

## ANÁLISE DE ESCOLHA DE ARMAMENTO NAVAL COM BASE NO MÉTODO MULTICRITÉRIO FITRADEOFF

**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**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária – Recife, PE  
rodrigo@ufpe.br

**Adiel Teixeira de Almeida**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária – Recife, PE  
almeidaatd@gmail.com

### RESUMO

Neste artigo, o problema de escolha de armamento para um navio escolta é estruturado. Vários fatores são importantes neste tipo de decisão tais como: Probabilidade de acerto, alcance, cadência, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio de reparo (MTTR) e preço. Considerando que o decisor enfrenta a dificuldade natural para lidar com o *tradeoff* entre os fatores mencionados, o procedimento de elicitação flexível e interativo de *tradeoff* para modelos aditivos multicritério, FITradeoff, é utilizado. Uma análise da flexibilidade e interatividade do FITradeoff é realizada na avaliação da escolha da alternativa mais atrativa sem a necessidade de especificar precisamente os pesos dos critérios explorando menos 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

In this paper, the weapons choice problem for an escort ship is structured. Several factors are important in such decision such as: hit probability, reach, cadence, mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR) and price. Whereas the decision maker faces the natural difficulty to cope as the tradeoff between the above factors, the flexible and interactive elicitation tradeoff procedure for multicriteria models additives, FITradeoff is used. An analysis of the flexibility and interactivity of FITradeoff is performed in the evaluation of the most attractive alternative choice without the need to specify precisely the weights of the criteria exploiting the DM least cognitive effort and avoiding inconsistencies that can compromise decision.

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

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

## 1. Introdução

O problema apresentado neste trabalho é o de escolha hipotética de armamento para um navio escolta na fase de projeto. O armamento citado tem além da aplicação para ações de superfície, realizadas por meios de superfície (navios) que exploram a flexibilidade do Poder Naval, bem como para Apoio de Fogo Naval, utilizado em Operações Anfíbias.

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. Utilizando-se a metodologia de avaliação operacional, supõe-se determinados aspectos críticos para esta escolha e, utilizando a experiência de analistas experientes em avaliações operacionais, foram elencados, para exemplificar como poderia ser estruturada a decisão deste modelo, os seguintes aspectos críticos a serem analisados: 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 equipamento atingir o alvo a uma distância maior, o que envolve, além do acerto do alvo, o maior número de chances para fazê-lo. No que se refere o 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 vida útil do armamento.

Com base nestes aspectos críticos iniciais, medidas de eficácia quantitativas simplificadas são estabelecidas as quais pudessem indicar como estas capacidades são atingidas, constituindo-se nos critérios utilizados para este problema de decisão, a saber:

- Critério 1 (C1) - Maximizar o MTBF (Mean Time between failure);
- Critério 2 (C2) - Minimizar o MTTR (Mean Time to Repair);
- Critério 3 (C3) - Maximizar a Probabilidade Acerto;
- Critério 4 (C4) - Maximizar a Cadência de Tiro;
- Critério 5 (C5) - Maximizar o Alcance;
- Critério 6 (C6) - Minimizar o Preço.

Os critérios MTBF, Probabilidade de Acerto, Cadência de Tiro e Alcance são de maximização, isto é, valores maiores indicam alternativas melhores nestes critérios, enquanto preço e MTTR são de minimização. É possível que estes critérios tenham uma estrutura de representação não-linear na avaliação intra-critério. Neste problema, uma avaliação intra-critério linear é considerada. O uso de MTTR e MTBF como critérios de modelos multicritérios em problemas de manutenção e confiabilidade são comuns e diversas modelagens já foram tratadas para problemas relacionados [de Almeida et al. 2015a; de Almeida et al. 2015b].

No entanto é possível, em determinados casos, mesmo quando a estrutura não seja linear, utilizando-se da possibilidade de veto a alternativas com desempenho considerado insatisfatório, obter uma aproximação linear.

