

## **Multicritério e Programação Linear Inteira em auxílio à decisão de projetos de ciência e tecnologia na Marinha do Brasil**

**Leonardo Antonio Monteiro Pessôa**

Centro de Análises de Sistemas Navais

Ed. 23 do AMRJ - R. da Ponte, s/n - Centro, Rio de Janeiro - RJ, 20091-000

pessoa@marinha.mil.br

**Helder Gomes Costa**

Universidade Federal Fluminense

Rua Passo da Pátria, 156, Campus Praia Vermelha São Domingos, Niterói - RJ, 24210-240

heldergc@id.uff.br

**Caroline Maria Miranda da Mota**

Universidade Federal de Pernambuco

Av. da Arquitetura, s/n Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550

carol3m@gmail.com

### **RESUMO**

Este artigo apresenta uma aplicação de integração metodológica entre Programação Matemática e o método multicritério FITradeoff para a proposição de um modelo auxílio à decisão quanto a destinação orçamentária de recursos em projetos de ciência e tecnologia no âmbito da Marinha do Brasil. A contextualização quanto ao entendimento do espaço de soluções e a necessidade do tratamento não linear de resultados decorreram de necessidades reais do tomador de decisão, podendo contribuir de maneira real para a administração naval. Dada a confidencialidade dos projetos, são apresentados dados simulados de maneira realística. Como limitação, o modelo é apoiado em programação linear inteira, estando sujeito a características de explosão combinatória. Portanto, o limite de execução em tempo razoável só pode ser definido de acordo com o conjunto de dados associado.

**PALAVRAS CHAVE.** Poder Marítimo, Ciência e Tecnologia, Alocação de Recursos.

**Tópicos SE-** Poder Marítimo, Defesa e Pesquisa Operacional

### **ABSTRACT**

This paper presents a multi-method application, using Multi criteria and Linear Integer Programming so as to propose a decision model for allocation of funds to Science and Technology projects in the Brazilian Navy. The non-linear representation of the model was derived from a real

need to solve a real problem, contributing for presenting a solution to the naval high administration. Since there are confidentiality aspects, the presented case study is based on simulated data, with realistic features. As limitation, the model is subject to the "dimensionality curse", characteristic from combinatorial explosion. Therefore the reasonable execution time depends on the associated data set.

**KEYWORDS.** Sea Power. Science and Technology, Funds Allocation.

**Paper topics SE- Poder Marítimo, Defesa e Pesquisa Operacional**

## 1. Introdução

O presente trabalho pretende responder a seguinte questão: de qual maneira pode ser alocado de maneira mais eficiente o montante de recursos limitado  $M$  entre uma cesta de projetos, contemplando alocação parcial de recursos, com retornos não lineares, para obtenção de maior eficiência de resultados?

Este questionamento surgiu a partir de uma assessoria real para decisão de alto nível no âmbito do Centro de Tecnologia da Marinha no Rio de Janeiro, buscando-se inicialmente a solução de um problema de ordenamento de priorização entre projetos. Entretanto, durante os contatos com o tomador de decisão e seu corpo de assessores, foi verificado que o problema cuja solução se intencionava era mais abrangente e estava relacionado à escolha de *portfolio* de projetos a serem executados, sujeitos à contenção orçamentária, buscando-se resultado mais efetivo.

No contexto do gerenciamento de carteira de projetos, em uma realidade onde a eficácia é uma condicionante, e na qual há escassez de recursos, vê-se frequentemente a adoção de soluções como o contingenciamento igualitário. Todavia, uma redução igualitária dos recursos pode ser conflitante com a aplicação mais eficiente e com a produção de melhores resultados. Adicionalmente, não reflete características não lineares de retorno dada alocação parcial de recursos. Estabelece-se neste aspecto a contribuição do presente estudo.

Para sua resposta é proposto um arranjo entre o método multicritério FITradeoff, pela possibilidade de construção de função de preferência, a partir de elicitaciones com menor esforço cognitivo para o decisor, e de Programação Linear Inteira.

De modo a caracterizar metodologicamente a estrutura do trabalho, na seção seguinte é discutida a base conceitual. Na seção 3 são discutidos os aspectos da modelagem e da proposta de interação cliente-facilitador, de maneira a propiciar a aplicação do arranjo metodológico para problemas similares. O estudo de caso, especificamente projetos de ciência e tecnologia, tem seus resultados apresentados e discutidos na seção 4, seguida de breve conclusão (seção 5).

