



## **APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO FITRADEOFF PARA ESCOLHA DE OBUSEIRO PARA BATALHÃO DE ARTILHARIA DE FUZILEIROS NAVAIS**

**Tomás de Aquino Tinoco Botelho**

Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)  
Praça Barão de Ladário s/nº - Ilha das Cobras – Rio de Janeiro, RJ  
tomas.aquino@marinha.mil.br

**Leonardo Antonio Monteiro Pessôa**

Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)  
Praça Barão de Ladário s/nº - Ilha das Cobras – Rio de Janeiro, RJ  
lampessoa@terra.com.br

**Rodrigo José Pires Ferreira**

Centro de Desenvolvimento de Sistemas de Informação e Decisão, Universidade Federal de  
Pernambuco (CDSID-UFPE)  
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n- Cidade Universitária – Recife, PE  
rodrigo@cdsid.org.br

**Adiel Teixeira de Almeida**

Centro de Desenvolvimento de Sistemas de Informação e Decisão, Universidade Federal de  
Pernambuco (CDSID-UFPE)  
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n- Cidade Universitária – Recife, PE  
almeida@cdsid.org.br

### **RESUMO**

O problema de escolha de um obuseiro para utilização pelo Batalhão de Artilharia de Fuzileiros Navais é estruturado com base em aspectos relevantes neste tipo de decisão entre os quais podem ser mencionados: raio de destruição, alcance, cadência de tiro, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio de reparo (MTTR) e preço. O procedimento de elicitação flexível e interativo de *tradeoff* para modelos aditivos multicritério, FITradeoff, é utilizado e analisado em uma aplicação numérica. A interatividade e flexibilidade do FITradeoff são analisadas na escolha da alternativa, que se dá sem estabelecimento preciso dos pesos dos critérios, reduzindo o esforço cognitivo do decisor e evitando inconsistências que podem comprometer a decisão.

**PALAVRAS CHAVE. Armamentos Navais. Decisão Multicritério. FITradeoff.**

**Tópicos (ADM - Apoio à Decisão Multicritério)**

### **ABSTRACT**

The howitzer choice problem for a Brazilian Navy Marine Corps Artillery Battalion is structured based on relevant aspects in this kind of decision such as: destruction radius, reach, cadence, mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR) and price. The tradeoff flexible elicitation procedure for additive multicriteria models, FITradeoff, is used and analyzed in a numerical application. The FITradeoff interactivity and flexibility are analyzed in the choice of the alternative, which occurs without precise establishment of criteria weights, reducing the cognitive effort of the decision maker and avoiding inconsistencies that may compromise the decision.

**KEYWORDS. Naval Weapons. Multicriteria Decision Aid. FITradeoff.**



## **Paper topics (ADM - Apoio à Decisão Multicritério)**

### **1. Introdução**

O contexto militar de decisão vem se tornando cada vez mais importante, dada sua abrangência e o impacto potencial das conseqüências de suas decisões. [Haerem e Kelsen 2011]. As decisões do mundo real, entre as quais as decisões relacionadas à esfera militar, são caracterizadas freqüentemente por objetivos conflitantes, problemas mal estruturados ou ambientes dinâmicos [Louvieris et al. 2010]. Por outro lado entende-se que, mesmo nos processos de decisão apoiados na corrente filosófica racional, o decisor está sujeito a processos cognitivos comportamentais que podem dificultar ou até mesmo impedir a escolha de melhor alternativa. Isto se dá porque os vieses, a que os decisores estão submetidos, relacionam-se a capacidade humana limitada de coletar e processar informações [Hillman,2000].

De fato, se não muito exemplificado na área militar, há relatos positivos em outras áreas da aproximação do tomador de decisão à modelagem do problema, mencionando como vantagens a redução da desconfiança em relação aos pesquisadores, e o aumento da aceitação do modelo [Kotiadis et al. 2014],[Pessôa et al. 2015].

O problema apresentado neste trabalho é o de escolha hipotética de obuseiro para uso por um Batalhão de Artilharia de Fuzileiros Navais. O Batalhão de Artilharia de Fuzileiros Navais atua em apoio ao assalto anfíbio e às operações subseqüentes em terra. Sua artilharia, que não possui mísseis ou foguetes, é composta de obuseiros, com tubo de comprimento médio de 20 a 30 calibres de comprimento, ângulo de tiro relativamente grande e uma velocidade inicial média. Diferem, portanto, dos canhões, que são caracterizados por um tubo relativamente longo (acima de 30 calibres de comprimento), com pequeno ângulo de tiro e alta velocidade inicial [Brasil, 2008].

