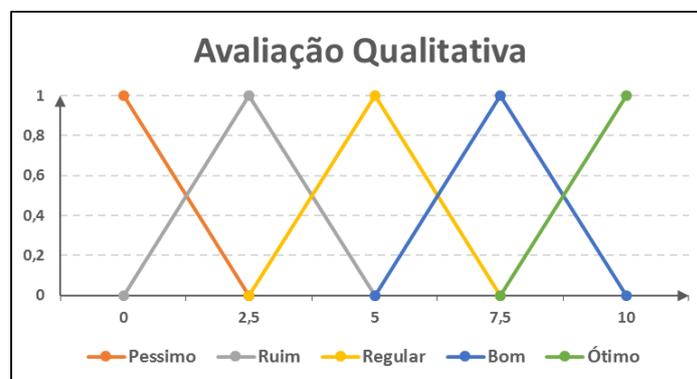


Figura 5 – Variável Fuzzy para Avaliação Qualitativa

Os termos linguísticos foram representados por meio de funções de pertinência triangulares e podem ser representados da seguinte forma: péssimo (0, 0, 2.5), ruim (0, 2.5, 5), regular (2.5, 5, 7.5), bom (5, 7.5, 10) e ótimo (7.5, 10, 10).

É necessário ainda determinar os valores CRISP que melhor representam os termos linguísticos dentro do universo de discurso. E, por meio da distribuição triangular, tem-se os seguintes valores para cada termo linguístico:

$$\begin{aligned}
 \text{Péssimo} &= \frac{0+2(0)+2.5}{4} = 0.625 & \text{Ruim} &= \frac{0+2(2.5)+5}{4} = 2.500 & \text{Regular} &= \frac{2.5+2(5)+7.5}{4} = 5,000 \\
 \text{Bom} &= \frac{5+2(7.5)+10}{4} = 7.500 & \text{Ótimo} &= \frac{7.5+2(10)+10}{4} = 9.375
 \end{aligned}$$

Por essa perspectiva é possível, então, realizar a substituição dos termos linguísticos por seus respectivos valores CRISP (Tabela 4).

Tabela 4 – Matriz de Decisão com atribuição de valores CRISP

Opções	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
T1	5,000	R\$1,40	12	0,2	5,000	2	7,5	5,0	3	0%	10	5,0	5,0	5
T2	7,500	R\$1,30	24	0,3	7,500	5	7,5	2,5	1	90%	8	2,5	7,5	2
T3	7,500	R\$1,60	15	0,5	7,500	2	5,0	2,5	1	100%	6	2,5	5,0	3
T4	5,000	R\$2,00	10	0,3	5,000	4	7,5	5,0	2	85%	10	5,0	5,0	4
T5	9,375	R\$2,10	20	0,6	9,375	10	7,5	5,0	3	100%	23	5,0	7,5	10

Em seguida, é necessário realizar o procedimento de normalização e, assim, converter todas as escalas de medida para uma única, que varia de 0 a 1. Na Tabela 5 pode-se observar esta conversão que foi realizada baseando-se no comportamento de cada critério, utilizando as fórmulas 2.1 e 2.2 anteriormente citadas.

Pode-se observar o exemplo de cálculo a seguir para o critério “C2” que possui como padrão de normalização a forma “Menor Melhor”: $Min(C2) = 1,30$; $r(T1; C2) = \frac{1,30}{1,40} = 0,93$. O inverso, “Maior Melhor”, pode ser observado a seguir: $Max(C1) = 9,375$; $r(T3; C1) = \frac{7,5}{9,375} = 0,80$

Tabela 5 – Matriz de Decisão com valores normalizados

Opções	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
T1	0,53	0,93	0,83	1,00	0,53	0,20	1,00	1,00	1,00	0,00	0,43	1,00	0,67	0,50
T2	0,80	1,00	0,42	0,67	0,80	0,50	1,00	0,50	0,33	0,90	0,35	0,50	1,00	0,20
T3	0,80	0,81	0,67	0,40	0,80	0,20	0,67	0,50	0,33	1,00	0,26	0,50	0,67	0,30
T4	0,53	0,65	1,00	0,67	0,53	0,40	1,00	1,00	0,67	0,85	0,43	1,00	0,67	0,40
T5	1,00	0,62	0,50	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Necessita-se ainda definir os pesos de cada critério, tal como na Tabela 6, definidos por meio da forma recíproca. A definição do grau de relevância de cada critério foi feita em conjunto com a empresa, essa que baseou suas escolhas na percepção e experiência dos gestores responsáveis pelo setor de transportes.

A seguir um exemplo de cálculo para determinar o peso do critério “C1”, todos os outros seguiram o mesmo padrão: $Denominador = \sum_{k=1}^n \frac{1}{z_k} = 4,75$; $W(C1) = \frac{1/1}{4,75} = 0,210$

Tabela 6 – Relevância e Peso

Critério	Relevância	Peso (W)
C1	1	0,210
C2	1	0,210
C3	2	0,105
C4	2	0,105
C5	3	0,070
C6	4	0,053
C7	5	0,042
C8	5	0,042
C9	6	0,035
C10	7	0,030
C11	8	0,026
C12	8	0,026
C13	9	0,023
C14	10	0,021

Com os valores normalizados e os pesos definidos é possível realizar a aplicação da Função Utilidade, representada anteriormente pela fórmula 1. Na Tabela 7, apresentam-se os resultados.