## 2. Base conceitual

Morton [2015] define como "Portfolio Decision Analysis" o apoio a decisões organizacionais sobre quais atividades iniciar, desenvolver ou interromper por meio da avaliação de projetos e avaliando os benefícios dos possíveis portfólios por meio de uma função dos seus projetos componentes.

Discussões sobre a realização desta avaliação podem ser encontradas em Mansini et al. [2014], Phillips e Bana E Costa [2007], e Ehrgott et al. [2004].

Há também necessidade de estabelecimento de relação entre os recursos financeiros recebidos pelo projeto, e seu resultado. Esta relação, caso linear fosse, teria um tratamento mais simples e solução poderia ser obtida por programação linear, resolvida de maneira exata em tempo reduzido.

Morton [2015] estabelece que uma prática comum tenha sido a de estabelecer funções de valor para critérios específicos, posicionando a linha de base no menor desempenho, considerando este como o zero da escala, com a posterior soma dos diversos critérios obtendo uma avaliação global.

Morton [2015] também destaca argumentos de Clemen e Smith [2009] sobre dois aspectos que tornam mais difícil a alocação: o primeiro diz respeito a casos onde os projetos estão sobrevalorizados. O outro diz respeito à forte premissa implícita que se assume quanto a não realização de um projeto.

A complexidade dos tipos de projeto a qual este artigo se relaciona, com mobilização de equipes, na qual a não alocação de recursos mínimos pode causar prejuízos de grande monta, parece não ter características lineares. Bem como torna o estabelecimento de relação investimento-retorno difícil de ser quantificada para um espaço contínuo.

Por outro lado, a ideia de desempenho para faixas de alocação de recurso tem maior viabilidade para que o decisor possa apresentar estimativas.

No entanto, esta discretização, se por um lado torna viável a elicitação de informação por parte do decisor, por outro eleva consideravelmente o esforço para solução. A "Maldição da Dimensionalidade" tal qual mencionada por Bellman.

O primeiro aspecto que deve ser tratado é como se pode medir de maneira satisfatória o resultado de um projeto de ciência e tecnologia. Esta medição do resultado de ciência é um problema não restrito à MB, como também a academia, não havendo solução universal. Como exemplo podem ser mencionados os questionamentos relativos às métricas do webqualis, discutidos por Lins e Pessoa [2010].

Assim sendo, cada instituição/decisor pode ter avaliações diferenciadas, alinhadas ao seu direcionamento estratégico. Entende-se como alinhamento quando os elementos organizacionais são consistentes com seus objetivos, sob diversos aspectos (técnicos, ambientais, políticos) a serem analisados (García-Melón et al. [2015]). A metodologia multicritério seria, portanto, uma metodologia candidata para esta finalidade: a representação de desempenho em múltiplas dimensões de avaliação.

Neste trabalho, utiliza-se a maneira tradicional de obtenção de score individual por projeto. No entanto, este score é obtido por meio da aplicação da metodologia FITradeoff [De Almeida et al., 2016; Frej et al., 2019], gerando, além do *score* propriamente dito, uma função de preferência baseada na elicitação de preferências do decisor.

A escolha pelo método FITradeoff teve sua base na necessidade do estabelecimento de uma função de preferência, conforme já discutido em Silva et al. [2019] e Pessoa et al. [2019], mas também considerando sua aplicação positiva no contexto militar [Botelho et al., 2017; Silva et al., 2019], e de investimentos [Vieira e Pires, 2017; da Silva et al., 2017]

### **3. Modelagem e desenvolvimento**

O modelo envolve a integração metodológica entre o método FITradeoff e a Programação Linear Inteira. Utiliza-se o FITradeoff para a construção de uma função de preferência do decisor, a qual possibilita o cálculo de valores de retorno (score) da alocação total de recursos ao projeto.

Com base na função de preferência e nos scores totais dos projetos, o estado-maior (staff) do decisor, executa a estimativa de retornos a serem obtidos com alocações parciais de recurso para cada projeto.

