

Article

## Um Novo Método THOR com Entrada de Dados Fuzzy Aplicado ao Porto Rio Grande/RS

Elacoste, T.S.<sup>1,\*</sup>, Machado, C.M. S.<sup>2</sup> and Longaray, A.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande; ticiane\_rg@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande; catiamachado.furg@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande; andrelongaray@gmail.com

\* Correspondence: ticiane\_rg@hotmail.com

Received: 01/12/22; Accepted: 13/12/22; Published: 31/01/23

**Resumo:** O novo algoritmo THOR com entrada de dados fuzzy foi desenvolvido com o intuito de reduzir o esforço cognitivo do decisor na tomada de decisão. Para apresentar a aplicabilidade do THOR com entrada de dados fuzzy, foi realizado um estudo de caso, com os indicadores de desempenho portuário com relação a economicidade dos serviços prestados aos navios e tendo o Porto do Rio Grande como objeto de estudo, tomando como base a opinião dos especialistas das empresas privadas atuantes no cais público. Os resultados obtidos pelo novo método são incentivadores e de grande relevância para o plano de ação portuário.

**Palavras-chave:** Método multicritério; Fuzzy; THOR; Sistema portuário

---

## A New THOR Method with Fuzzy Data Entry Applied to Porto of Rio Grande/RS

**Abstract:** The new THOR algorithm with fuzzy data entry was developed in order to reduce the cognitive effort of the decision maker in decision-making. To present the applicability of THOR with fuzzy data entry, a case study was carried out, with port performance indicators in relation to the economy of services provided to ships and having the Port of Rio Grande as an object of study, based on the opinion of the experts working in the private companies operating on the public docks. The results obtained by the new method are encouraging and of great relevance to the port action plan.

**Keywords:** Multicriteria method; Fuzzy; THOR; Port system

---

### 1. Introdução

Decidir é uma ação que tem por objetivo buscar a solução para determinado problema. O processo de decisão é desafiador, pois os decisores são responsáveis pela contribuição através de suas concepções para a tomada de decisão.

De acordo com Balusa e Gorai (2019), a tomada de decisão pode ser entendida como um processo de identificar um problema específico e selecionar uma postura para resolvê-lo a partir do ponto de vista dos julgamentos dos especialistas envolvidos nos sistema decisório. Partindo dessa definição, torna-se mais cristalino o entendimento de que o processo decisório fica associado diretamente ao conhecimento do especialista perante a adversidade e ao avanço tecnológico.

Conforme Hilletoft et al. (2019) o processo decisório, por ser dependente da opinião do decisor, está sujeito a falibilidade, bem como a confusão, incerteza, ambiguidade e até mesmo uma imprevisibilidade perante a informação julgada.

Com o intuito de amenizar tais atribuições que Liao (1996), afirma que uma alternativa para resolver essas adversidades, seria a transformação do pensamento humano em rótulos linguísticos, evadindo dos valores numéricos, criando um ambiente agradável para o julgamento. Além disso, para comportar a incerteza dos julgamentos, segundo Balusa e Gorai (2019) os métodos multicritério buscam se integrar à teoria fuzzy.

Nesse sentido que foi desenvolvido o método THOR com entrada de dados fuzzy, o qual possui a capacidade de identificar e ajustar as imprecisões e ambiguidades existentes na tomada de decisão, tornando assim o processo decisório facilitador e com resultados de qualidade.

Por apresentar uma importância significativa para o Estado do Rio Grande do Sul, o Porto do Rio Grande foi o objeto de estudo do presente trabalho. O método THOR com entrada de dados fuzzy, foi utilizado para a execução do objetivo principal, sendo esse objetivo o de propor e identificar um melhor plano de ação para os serviços prestados aos navios, com base na opinião dos operadores atuantes, em relação aos três principais tipos de cargas movimentadas pelo vigente porto.

Este trabalho está estruturado em quatro seções. Após a introdução, a seção 2 apresenta o método THOR com entrada de dados fuzzy; a seção 3, expõe o estudo de caso e, por fim a seção 4 aborda as considerações finais.