## 2. O Método FITradeoff

O método FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*) busca apoiar o processo decisório principalmente em lidar com algumas inconsistências decorrentes da dificuldade cognitiva para o decisor em fornecer alguns parâmetros para o funcionamento de um método multicritério. Exigir menos esforço cognitivo do decisor é uma característica fundamental do FITradeoff. O método tenta obter a menor quantidade de informação possível. Se o decisor não for capaz de fornecer informação completa, esta característica é incorporada no processo de elicitação de maneira flexível. A flexibilidade do método FITradeoff envolve avaliar a possibilidade de encontrar a solução do problema enquanto o processo de elicitação está sendo aplicado. No processo de elicitação, informações relativas a relações de preferência sobre pares

de alternativas são obtidas, o que pode ajudar encontrar a melhor solução a partir da informação obtida do decisor e aplicada para resolver um problema de programação linear, o método pode simplificar o processo decisório e facilitar o entendimento do problema. [de Almeida et al. 2016].

O método FITradeoff é um novo procedimento de elicitação de *tradeoff* flexível e interativo para modelos aditivos multicritério projetado para situações envolvendo a problemática de escolha e foi desenvolvido em uma plataforma de sistema de apoio a decisão que usa o conceito de elicitação flexível que busca requerer menos esforço do decisor e conseqüentemente pode levar a menos inconsistências durante o processo de elicitação [de Almeida et al. 2016]. Na problemática de escolha, assume-se que o decisor quer escolher uma solução, ou um conjunto de soluções, a partir de um conjunto de soluções [Figueira et al. 2005; de Almeida 2013; Roy 1996].

O uso do procedimento de *tradeoff* para elicitar pesos de um modelo aditivo, o uso do conceito de elicitação flexível incorporado em um sistema de apoio a decisão, a natureza das informações solicitadas que é cognitivamente mais fácil para o decisor compreender e a redução da quantidade de informação requerida do decisor são aspectos do método FITradeoff. Destaca-se que o FITradeoff permite ao decisor um processo de elicitação dos pesos de forma mais efetiva, para evitar o típico 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, sem levar em consideração a escala dos critérios.

### 3. Aplicação Numérica e Discussão dos Resultados

Nesta seção, uma aplicação numérica do método e sistema de apoio a decisão FITradeoff para apoiar a escolha de armamentos navais é apresentada. Através desta aplicação, resultados são mostrados para checar a consistência do modelo proposto. Esta aplicação é baseada em um estudo de caso hipotético e realístico, pois é baseado em situações e contexto real, aproximação a aspectos relevantes que poderiam ser considerados na realidade, apesar de utilizar dados simulados, o que seria usual nesse tipo de contexto. Pois por questão de sigilo, nem sempre é possível se usar dados reais nesse contexto estudado. Embora os números e outros aspectos sejam fictícios, eles foram convenientemente avaliados com intuito de representar um contexto realista e consistente. Baseado em um modelo aditivo determinístico levando em consideração os critérios apresentados na seção 2 deste artigo, o primeiro passo para utilização do método FITradeoff consiste do levantamento da matriz de conseqüências com as avaliações dos critérios para cada uma das alternativas consideradas. A matriz de conseqüências desta aplicação está ilustrada na Tabela 1. Para este problema, 30 opções de armamentos e 6 critérios foram considerados. A matriz de conseqüências foi gerada a partir de números aleatórios de acordo com uma distribuição uniforme com os seguintes limites:

- MTBF, limite inferior: 30 e limite superior: 60;
- MTTR, limite inferior: 10 e limite superior: 150;
- Probabilidade de Acerto, limite inferior: 0,80 e limite superior: 0,98;
- Cadência de Tiro, limite inferior: 5 e limite superior: 20;
- Alcance, limite inferior: 15 e limite superior: 25;
- Preço, limite inferior: 5 e limite superior: 20;