Considera-se importante o detalhamento do processo para execução desta integração dado a interação com o decisor e seu staff, conforme representado na figura 1. O processo para a construção do modelo baseia-se nas seguintes etapas:

- Reunião Preliminar
- Obtenção dos dados
- Obtenção da função de preferência do Decisor
- Estimativa dos resultados por percentis de alocação; e
- Aplicação de modelo de otimização

## Proposta de Interação

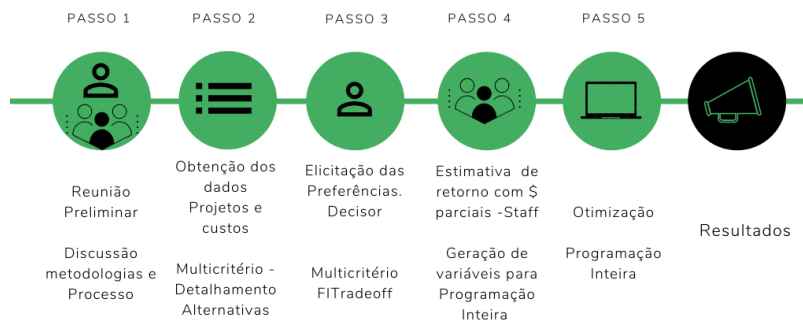


Figura 1: Representação do processo de interação. fonte: Autores

### 3.1. Reunião Preliminar

Com base nas experiências mencionada em Pessoa et al. [2018, 2019] utilizou-se de grande ênfase na interação com o tomador de decisão, de modo a ajustar as expectativas quanto às possibilidades de modelagem.

Esta etapa, portanto, apresenta as características das metodologias a serem utilizadas, destacando suas características, potências e limitações para o estabelecimento do envolvimento do tomador de decisão

### 3.2. Obtenção de Dados

Neste passo são levantados os dados de financeiro disponível, bem como desempenho em cada critério para cada projeto possível de ser selecionado no portfólio e seu respectivo orçamento de custo.

Quanto aos critérios, é importante que estes sejam suficientes para representar completamente as alternativas, de acordo com a estrutura desejada pelo decisor.

A obtenção dos dados dá-se por meio da consolidação das informações relativas aos diversos projetos considerados para determinação do portfólio, originados pelos Gerentes de Projeto e da avaliação do estado-maior (staff) do decisor. Isto é, o detalhamento dos custos totais orçados de cada projeto, bem como dos desempenho esperados nos quesitos de avaliação (avaliação intracritério de cada alternativa) no caso de alocação total de recursos.

### 3.3. Obtenção de Preferência do Decisor

A obtenção de *scores* objetiva a valoração dos projetos, isto é da mensuração do seu retorno esperado, considerando-se a alocação completa de recursos. No estudo de caso tanto os critérios quanto as escalas de avaliação foram definidas *a priori* pelo tomador de decisão. Todavia foi preservada a liberdade de escolha da metodologia responsável pela agregação e consolidação dos resultados.

A execução busca enquadrar-se enquanto campo do teorema de Von Neumann - Morgenstern, considerando que o decisor, quanto à execução das alternativas completas, é VN Racional com preferência contínua, completa, transitiva, e independente de alternativas irrelevantes.

Neste trabalho utilizamos o método multicritério FITradeoff De Almeida et al. [2016], mas utilizando sua versão de ordenação Frej et al. [2019], explorando a potencialidade de elicitación flexível junto ao decisor, reduzindo sua carga cognitiva e a utilização de escalas discretas.

Com base nos dados dos projetos apresentados, o método FITradeoff apresenta duas consequências: 1 e 2, com avaliações contidas entre o intervalo do conjunto real de alternativas, divergindo em apenas dois critérios.

Ao tomador de decisão são apresentadas as seguintes possibilidades de interação: Explicitar que a consequência 1 é preferível a consequência 2; Explicitar que a consequência 2 é preferível a consequência 1; Explicitar que há uma indiferença entre as consequências apresentadas; ou Explicitar que não consegue responder quanto à preferência entre as duas consequências, passando para uma próxima comparação.

Cada comparação produz uma inequação que gradualmente vai restringindo o espaço de pesos, até um momento onde é possível obter uma ordenação para o conjunto de dados fornecido. Neste ponto, torna-se possível estabelecer um conjunto de constantes de escala, limitado pelas restrições de comparação.