Para a caracterização deste problema, a escolha do equipamento para compor o projeto, a definição dos principais fatores que os decisores poderiam basear-se para a tomada desta decisão é analisada

### **2. O Método FITradeoff**

Um dos grandes desafios na modelagem de problemas de decisão envolvendo múltiplos critérios refere-se a forma como os conflitos entre os critérios são tratados, já que o decisor pode apresentar dificuldades no fornecimento de parâmetros de um método multicritério específico. Em processos decisórios, uma abordagem de elicitação flexível das preferências que exige menos esforço cognitivo do decisor é desejável. Neste sentido, o método FITradeoff, possui a característica de flexibilidade e interatividade na elicitação de preferências de um decisor para modelos aditivos multicritério projetado para situações envolvendo a problemática de escolha com a perspectiva de proporcionar menos inconsistências durante o processo de elicitação [de Almeida et al. 2016].

O método FITradeoff tenta apoiar o processo decisório com a menor quantidade de informação do decisor possível. A flexibilidade do método consiste em lidar com situações em que o decisor pode não estar seguro em fornecer alguma informação no processo de elicitação e avaliar a possibilidade de encontrar a solução do problema durante o processo de elicitação.

Preferências sobre pares de alternativas são obtidas, o que pode facilitar a questão cognitiva do decisor e contribuir na definição de uma região de busca de soluções mais restrita. Diversos problemas de programação linear são resolvidos para definir o conjunto de soluções não dominadas em cada iteração do método. Uma das vantagens do FITradeoff é a interface do sistema de apoio a decisão do método que permite ao decisor um processo de elicitação dos pesos de forma mais clara e simples evitando o erro de assumir que os pesos dos critérios de um modelo multicritério aditivo representam apenas uma medida de importância relativa para um determinado conjunto de critérios [de Almeida et al. 2016].

### **3. Aplicação Numérica**



A escolha de armamento de Fuzileiros Navais é apresentada em uma aplicação numérica, baseada em um estudo de caso hipotético e realístico, convenientemente avaliada com intuito de representar um contexto realista e consistente. Os resultados são mostrados para checar a consistência do modelo proposto com situações e contextos reais. Uma aproximação a aspectos relevantes foi considerada devido a característica de sigilo necessária neste contexto.

Para exemplificar como poderia ser estruturada a decisão deste modelo, os seguintes aspectos críticos foram considerados: Confiabilidade; Disponibilidade; Eficácia; e Custo.

Entende-se por confiabilidade e disponibilidade como a possibilidade do equipamento manter seu funcionamento, e a possibilidade do equipamento estar disponível enquanto necessário, respectivamente. A questão da eficácia está associada a capacidade de o armamento atingir o alvo a uma distância maior, o que envolve, além do raio de destruição, o maior número de chances para fazê-lo. No que se refere ao fator custo, este fator é composto pelo custo de vida útil unitário do armamento, sendo estimado não só a aquisição, mas os custos de operação, manutenção, munição, e treinamento por toda a sua vida útil.

É possível que os critérios MTBF (Mean Time Between Failure), Raio de Destruição, Cadência de Tiro e Alcance tenham uma estrutura de representação não-linear na avaliação intra-critério. Em alguns casos, mesmo que a avaliação intra-critério seja não linear, estruturas de veto podem ser adotadas de forma satisfatória para representação linear.

Neste problema, uma avaliação intra-critério linear é considerada. O uso de MTTR (Mean Time to Repair) e MTBF como critérios de modelos multicritério em problemas de manutenção e confiabilidade são comuns e diversas modelagens já foram tratados para problemas relacionados [de Almeida et al. 2015a; de Almeida et al. 2015b; Pessoa et al. 2016].

Os critérios do modelo foram baseados em medidas de eficácia operacionais (MEO) simplificadas, de forma que possam indicar como estas capacidades são atingidas, a saber:

- Critério 1 (MEO1) - Maximizar o Raio de Destruição;
- Critério 2 (MEO2) - Maximizar o MTBF (Mean Time between failure);
- Critério 3 (MEO3) - Minimizar o MTTR (Mean Time to Repair);
- Critério 4 (MEO4) - Minimizar o Preço;
- Critério 5 (MEO5) - Maximizar o Alcance;
- Critério 6 (MEO6) - Maximizar a Cadencia de Tiro.