## 2. THOR com Entrada de Dados Fuzzy

O Algoritmo Híbrido de Apoio Multicritério à Decisão para Processos Decisórios com Alternativas Discretas, acrônimo THOR, foi desenvolvido pelo Professor Carlos Francisco Simões Gomes, no ano de 1999, em sua tese de doutorado. Sendo esse método com base na eliminação dos critérios redundantes e no monitoramento da imprecisão.

Atualmente uma nova versão do THOR foi criada, intitulada THOR com entrada de dados fuzzy, desenvolvida pela autora do presente trabalho, no ano de 2022, em sua tese de doutorado.

De acordo com Gomes (2005), o algoritmo é fundamentado tanto na escola americana, através da aplicação da teoria da utilidade e multicritério, quanto na escola francesa que utiliza a modelagem de preferência. Conforme Gomes e Gomes (2014), o THOR utiliza a teoria da utilidade para avaliar o valor das alternativas em situações complexas, a modelagem de preferência serve para indicar as relações de sobreclassificação e a teoria multiatributo, com o intuito de apresentar a dominância e a hierarquia dos valores das alternativas. Além disso, emprega a teoria dos conjuntos nebulosos, a qual juntamente com a teoria dos conjuntos aproximativos trata a nebulosidade, imprecisão e indiscernibilidade.

O algoritmo THOR com entrada de dados fuzzy pode ser dividido em cinco etapas. A primeira consiste na identificação das restrições, objetos, análise do problema e dos critérios. A segunda etapa é a de atribuição dos pesos dos critérios e alternativas. A escala fuzzy para a ponderação dos decisores, foi desenvolvida com o intuito de reduzir a carga cognitiva no processo de decisão, através da teoria fuzzy.

Além das especificidades supracitadas a escala fuzzy, foi desenvolvida de acordo com o modelo fuzzy proposto por Dhunny et al. (2019), o qual segue três etapas: a fuzzificação, a inferência fuzzy e a defuzzificação.

Quanto a fuzzificação, o peso atribuído pelo decisor é fuzzificado, ou seja, o número crisp informado será transformado em um número fuzzy triangular, através do formalismo (1), é definido segundo Van Laarhoven e Pedrycz (1983), esse número fuzzy de base  $\delta$ ,

$$(b - \delta, b, b + \delta) \quad (1)$$

onde  $b$  é o valor estipulado pelo decisor apresentando o maior grau de pertinência.

Se houver mais de um decisor, a inferência fuzzy é a fase responsável pela agregação das matrizes de decisão dos julgadores, através das operações com números fuzzy. Essa integração ocorre por intermédio da média aritmética fuzzy, através de (2), a qual é definida por Buckley (1984),

$$A_M = \frac{1}{n} * \left( \sum_{i=1}^n a_i, \sum_{i=1}^n b_i, \sum_{i=1}^n c_i \right) \tag{2}$$

onde  $n$  é a quantidade de decisores que fornecem os julgamentos para compor a matriz de decisão.

Em relação a determinação da pertinência, essa será calculada após a agregação dos valores. Sendo utilizada a função de associação fuzzy, conforme Jun Li (1999) e através do formalismo (3), um número fuzzy triangular  $A = (a, b, c)$  é um subconjunto fuzzy  $R$ , com uma função de associação linear por partes  $\mu_A$ ,

$$\mu_A = \begin{cases} \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \tag{3}$$

onde  $a = b - \delta$  e  $c = b + \delta$ , os extremos do número fuzzy triangular.

Além disso, é nessa etapa que ocorre a determinação da discordância e a definição dos limitantes. A discordância é dada pela máxima amplitude total dos julgamentos e os valores limite de preferência,  $p$  e de indiferença  $q$ , determinados respectivamente como o  $\frac{2}{3}$  e  $\frac{1}{3}$  do desvio padrão populacional de todos os julgamentos.

De posse da matriz de agregação, o sistema encontra-se pronto para a fase de defuzzificação. O processo de defuzzificação, segundo Bajestani et al. (2018), é responsável pela conversão do número fuzzy para um número crisp, tornando os resultados obtidos mais nítidos.