Tabela 1 : Matriz de Conseqüências

Alternativas	MTBF	1/MTTR (10 <sup>-3</sup> )	Prob. Acerto	Cadência	Alcance	Preço
A1	34,6	144,7	0,964	8,6	17,4	14,7
A2	38,0	131,9	0,825	16,1	23,0	5,3
A3	39,1	72,9	0,836	7,9	20,6	15,9
A4	53,8	147,0	0,890	10,0	24,8	10,8
A5	32,6	17,8	0,932	14,0	19,5	17,0

A6	36,6	68,7	0,901	18,0	24,4	12,3
A7	40,5	18,7	0,971	19,9	16,9	19,3
A8	59,5	109,8	0,829	17,7	20,4	16,4
A9	51,6	66,1	0,946	16,4	17,6	17,3
A10	36,4	108,5	0,827	17,7	23,1	7,2
A11	36,0	49,8	0,910	6,9	17,0	8,1
A12	48,2	72,9	0,919	6,9	16,4	15,6
A13	41,1	27,1	0,903	18,0	18,4	19,6
A14	46,9	63,9	0,892	10,0	22,3	16,3
A15	34,6	23,5	0,927	19,0	24,2	14,0
A16	47,2	16,3	0,827	9,4	23,4	8,9
A17	37,5	28,2	0,925	5,3	21,0	19,6
A18	37,2	129,7	0,903	15,5	23,6	10,5
A19	52,3	138,4	0,859	10,0	24,8	14,9
A20	33,3	131,2	0,974	15,3	24,7	17,7
A21	32,5	112,3	0,978	6,2	15,9	8,8
A22	42,7	114,4	0,915	19,9	21,0	18,1
A23	55,8	29,1	0,973	18,1	22,4	18,7
A24	41,9	90,1	0,875	13,0	24,3	18,6
A25	37,6	46,7	0,967	7,9	25,0	17,3
A26	33,0	22,2	0,804	14,7	22,4	10,0
A27	44,1	142,3	0,808	7,7	19,9	15,3
A28	59,7	125,2	0,956	11,4	23,9	15,4
A29	44,1	82,7	0,868	14,9	17,7	7,4
A30	55,3	30,1	0,802	12,1	19,3	10,9

Com a matriz de consequências definida, a principal dificuldade no uso de um método multicritério envolve a avaliação de *tradeoff* entre os critérios considerados. Para lidar com esta dificuldade, o sistema FITradeoff sugere que primeiro seja levantada a ordem dos pesos dos critérios. Utilizando a abordagem tradicional do método de tradeoff [de Almeida 2013; Figueira et al. 2005; Belton 2002; Keeney, 1992; Keeney e Raiffa 1976], a ordem estabelecida dos critérios foi C3, C5, C4, C1, C2, C6.

Com a delimitação do espaço dos pesos com base na ordem dos pesos dos critérios, o sistema informa que apenas quatro opções de armamentos permanecem como não dominadas, ou seja, nenhuma das demais vinte e seis opções consideradas dominadas podem obter uma avaliação global superior a alguma das quatro alternativas não dominadas. Com a redução do espaço de pesos e da quantidade de alternativas, o processo de escolha se torna mais facilitado devido ao fato que várias análises gráficas podem ser feitas para auxiliar o decisor no entendimento do problema e consequente escolha da melhor alternativa. O espaço de pesos após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios é mostrado na Figura 1.