A primeira etapa para utilização do método FITradeoff consiste do levantamento da matriz de conseqüências de um modelo aditivo determinístico levando em consideração os critérios apresentados, com as avaliações dos critérios para cada uma das alternativas consideradas. A Tabela 1 apresenta os valores matriz de conseqüências desta aplicação com 30 opções de armamentos. A matriz de conseqüências foi gerada a partir de números aleatórios de acordo com uma distribuição uniforme com os seguintes limites:

- Raio de Destruição, limite inferior: 0,80 e limite superior: 0,98, definido em relação a um valor real estabelecido;
- MTBF, limite inferior: 30 e limite superior: 60;
- MTTR, limite inferior: 10 e limite superior: 150;
- Preço, limite inferior: 5 e limite superior: 20;
- Alcance, limite inferior: 15 e limite superior: 25
- Cadencia de Tiro, limite inferior: 5 e limite superior: 20;



Tabela 1 : Matriz de Conseqüências

Alternativas	MEO 1	MEO 2	MEO 3	MEO4	MEO5	MEO6
A 1	0,831	50,85	60,38	14,95	16,45	14,06
A 2	0,803	56,28	97,37	18,17	16,47	18,29
A 3	0,976	36,11	93,89	12,42	17,29	10,72
A 4	0,945	44,17	137,74	17,36	18,09	12,75
A 5	0,917	36,23	30,58	6,61	18,12	17,48
A 6	0,814	40,67	116,41	8,74	20,77	11,99
A 7	0,815	42,46	143,41	19,29	17,78	16,63
A 8	0,916	56,51	34,78	9,81	15,60	15,68
A 9	0,925	40,48	81,72	15,43	24,65	10,80
A 10	0,807	32,16	20,33	9,86	16,05	18,63
A 11	0,977	56,94	143,96	5,55	19,26	5,07
A 12	0,896	44,70	127,30	15,72	19,55	10,46
A 13	0,897	58,01	116,15	19,21	17,63	14,03
A 14	0,944	32,12	26,90	8,74	23,99	8,83
A 15	0,894	58,28	133,08	17,36	21,62	5,78
A 16	0,886	41,53	34,73	8,36	21,37	11,89
A 17	0,890	35,17	34,018	11,59	21,36	19,50
A 18	0,954	38,55	81,95	17,66	18,56	12,77
A 19	0,907	42,93	130,63	19,83	23,07	7,70
A 20	0,950	30,15	37,56	10,05	19,60	19,19
A 21	0,903	59,32	132,17	11,56	22,38	18,38
A 22	0,877	33,12	22,69	16,39	17,41	9,81
A 23	0,954	55,16	136,35	16,69	24,32	11,22
A 24	0,877	36,76	56,27	15,14	18,68	13,47
A 25	0,854	35,48	125,52	5,66	19,23	17,18
A 26	0,957	35,88	117,75	15,92	20,60	10,89
A 27	0,843	54,47	134,88	16,57	22,71	8,59
A 28	0,953	52,93	55,169	10,98	21,66	8,61
A 29	0,927	37,17	85,94	11,23	21,45	18,89
A 30	0,826	37,59	13,17	5,38	20,85	18,83

Primeiramente, o método FITradeoff sugere lidar com a ordenação dos critérios por meio do processo de *tradeoff* tradicional [de Almeida 2013; Figueira et al. 2005; Belton 2002; Keeney, 1992; Keeney e Raiffa 1976], a ordem estabelecida dos critérios foi MEO1, MEO5, MEO6, MEO2, MEO3, MEO4.

Com a delimitação do espaço dos pesos baseada na ordem dos pesos dos critérios, apenas nove opções de armamentos permanecem como não dominadas.



A redução do espaço de pesos e da quantidade de alternativas pode facilitar de forma significativa o processo de escolha. Além disso, algumas análises gráficas podem contribuir neste processo. A Figura 1 ilustra o espaço de pesos após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios.