Triverdi et al. (2017) definem a defuzzificação através do formalismo (4), o novo método centroide,

$$D_A = \frac{1}{3} \left( \sqrt{(a + b + c)^2 + 1} \right) \tag{4}$$

onde  $a, b$  e  $c$  são valores do número fuzzy estipulado pelo decisor.

A terceira etapa necessita dos valores defuzzificados e dos limitantes. Esses limitantes segundo Gomes e Costa (2015), tem por objetivo de controlar a intensidade de preferência e servem como base para a classificação das alternativas em: indiferentes, preferência fraca e estrita. Os formalismos (5), (6) e (7), definem respectivamente as classificações supracitadas,

$$aI_jb : -q \leq |g(a) - g(b)| \leq q \tag{5}$$

$$aQ_jb : q \leq |g(a) - g(b)| \leq p \tag{6}$$

$$aP_jb : g(a) - g(b) > p \tag{7}$$

onde  $g(a)$  e  $g(b)$  representa o ganho das alternativas  $a$  e  $b$  no mesmo critério.

A quarta etapa está vinculada a comparação entre as alternativas, construindo assim, os três cenários  $S_1, S_2$  e  $S_3$ , definidos respectivamente pelas expressões (8), (9) e (10), sendo essas funções aditivas não transitivas.

$$S_1 : \sum_{j=1}^n (w_i | aP_jb) > \sum_{j=1}^n (w_j | aQ_jb + aI_jb + aR_jb + bQ_ja + bP_ja) \tag{8}$$

$$S_2 : \sum_{j=1}^n (w_i | aP_jb + aQ_jb) > \sum_{j=1}^n (w_j | aI_jb + aR_jb + bQ_ja + bP_ja) \tag{9}$$

$$S_3 : \sum_{j=1}^n (w_i | aP_jb + aQ_jb + aI_jb) > \sum_{j=1}^n (w_j | aR_jb + bQ_ja + bP_ja) \tag{10}$$

Segundo Cardoso et al. (2009), o cenário  $S_1$  pontuará somente a atratividade da alternativa que, quando comparada as demais apresenta preferência estrita. O cenário  $S_1$  é considerado o mais exigente quando comparado aos cenários  $S_2$  e  $S_3$ .

A quinta etapa é caracterizada pelo processo de escolha da alternativa. Nessa etapa o grau de imprecisão é determinado a partir do grau de pertinência já estabelecido. Este será responsável por indicar tanto os critérios quanto as alternativas a serem excluídos do modelo. O procedimento para a exclusão está atrelado ao valor deste grau, se este for elevado, remove-se a alternativa ou critério que causa essa influência e realimenta o sistema, caso contrário, o modelo fornecerá a hierarquia das alternativas. O decisor escolhe a melhor alternativa, pois o método apenas sugere uma ordenação.

### 3. Estudo de Caso – Porto do Rio Grande

O Porto do Rio Grande, conforme Portos RS (2020), abriga o complexo portuário do Estado do Rio Grande do Sul, o qual é formado pelo: Porto Velho, Porto Novo e Superporto. O Porto Velho é utilizado apenas por embarcações pesqueiras e de pequeno porte, terminal de passageiros, área de ensino e pesquisa, turismo e lazer, sem a presença de operações portuárias. Já o Porto Novo é destinado a movimentação portuária permitindo a atracação de navios e barcas, possui 16 armazéns e silos do Terminal Logístico de Arroz com capacidade de 50 mil toneladas. Por fim, o Superporto abriga os terminais especializados de uso privado e os arrendamentos. Os principais tipos cargas movimentados pelo porto são as seguintes: carga viva, carga de projeto rodantes e grãos.

De acordo com a Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, analisando apenas o primeiro trimestre dos anos de 2019 à 2022, o Porto do Rio Grande sempre se manteve entre as cinco primeiras posições em movimentações de carga no Brasil. Nesse período, somente o Porto do Rio Grande movimentou uma média de 5.407.067 de toneladas, sendo ele responsável em média por 2,06% de movimentações de cargas no país.