A aplicação dos pesos consiste na multiplicação do peso pelo valor normalizado, como por exemplo: $w(C1).r(T1; C1) = 0,210 \times 0,53 = 0,11$

Tabela 7 – Aplicação dos pesos

Opções	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
T1	0,11	0,20	0,09	0,11	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01
T2	0,17	0,21	0,04	0,07	0,06	0,03	0,04	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,00
T3	0,17	0,17	0,07	0,04	0,06	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
T4	0,11	0,14	0,11	0,07	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01
T5	0,21	0,13	0,05	0,04	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02

Por fim, obtêm-se a melhor transportadora, segundo os 14 critérios, como observado na Tabela 8, que apresenta os valores ordenados de forma decrescente pela função utilidade.

O cálculo final é dado pelo somatório de todos os valores com seus pesos atribuídos: $S(T1) = 0,11 + 0,20 + 0,09 + 0,11 + 0,04 + 0,01 + 0,04 + 0,04 + 0,04 + 0,00 + 0,01 + 0,03 + 0,02 + 0,01 = 0,731$

Tabela 8 – Resultados da função Utilidade

Opções	Si
T5	0,797
T1	0,731
T2	0,727
T4	0,677
T3	0,651

5 Considerações finais

Com base nos resultados obtidos e apresentados na Tabela 8 é possível concluir que a melhor opção de escolha é a Transportadora 5 (T5), que obteve pontuação de 0,797, ocupando a primeira posição entre as outras alternativas.

É importante mencionar que os resultados obtidos são absolutamente relacionados aos critérios e aos seus graus de relevância, tal como definidos anteriormente. Caso ocorra alguma mudança no cenário observado, este estudo em questão não deve ser utilizado como base na tomada de decisão, sendo, portanto, necessária a realização de todos os cálculos novamente.

Além disso, outros critérios podem ser incorporados ao modelo, não só pela empresa, mas também utilizando investigação bibliográfica.

Percebe-se também que, além de eficiente, a utilização do método multicritério FSAW é adequado para apoio ao processo decisório, sendo de simples implementação em aplicativo computacional.

Após a implementação deste modelo e o estudo de caso apresentaram-se a estrutura e os conceitos associados para os funcionários da empresa. A equipe de gestão elogiou a simplicidade e os resultados obtidos, permitindo-se certa luz de mudança na cultura para escolha de empresa, meramente no quesito custo.

Bibliografia

- ABAR, C.A.A.P.** Noções de Lógica Matemática: O Conceito "Fuzzy", Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2005.
- AFSHARI, A. et al.** Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 1, No. 5, December 2010.
- CAIADO, R. et al.** Análise multicritério da ecoeficiência do transporte de cargas com veículos leves. 2018.
- GIL, A.C.** Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. 2002. São Paulo. Editora Atlas S.A. 2002.
- GOMIDE, F.A.C. et al.** Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações. Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial. São Paulo. 1995.
- GRANEMANN, S.R. e GARTNER, I.R.** Modelo Multicriterial para escolha modal/ sub-modal de transporte. 2000.
- GUARNIERI, P.** Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. *RAC*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, art. 1, pp. 1-25, Jan./Fev. 2015.
- JANNUZZI, P.M. et al.** Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. *Informática Pública* ano 11 (1) 69 – 87, 2009.
- LIEGGIO JUNIOR, M., GRANEMANN, S. R. e SOUZA, O. A.** Aplicabilidades da análise multicritério às problemáticas de decisão no transporte rodoviário de produtos perigosos: uma perspectiva teórica. 2012. *Journal of Transport Literature*, vol. 6, n. 2, pp. 197- 217.
- MACHLINE, C.** Cinco décadas de logística empresarial e administração da cadeia de suprimentos no Brasil. *Rev. adm. empres.* vol.51 no.3. São Paulo. May/June, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-75902011000300003&script=sci_arttext&tlng=pt.
- MARINS, F.A.S.** Introdução à Pesquisa Operacional. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.
- ORTEGA, N.R.S.** Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina. Universidade de São Paulo. Instituto de Física. São Paulo. 2001.
- PACHECO, E.A.; DROHOMERETSKI, Everton e CARDOSO, Patrícia Alcântara.** A decisão do modal de transporte através da metodologia AHP na aplicação da logística enxuta: um estudo de caso. 2008.
- PRODANOV, C.C. e FREITAS, E.C.de.** Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2a edição Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- SOUZA, O. do N.** Introdução à Teoria dos Conjuntos Fuzzy. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Londrina. 2010.
- SUCENA, M.M.** Matemáticos Aplicados à Engenharia de Produção. Disponível em: <http://www.sucena.eng.br/eng_producao/2017/UNESA_M%C3%89T_MAT_APL_ENG_PROD_2017_1.pdf>. Acesso em: 24/05/2019.