Este conjunto de constantes de escala, arbitrado entre os limites definidos pelo FITradeoff define uma função à preferência do tomador de decisão, a qual constitui uma função de utilidade para obtenção do desempenho global de cada alternativa. Interpretado como uma utilidade do projeto dada a alocação total de recursos para o mesmo. Assumindo-se o resultado esperado como determinístico, sendo o equivalente para a alocação total (100%) dos recursos alocados a cada projeto

### 3.4. Estimativa de Resultados Parciais

Para o estabelecimento de aspectos não lineares da alocação de recursos, com base nos valores obtidos pelo tomador de decisão, sua assessoria (staff) de C&T elabora a estimativa dos retornos esperados de utilidade para as alocações de recursos de: 0% (não realização); 25%; 50%; 75%, de modo a representar os outputs para alocações parciais, representando a não linearidade.

### 3.5. Modelo de Otimização

Dependendo-se das características dos dados, e especificamente para o estudo de caso em tela, houve a possibilidade de resolução exata em tempo adequado, utilizando recursos computacionais modestos.

Em outros conjuntos de dados, a opção por resoluções apoiadas por metaheurísticas pode ser uma alternativa factível, podendo ser tratada em futuros trabalhos.

A definição formal do modelo de otimização é apresentada a seguir:

Seja um conjunto de projetos  $P = p_1, \dots, p_i, \dots, p_m$ .

Cada projeto  $p_i$  tem associada uma alocação de recursos em relação ao seu orçamento. Podemos, de maneira simplificada, determinar percentis pré-definidos de alocação de recurso a saber: 0%, 25%, 50%, 75% e 100%.

De modo a representá-los por variáveis definimos:

$x_{i,0}$  a alocação de 0% de recursos para o projeto  $i$ ;

$x_{i,25}$  a alocação de 25% de recursos para o projeto  $i$ ;

$x_{i,50}$  a alocação de 50% de recursos para o projeto  $i$ ;

$x_{i,75}$  a alocação de 75% de recursos para o projeto  $i$ ; e

$x_{i,100}$  a alocação de 100% de recursos para o projeto  $i$ ;

Cada variável  $x_{i,j}$ ,  $i = 1 \dots m$ ,  $J = 0, 25, 50, 75, 100$ , é associada a um valor monetário  $c_{i,j}$ . Desta forma conseguimos efetuar uma linearização do problema, mesmo para características INPUT X OUTPUT não lineares.

Como restrições têm-se:

$x_{ij} \in \{0, 1\}$ , constitui uma variável binária, além de representar a não negatividade de alocação de recurso; e

$\sum_{i=k, j \in J} x_k = 1$ , obrigando a alocação em apenas um dos percentis.

No entanto há um limite orçamentário  $M$  para a alocação de recursos possível:

$$M \geq \sum_{i,j} x_{ij} \cdot c_{ij}$$

Por outro lado, a cada alocação de recursos  $x_{ij}$  corresponde um valor de utilidade  $y_{ij}$ , definida com base no resultado esperado do projeto  $p_i$  dado o percentual de recursos alocados.

Note-se que esta representação possibilita a construção de uma relação não linear entre alocações de recursos e utilidades esperadas. Inicialmente trabalharemos com a restrição de não negatividade de  $y_{ij}$  :  $y_{ij} \geq 0$ . Obtendo-se uma utilidade geral, função objetivo que se deseja maximizar:

$$U = \sum_{i,j} x_{ij} \cdot y_{ij}$$

## 4. Estudo de Caso: Resultados

### 4.1. Reunião Preliminar

Aspecto importantíssimo foi a apresentação da metodologia multicritério como uma ferramenta para incorporação da subjetividade do decisor no processo. Como resultado direto, a avaliação de todos os projetos foi revisada pela assessoria de C&T do decisor, apresentando uma estrutura satisfatória para representação da racionalidade do tomador de decisão sobre os critérios de avaliação.

Os critérios, e suas respectivas escalas, ambos definidos previamente pelo decisor, englobam aspectos de: dualidade, modularidade, atendimento aos programas estratégicos da Marinha, inovação, existência de fontes extra orçamentárias, disponibilidade de recursos, demandas de outras forças, existência de parcerias, tamanho, e fase do projeto.

### 4.2. Obtenção de Dados

O processo de obtenção de scores inicia-se com a elicitación dos desempenhos individuais de cada projeto em relação a cada critério. Foram definidos como alternativas 33 projetos, numerados sequencialmente para referência.

Além, já define-se o montante M destinado a limitar o emprego financeiro no portfólio, no caso igualado a 1000000 de unidades monetárias de planejamento (fictícias).