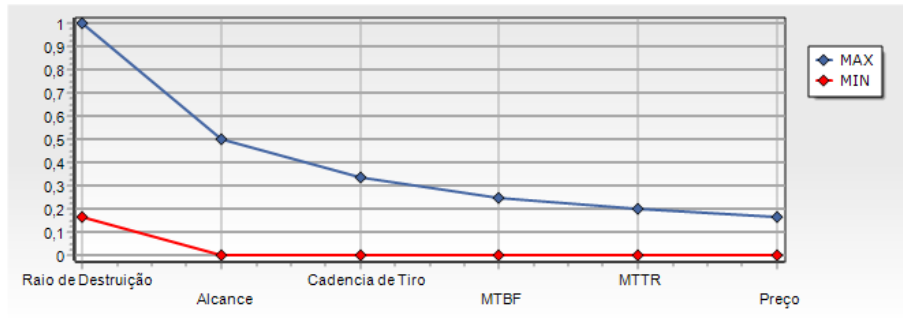


Figura 1 : Espaço de pesos após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios

Os gráficos mostram a informação de função valor na Figura 2, Figura 3 e Figura 4 e ilustram um interessante comparativo entre as opções de armamento potencialmente ótimas. Nestes gráficos, os critérios são apresentados na ordem dos pesos; ou seja, à esquerda os critérios de maior peso, mostrando que o decisor já pode já escolher qual a melhor alternativa com esta informação, sem a necessidade de informar os valores exatos dos pesos para uso do modelo aditivo, o que pode ser considerada uma flexibilidade positiva no processo.

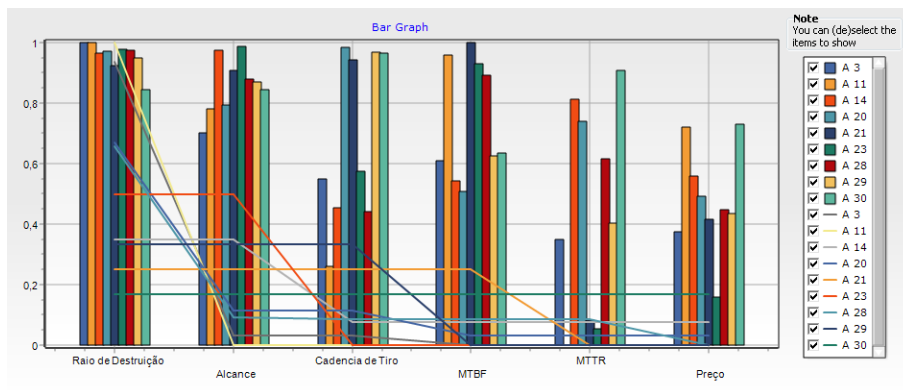


Figura 2 : Gráfico de barras após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios

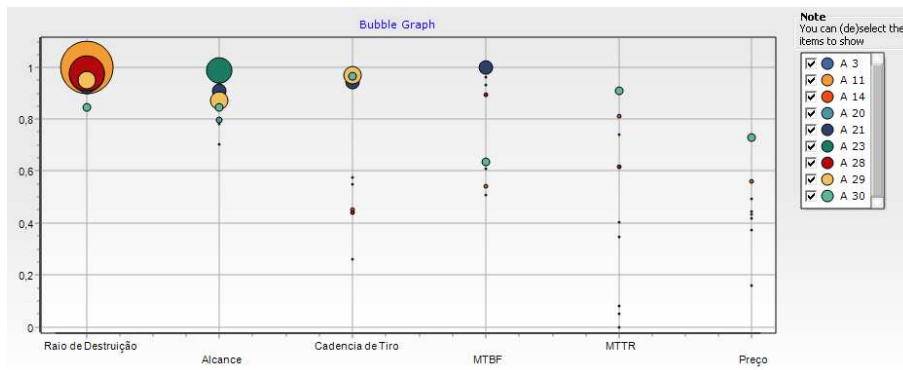


Figura 3 : Gráfico de bolhas após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios

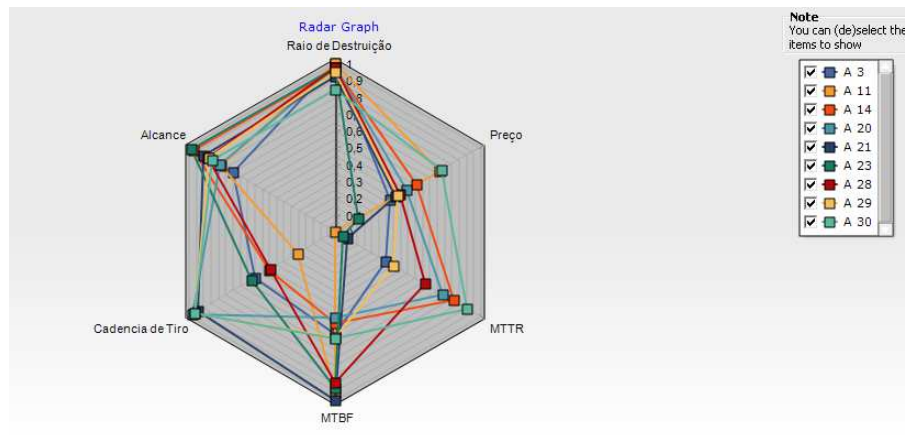


Figura 4 : Gráfico radar após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios