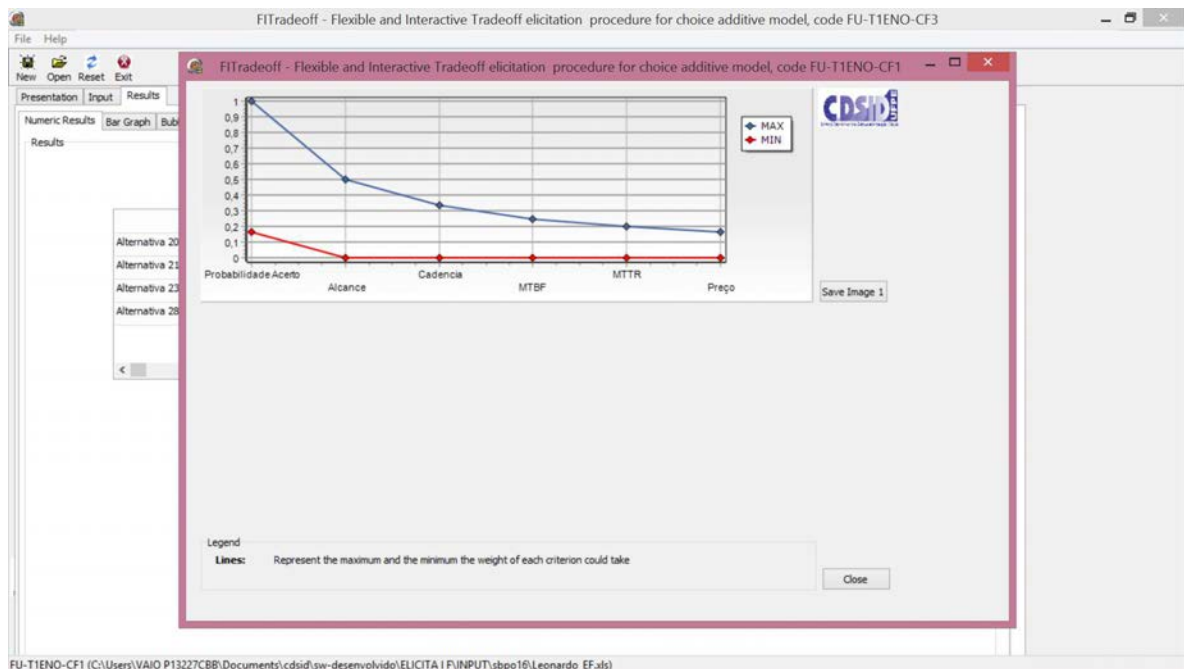


Figura 1 : Espaço de pesos após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios

Os valores das máximas avaliações globais que podem ser obtidas pelas Alternativas 20, 21, 23 e 28 e respectivos valores de pesos que chegariam a esta avaliação são informados pelo sistema FITradeoff. A Alternativa 20 pode obter avaliação máxima de 0,9739, a Alternativa 21 1,0; a Alternativa 23 0,9626; a Alternativa 28 0,8422. A Figura 3, Figura 4 e Figura 5 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 pode já decidir qual a melhor alternativa com esta informação sem a necessidade informar os valores exatos dos pesos para uso do modelo aditivo, o que pode ser considerada uma flexibilidade positiva no processo decisório. Os gráficos mostram a informação de função valor,  $v^*(x)$ , com escala de razão e mostram de forma clara a relação entre as alternativas para cada critério.