### 4.3. Obtenção de Scores - alocação total

Com isto é realizado o procedimento do FITradeoff, modalidade de ranking. Neste ponto temos como resultado os limites de constante de escala definidos pelo decisor. Dentro destes limites, sugere-se ao decisor conjunto de constantes de escalas diferentes de zero, arbitradas entre os limites dados pela ordenação.

Caso o decisor não acate a sugestão, são arbitradas pelo decisor constantes de escala entre os limites definidos, que reflitam seu julgamento, realizando normalização posterior de modo que a soma das constantes de escala seja igual a unidade.

O processo de elicitación utilizou o software dedicado ao método FITradeoff, obtendo-se as constantes de escala presentes na figura 2 e na tabela 1.

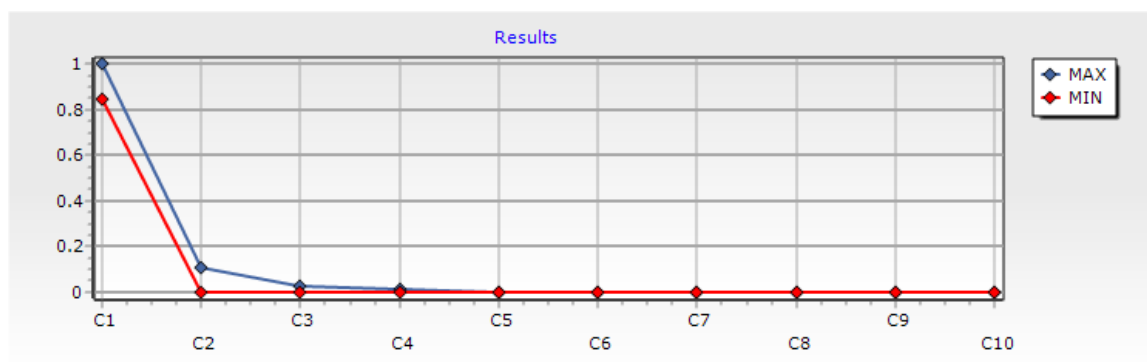


Figura 2: Limites das Constantes de Escala Obtidas. fonte: Autores

Tabela 1: Constantes de Escala

|     | máx    | mín    | média  | K utilizado |
|-----|--------|--------|--------|-------------|
| C1  | 1      | 0,8452 | 0,9226 | 0,9064      |
| C2  | 0,1111 | 0,0000 | 0,0556 | 0,0546      |
| C3  | 0,0331 | 0,0000 | 0,0166 | 0,0163      |
| C4  | 0,0268 | 0,0000 | 0,0134 | 0,0132      |
| C5  | 0,0133 | 0,0000 | 0,0067 | 0,0066      |
| C6  | 0,0033 | 0,0000 | 0,0017 | 0,0016      |
| C7  | 0,0008 | 0,0000 | 0,0004 | 0,0004      |
| C8  | 0,0008 | 0,0000 | 0,0004 | 0,0004      |
| C9  | 0,0006 | 0,0000 | 0,0003 | 0,0003      |
| C10 | 0,0006 | 0,0000 | 0,0003 | 0,0003      |
|     |        | soma   | 1,0179 | 1,0000      |

As constantes de escala, correspondem às médias dos limites para cada critério, utilizando a normalização em relação à unidade para o seu somatório.

A aplicação das constantes de escala pelos desempenhos individuais detalha o score individual de cada projeto, sendo consolidados em um score global de utilidade do projeto. Para maior detalhamento, o resultado que teria como valor a unidade, é normalizado para uma escala de 0 a 1000, correspondendo à utilidade total do projeto ( $y_{i,100}$ ).

Conjuntamente a avaliação do impacto do projeto no caso de não realização ( $y_{i,0}$ ), decorrente de avaliação subjetiva do decisor, baseada na função de preferência obtida.

Concomitantemente, relacionando-se ao dispêndio de recursos financeiros, consolida-se a lista de custos para os projetos contemplando a sua não realização ( $c_{i,0}$ ) e da sua realização completa ( $c_{i,100}$ ) para todos os projetos passíveis de escolha para a composição do portfólio.