Caso o decisor não se sinta seguro para decidir entre as nove opções de armamento com base nas informações apresentadas, ele pode prosseguir no processo de elicitação flexível conforme é ilustrado na Figura 5.

Consequences

Which consequence do you prefer?

Note:  
 Wi is the worst outcome of criterion  
 Xi is in a between outcome of criterion  
 Bi is the best outcome of criterion

	CONSEQUENCE A	CONSEQUENCE B
C1	<input type="text" value="Xi:0,89"/>	<input type="text" value="Wi:0,803"/>
C2	<input type="text" value="Wi:15,6"/>	<input type="text" value="Wi:15,6"/>
C3	<input type="text" value="Wi:5,07"/>	<input type="text" value="Wi:5,07"/>
C4	<input type="text" value="Wi:30,15"/>	<input type="text" value="Wi:30,15"/>
C5	<input type="text" value="Wi:143,96"/>	<input type="text" value="Wi:143,96"/>
C6	<input type="text" value="Wi:19,83"/>	<input type="text" value="Bi:5,38"/>

Number of Questions Answered: 0  
Number of Non-Dominated Alternatives: 9

Question:  
 Consequence A  
 Consequence B  
 Indifferent  
 No Answer

OK

Show Present Result

Chosen Order:  
 C1 - Raio de Destruição  
 C2 - Alcance  
 C3 - Cadencia de Tiro  
 C4 - MTBF  
 C5 - MTTR  
 C6 - Preço

Figura 5 : Primeira pergunta do processo de elicitação flexível dos pesos dos critérios

Após responder a primeira pergunta do processo de elicitação flexível, informando que a consequência B é preferível a consequência A, o sistema informa que a quantidade de alternativas é reduzida para 5. Prosseguindo com o processo, escolhas semelhantes são realizadas, e após responder a terceira pergunta, conforme Figura 6, tem-se a redução de para apenas três alternativas. (14, 21 e 28).



Figura 6 : Redução para três alternativas não dominadas

Se o número de alternativas potencialmente ótimas é reduzido, tem-se nova informação gráfica sobre alternativas potencialmente ótimas de forma similar a da Figura 3 e Figura 4.

Ao responder a sexta pergunta do processo de elicitação flexível, o sistema já é capaz de encontrar a Alternativa 21 como a melhor alternativa entre as analisadas. Diante desta aplicação é possível constatar a flexibilidade e interatividade do método FITradeoff. O método e o sistema permitiram exigir pouco esforço cognitivo do decisor para a escolha da Alternativa 21 como a melhor opção.

Dependendo da característica dos valores da matriz de conseqüências, é possível que o sistema resolva o problema apenas com a ordenação dos critérios, ou o decisor se sinta seguro para tomar a decisão com base na análise gráfica. Pode-se visualizar as faixas possíveis para pesos no Figura 7.