A eficiência do porto também se dá através de operadores portuários de qualidade inquestionáveis, os quais atuam juntamente com a Portos RS, sendo essa a empresa pública que administra os Portos de Rio Grande, Pelotas e Porto Alegre, de modo a manter a competitividade e buscar a eficiência e eficácia de seus serviços. Os operadores são os seguintes: Sagres Agenciamentos Marítimos, Agência Marítima Orion, Vanzin Serviços Aduaneiros e Serra Morena *Commodities e Serviços*.

No presente estudo serão utilizados os indicadores de desempenho portuário voltados aos serviços aos navios com relação a economicidade, esses serão denotados como as alternativas. Já os tipos de cargas, serão os critérios. Na Tabela 1, são expostos os critérios e as alternativas, respectivamente.

Tabela 1. Nomenclatura dos critérios e das alternativas

Tipo	Nomenclatura	Variável
Critério	$C_1$	Carga viva
	$C_2$	Carga de projeto rodantes
	$C_3$	Grãos
Alternativa	$a_1$	Preço médio de taxas portuárias aos navios.
	$a_2$	Preço médio de utilização de terminal pelos navios.
	$a_3$	Preço médio de mão de obra.
	$a_4$	Preço médio de utilização de equipamentos de movimentação.
	$a_5$	Despesa média de entrada e saída de navios.
	$a_6$	Custos de movimentação.

Após a definição dos critérios e alternativas, foi aplicada uma escala com seis classes que foram categorizadas conforme a importância, tendo elas os seguintes rótulos: indiferente, razoável, considerável, importante, forte e por fim extrema, como pode ser visto na Figura 1.

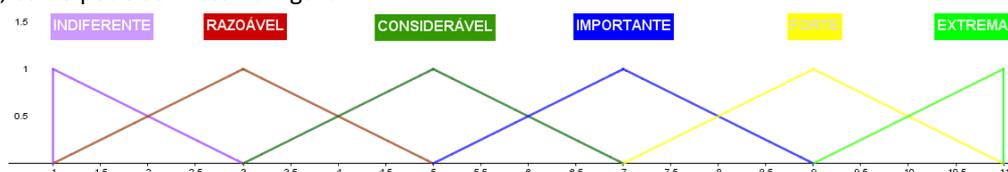


Figura 1. Escala fuzzy com seus termos linguísticos

Com a inclusão da escala fuzzy, é possível proporcionar ao decisor/usuário duas formas de expressar seus julgamentos, a forma quantitativa e a qualitativa. Importante ressaltar que no formato quantitativo, o decisor poderá optar em dar sua ponderação através de duas maneiras: inteira ou decimal, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2.** Quantitativo das classes da escala fuzzy

<b>Categoria</b>	<b>Quantitativo - inteiro</b>	<b>Quantitativo – intervalo/decimal</b>
Indiferente	1	1 à 3
Razoável	3	3 à 5
Considerável	5	5 à 7
Importante	7	7 à 9
Forte	9	9 à 11
Extrema	11	11

A comparação ocorreu entre os indicadores de desempenho portuário dos serviços prestados aos navios com relação aos três tipos de cargas, ou seja, a partir de um determinado indicador o decisor deverá estipular seu julgamento. O decisor foi questionado sobre a importância do indicador para os três tipos de cargas, sendo estas classes definidas conforme a Tabela 2.

Para o presente estudo foi aplicado um questionário para os profissionais que trabalham prestando serviços aos navios e nas empresas privadas atuantes no cais do Porto do Rio Grande. Os profissionais escolhidos atuam com os cargos de: gerente de operação, controlador de cargas e descargas e despachante aduaneiro.