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

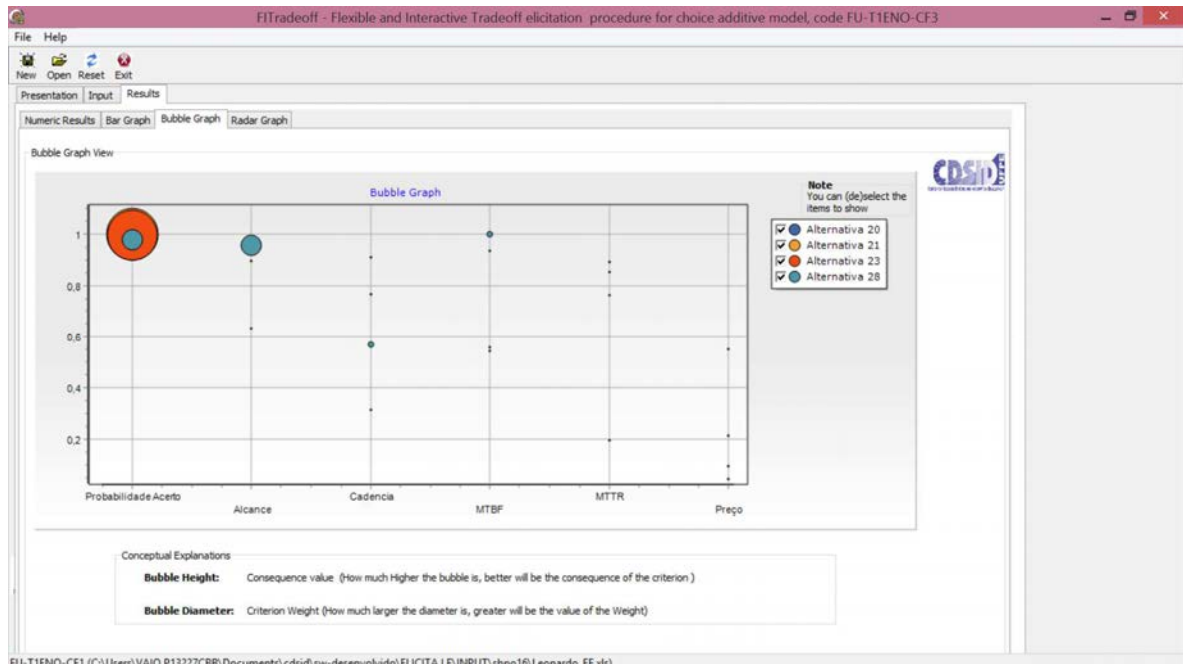


Figura 3 : Gráfico de bolhas após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios

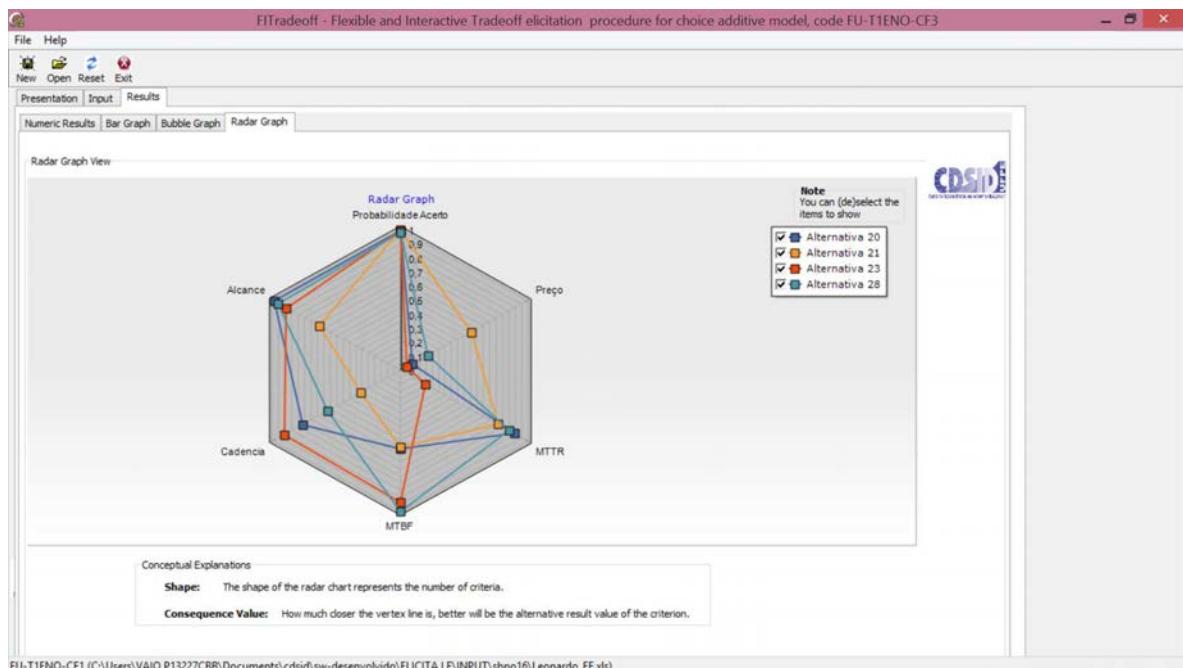


Figura 4 : Gráfico radar após o processo de elicitação da ordem dos pesos dos critérios