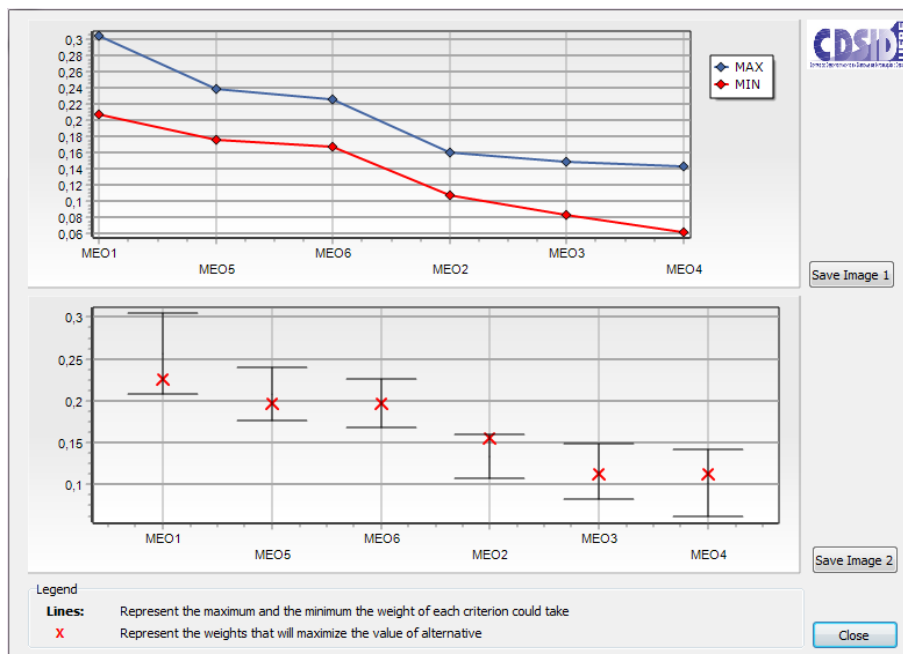


Figura 7 : Limites dos pesos após elicitação flexível dos pesos dos critérios



#### 4. Conclusões

A escolha de obuseiro para fuzileiros navais é uma decisão estratégica e complexa. O modelo multicritério desenvolvido e aplicação apresentaram-se como convenientes perspectivas de apoio ao processo decisório já que com poucas interações foi possível reduzir significativamente o número de alternativas e permitir uma análise mais detalhada nos tradeoffs mais relevantes entre as alternativas não dominadas remanescentes em cada interação. Embora a suposição de modelo aditivo determinístico possa ser crítica, a perspectiva de redução de inconsistências em detrimento da flexibilidade e interatividade do processo de elicitação do FITradeoff.

O método FITradeoff evitou a necessidade de estimar os valores exatos dos pesos dos critérios o que permitiu uma adequação e a praticidade da abordagem adotada na forma simples e consistente de elicitar as preferências do decisor para apoiar o processo decisório.

#### Referências

Belton, V. & Stewart, T. (2002) Multiple criteria decision analysis. Kluwer Academic Publishers.

Brasil (2008). Manual de Artilharia de Campanha de Fuzileiros Navais. Comando Geral do Corpo de Fuzileiros Navais.

de Almeida A.T., Cavalcante C.A.V., Alencar M.H., Ferreira R.J.P., de Almeida-filho, A.T., Garcez T.V. (2015a) Multicriteria and Multi-objective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis, International Series in Operations Research & Management Science. Vol 231. New York: Springer.

de Almeida A.T., Ferreira R.J.P., Cavalcante C.A.V. (2015b) A review of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability problems. IMA Journal of Management Mathematics, 26, 249-271.

de Almeida, A. T. (2013) Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério, 1a Edição. São Paulo: Editora Atlas.

de Almeida, A. T., De Almeida, J. A., Costa, A. P. C. S. e Almeida-filho, A. T. (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. European Journal of Operational Research, 250(1): 179-191.

Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (2005) Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys. New York: Springer.

Haerem, T.; Karlsen, T. (2011). Do Military Decision Makers Behave as Predicted by Prospect Theory? *Journal of Behavioral Decision Making*, v. 497, p. 482–497.

Hillman, R. A.(2000). The limits of behavioral decision theory in legal analysis: The case of liquidated damages. *Cornell Law Review*, v. 85, n. 3, p. 717, 2000.

Keeney, R. L. (1992) Value-Focused thinking: A path to creative decision making. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Keeney, R. L., Raiffa, H. (1976) Decision making with multiple objectives, preferences, and value tradeoffs. Wiley, New York.





Kotiadis, K.; Tako, A. A.; Vasilakis, C. (2014). A participative and facilitative conceptual modelling framework for discrete event simulation studies in healthcare. *Journal of the Operational Research Society*, v. 65, n. 2, p. 197–213.

Louvieris, P.; Gregoriades, A.; Garn, W. (2010). Assessing critical success factors for military decision support. *Expert Systems with Applications*, v. 37, n. 12, p. 8229–8241., 2010.

Pessôa, L. A. M.; Lins, M. P. E.; Da Silva, A. C. M.; Fiszman, R. (2015). Integrating Soft and Hard Operational Research to Improve Surgical Centre Management at a University Hospital. *European Journal of Operational Research*.

Pessôa, L.; Ferreira, R. J. P.; De Almeida, A. T. (2016). “Análise de Escolha de Armamento Naval com base no Método Multicritério FITradeoff”,. In *Anais do XLVIII SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.p 2016.