Após os decisores informarem seus julgamentos, obtém-se as matrizes de decisão individuais. Com isso, foi aplicado o processo de fuzzificação, ou seja, a transformação do número crisp em um número fuzzy triangular. Em seguida, foi executada a segunda etapa do sistema fuzzy, a inferência fuzzy, sendo esta responsável pelo processo de agregação das matrizes individuais, gerando uma única matriz, cujos valores são números fuzzy triangulares, apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores da matriz de decisão agregada fuzzy

<b>Alt./Crit.</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>
<i>a</i> <sub>1</sub>	(3,68; 5,68; 7,68)	(5,01; 7,01; 9,01)	(6,12; 8,12; 10,12)
<i>a</i> <sub>2</sub>	(3,68; 5,68; 7,68)	(5,01; 7,01; 9,01)	(5,01; 7,01; 9,01)
<i>a</i> <sub>3</sub>	(4,34; 6,34; 8,34)	(6,78; 8,78; 10,78)	(4,34; 6,34; 8,34)
<i>a</i> <sub>4</sub>	(1,9; 3,9; 5,9)	(4,34; 6,34; 8,34)	(6,34; 8,34; 10,34)
<i>a</i> <sub>5</sub>	(4,34; 6,34; 8,34)	(5,67; 7,67; 9,67)	(6,78; 8,78; 10,78)
<i>a</i> <sub>6</sub>	(6,12; 8,12; 10,12)	(6,78; 8,78; 10,78)	(4,79; 6,79; 8,79)
Peso dos critérios	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)

A pertinência para cada valor da matriz de agregação é exposta na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores da pertinência da matriz de decisão fuzzy

<b>Alt./Crit.</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>
<i>a</i> <sub>1</sub>	0,66	0,995	0,56
<i>a</i> <sub>2</sub>	0,66	0,995	0,995
<i>a</i> <sub>3</sub>	0,67	0,89	0,67
<i>a</i> <sub>4</sub>	0,55	0,67	0,67
<i>a</i> <sub>5</sub>	0,67	0,665	0,89
<i>a</i> <sub>6</sub>	0,56	0,89	0,895
Peso dos critérios	1	1	1

Outra definição importante são os valores limitantes, sendo esses apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores limitantes

Limitante	Valor
$p$	0,8762
$q$	0,4231
$d$	4,8721

Ao se aplicar todos os formalismos (8), (9) e (10) para os três cenários, obtém-se como resultado final os expostos na Tabela 6.

**Tabela 6.** Valores da matriz de decisão para os três cenários

Alt./Cenário	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$a_1$	2	1,5	2
$a_2$	2	1,15	1,15
$a_3$	2,667	2,474	2,477
$a_4$	1	0	0
$a_5$	2,5	3,5	3,5
$a_6$	3,501	3,791	4,004

Para finalizar o índice de pertinência é determinado, esse índice foi obtido através da média aritmética simples das pertinências das alternativas, conforme a Tabela 7.

**Tabela 7.** Valores do índice de pertinência

Alternativa	Índice
$a_1$	0,7383
$a_2$	0,8833
$a_3$	0,7433
$a_4$	0,63
$a_5$	0,7417
$a_6$	0,7817

De posse de todos os valores é imprescindível a interpretação da nebulosidade dos dados. Na Tabela 7 é possível notar que em todas as alternativas a média da nebulosidade ficou acima de 50%, ou seja, o grau de pertinência, também denotado por certeza, é alto, permitindo assim que nenhuma alternativa seja descartada.

Outro aspecto relevante é o baixo valor da média de pertinência da alternativa  $a_4$ , aquela que representa o indicador do preço médio de utilização de equipamentos de movimentação. Esta alternativa, segundo os decisores não possui uma importância tão relevante para o problema em questão.

Sugere-se aos tomadores de decisão das empresas privadas que atuam na movimentação de cargas viva, de projeto rodantes e grãos no cais do Porto do Rio Grande, que ao utilizarem os indicadores dos serviços aos navios com relação a economicidade, que evidenciem seus esforços na redução dos custos de movimentação seguidos pelos despesa média de entrada e saída de navios e no preço médio de mão de obra, os quais apresentam destaque em ambos os cenários propostos pelo THOR com entrada de dados fuzzy.

#### 4. Considerações Finais

O processo de tomada de decisão, principalmente em um ambiente portuário, é um tanto árduo e requer um grande esforço cognitivo por parte do decisor. Logo, a utilização de um método multicritério capaz de auxiliar nessa etapa é de extrema relevância.