No caso em que o decisor não se sinta confiante para decidir entre as quatro opções de armamento com base nas informações apresentadas, ele pode seguir no processo de elicitação flexível conforme é ilustrado na Figura 5. Nesta etapa, uma pergunta considerando duas consequências, denominadas A e B, são apresentadas ao decisor. A consequência A é uma alternativa fictícia com um desempenho intermediário no critério probabilidade de acerto e o pior desempenho nos demais critérios e a consequência B é outra alternativa fictícia com o melhor desempenho no critério preço. O decisor deve escolher qual das duas alternativas é a mais atrativa, mas ele também pode responder ser indiferente ou sem resposta.



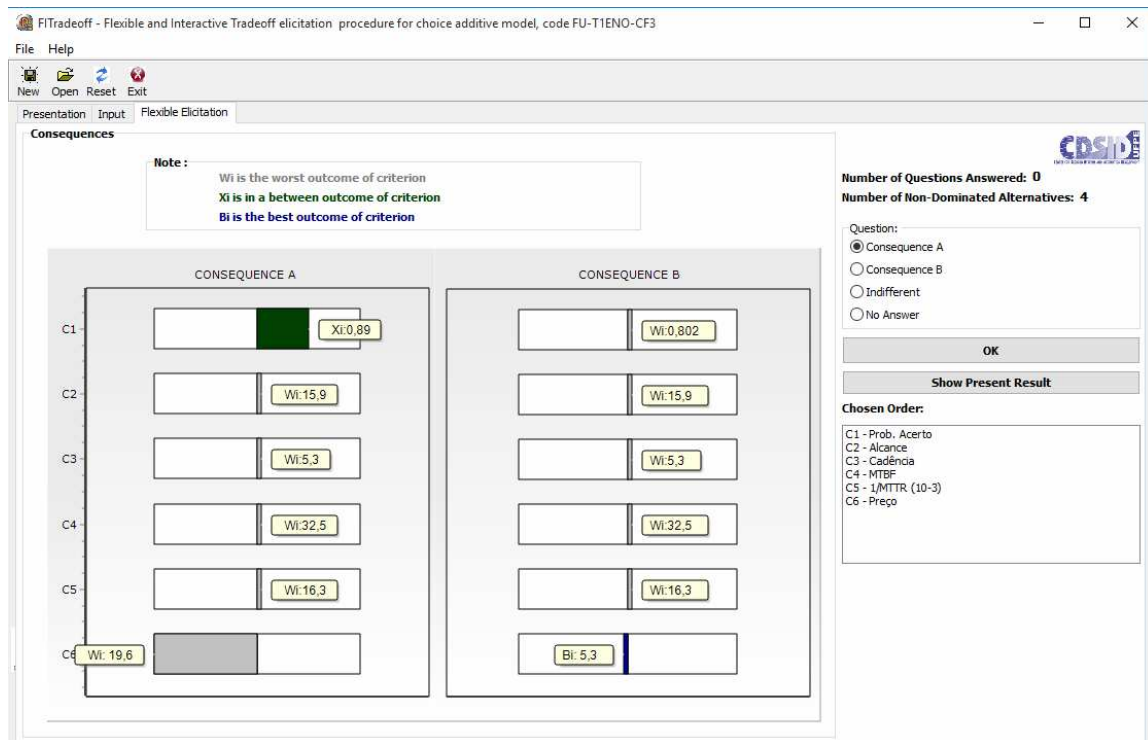


Figura 5 : Primeira pergunta do processo de elicitação flexível dos pesos dos critérios

Ao responder a primeira pergunta, conforme Figura 5, do processo de elicitação flexível, informando que a consequência A é preferível a consequência B, o sistema informa que a quantidade de alternativas não é reduzida. Entretanto, ao responder a segunda pergunta, conforme Figura 6, tem-se a redução de quatro para três alternativas.

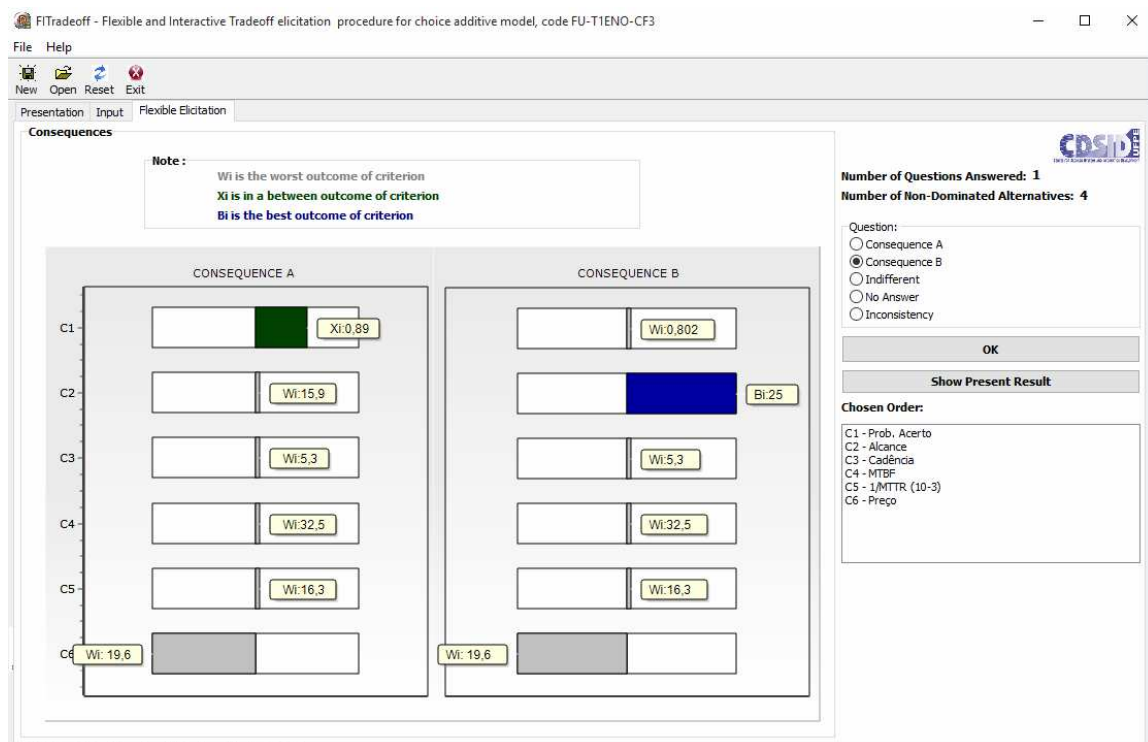


Figura 6 : Segunda pergunta do processo de elicitação flexível dos pesos dos critérios

Ao responder a terceira pergunta do processo de elicitação do FITradeoff, tem-se uma redução para apenas duas alternativas, sendo as alternativas 23 e 28. Se o número de alternativas potencialmente ótimas é reduzido, tem-se nova informação gráfica sobre alternativas potencialmente ótimas de forma similar a Figura 2, Figura 3 e Figura 4. Ao responder a quarta pergunta do processo de elicitação flexível, o sistema já é capaz de encontrar a Alternativa 28 como a melhor alternativa de opção de armamento para operação naval em análise. 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 28 como a melhor opção.