Com o intuito de expor a aplicabilidade do novo método THOR com entrada de dados fuzzy que o presente trabalho apresentou como objeto de estudo o Porto do Rio Grande, pois a tendência dos portos públicos é da privatização do cais público tornando os portos apenas fiscais e não mais prestadores de serviço.

Nesse sentido, o algoritmo THOR com entrada de dados fuzzy foi utilizado com o objetivo de propor um plano de ação ao Porto do Rio Grande, tornando a interpretação mais coerente com a realidade, através da opinião dos profissionais das empresas privadas que atuam no cais do vigente porto prestando serviços aos navios.

Como principais resultados obtidos através do algoritmo THOR com entrada de dados fuzzy, destaca-se a soberania do indicador com relação aos custos de movimentação, seguido do preço médio de mão de obra e por fim o indicador com referência as despesas médias de entrada e saída de navios.

Assim, pode-se concluir que esse trabalho contribui para facilitar a tomada de decisão dos profissionais atuantes no cais público do Porto do Rio Grande. Além de apresentar a aplicabilidade do novo algoritmo THOR com entrada de dados fuzzy.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest

## Referências

1. Bajestani, N.S.; Kamyad, A.V.; Esfahani, E.N. and Zare, A. Prediction of retinopathy in diabetic patients using type 2 fuzzy regression model. *European Journal of Operational Research*, **2018**, *264*(3), 859-869.
2. Balusa, B.C. and Gorai, A.K. Sensitivity analysis of fuzzy-analytic hierarchy process (AHP) decision-making model in selection of underground metal mining method. *Journal of Sustainable Mining*, **2019**, *18*, 8-17.
3. Buckley, J.J. The multiple judge, multiple criteria-ranking problem: a fuzzy set approach. *Fuzzy Sets and Systems*, **1984**, *13*, 25-37.
4. Cardoso, R.S.; Xavier, L.H.; Gomes, C.F.S and Adissi, P.J. Uso do SAD no apoio à decisão na destinação de resíduos plásticos e gestão de materiais. *Pesquisa Operacional*, **2009**, *20*, 67-95.
5. Dhunny, A.Z.; Doorga, J.R.S.; Lollchund, M.R. and Boojhawon, R. Identification of optimal wind, solar and hybrid wind-solar farming sites using fuzzy logic modelling. *Energy*, **2019**, *188*, 1-14.
6. Gomes, C.F.S. Using MCDA methods THOR in an application for outranking the ballast water management options. *Pesquisa Operacional*, **2005**, *25*, 11-28.
7. Gomes, C.F.S. and Costa, H.G. Application of Multicriteria methods to the problem of choice models of electronic payment by credit cards. *Production*, **2015**, *25*, 54-68.
8. Gomes, L.F.A.M. and Gomes, C.F.S. *Tomada de decisão: um enfoque multicritério*, 5rd ed.; ATLAS: São Paulo, Brasil, 2014; pp 370.
9. Hilletofth, P.; Sequeira, M. and Adlemo, A.L. Three novel fuzzy logic concepts applied to reshoring decision-making. *Expert Systems with Applications*, **2019**, *126*, 133-143.
10. Jun Li, R. Fuzzy method in group decision-making. *Computers and Mathematics with Applications*, **1999**, *38*, 91-101.
11. Liao, T.W. A fuzzy Multicriteria decision-making method for material selection. *Journal of Manufacturing Systems*, **2019**, *15*, 1-12.
12. Portos RS. *Guia do sistema hidrovário do Estado do Rio Grande do Sul*, 1st ed.; Superintendência do Porto do Rio Grande: Rio Grande, Brasil, 2020; pp 101.
13. Stoner, J.A. and Freeman, R.E. *Administração*, 5rd ed.; LTC: Rio de Janeiro, Brasil, 1999; pp 560.
14. Triverdi, S.K.; Kumar, A. and Panda, T.K. *Handbook of research on advanced data mining techniques and applications for business intelligence*; IGI Global, USA, 2017; pp 483.
15. Van Laarhoven, P.J. and Pedrycz, W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*, **1983**, *11*, 229-241.