Enquanto que para um problema com 6 critérios seriam necessárias no mínimo 5 questões de indiferença para se ter  $(n-1)$  equações, neste problema foram necessárias apenas 4 questões, sem se considerar a questões de indiferença, que seriam cognitivamente muito mais difíceis. Dependendo da característica dos valores da matriz de consequências, 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.

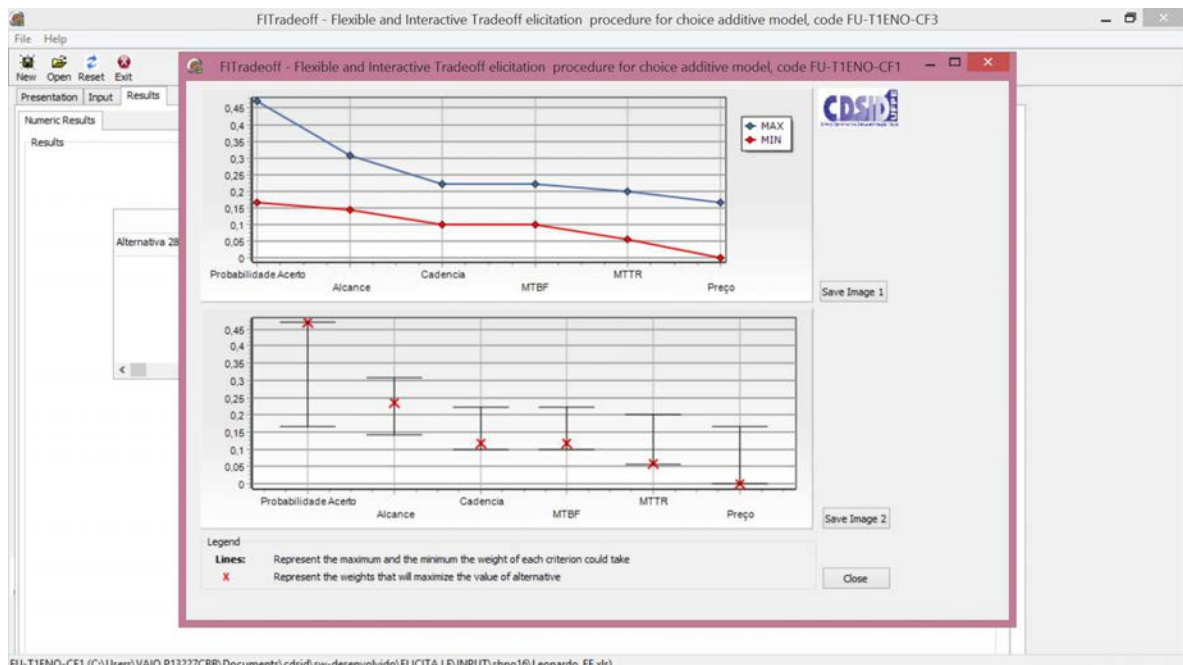


Figura 7 : Limites dos pesos após elicitação flexível dos pesos dos critérios

#### 4. Conclusões

Em um problema de decisão que envolve múltiplos critérios, os decisores podem apresentar algum tipo de dificuldade na avaliação dos tradeoffs entre os critérios. O método FITradeoff foi utilizado para uma elicitação flexível e interativa dos pesos dos critérios, evitando a necessidade de estimar os valores precisos dos pesos dos critérios. Na aplicação numérica, foi possível destacar a adequação e a praticidade do método FITradeoff, permitindo de uma forma simples e consistente elicitar as preferências do decisor.

O desenvolvimento e aplicação de um modelo multicritério para apoiar uma escolha de armamento para operações navais são apresentados neste artigo. O modelo proposto baseia-se em um modelo aditivo determinístico considerando seis fatores fundamentais na fase de projeto.

#### Referências



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

Roy, B. (1996), *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

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.

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.

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

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

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.