Dada a confidencialidade dos projetos, a tabela 2 apresenta um conjunto gerado de forma artificial, porém com métricas próximas a realidade para a execução dos processos, apresentando os custos totais de cada projeto ( $c_{i,100}$ ) e a utilidade global de cada alternativa ( $y_{i,100}$ ), que servirão de parâmetro para o cálculo das alocações parciais de recurso e seus respectivos retornos, discutido na seção seguinte.

Tabela 2: Custo total e Utilidade Total

| Projeto | Custo Total $c_{i,100}$ | Utilidade Total $y_{i,100}$ |
|---------|-------------------------|-----------------------------|
| 1       | \$65.923,00             | 484,0                       |
| 2       | \$66.666,67             | 484,0                       |
| 3       | \$3.377.777,78          | 471,6                       |
| 4       | \$197.777,78            | 951,6                       |
| 5       | \$243.333,33            | 714,7                       |
| 6       | \$165.555,56            | 972,2                       |
| 7       | \$22.222,22             | 986,2                       |
| 8       | \$192.842,22            | 505,6                       |

**Tabela 2 continuação**

| Projeto | Custo Total $c_{i,100}$ | Utilidade Total |
|---------|-------------------------|-----------------|
| 9       | \$5.982,78              | 514,3           |
| 10      | \$620.614,22            | 506,6           |
| 11      | \$1.431.239,56          | 500,9           |
| 12      | \$2.849.672,44          | 494,3           |
| 13      | \$944.444,44            | 473,7           |
| 14      | \$486.045,10            | 242,2           |
| 15      | \$476.888,89            | 463,3           |
| 16      | \$1.696.888,89          | 117,0           |
| 17      | \$1.387.576,00          | 500,5           |
| 18      | \$302.659,91            | 480,0           |
| 19      | \$1.307.681,44          | 494,1           |
| 20      | \$166.666,58            | 280,3           |
| 21      | \$388.555,56            | 442,6           |
| 22      | \$1.992.348,44          | 130,1           |
| 23      | \$564.444,44            | 438,8           |
| 24      | \$2.221.102,89          | 280,1           |
| 25      | \$1.233.333,33          | 506,9           |
| 26      | \$166.666,67            | 438,7           |
| 27      | \$144.444,44            | 257,8           |
| 28      | \$1.716.412,56          | 280,0           |
| 29      | \$26.989,12             | 438,5           |
| 30      | \$27.703,70             | 35,1            |
| 31      | \$1.508.582,00          | 66,1            |
| 32      | \$7.738,33              | 438,4           |
| 33      | \$55.492,33             | 438,4           |

#### 4.4. Estimativa de Resultados para Alocação Parcial

Partindo dos valores  $c_{i,100}$  e  $y_{i,100}$ , o estado maior do decisor elabora os valores estimados intermediários. Relativamente à dimensão INPUT, a associação é simples avaliando o intervalo entre 0 e  $c_{i,100}$  e calculando os valores de 25%  $c_{i,25}$ , 50%  $c_{i,50}$  e 75%  $c_{i,75}$ .

Quanto à avaliação do retorno de cada projeto, com base na função de preferência e consultando os gerentes designados dos projetos, são estabelecidos valores associados às alocações de recurso intermediárias  $y_{i,25}$ ,  $y_{i,50}$  e  $y_{i,75}$ . Note-se que  $y_{i,0}$  pode assumir valores negativos em outros casos, representando uma utilidade negativa na não realização de um projeto.

Apresenta-se na tabela 3 os valores obtidos para o conjunto de dados do problema

**Tabela 3: Custo total e retornos de alocações parciais de recursos**

| Projeto | Custo       | $y_{i,0}$ (0%) | $y_{i,25}$ (25%) | $y_{i,50}$ (50%) | $y_{i,75}$ (75%) | $y_{i,100}$ (100%) |
|---------|-------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 1       | \$65.923,00 | 0              | 145,2            | 242,0            | 363,0            | 484,0              |
| 2       | \$66.666,67 | 0              | 242,0            | 242,0            | 363,0            | 484,0              |

**Tabela 3 continuação**

| Projeto | Custo          | $y_{i,0}$ (0%) | $y_{i,25}$ (25%) | $y_{i,50}$ (50%) | $y_{i,75}$ (75%) | $y_{i,100}$ (100%) |
|---------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 3       | \$3.377.777,78 | 0              | 353,7            | 235,8            | 353,7            | 471,6              |
| 4       | \$197.777,78   | 0              | 333,1            | 475,8            | 713,7            | 951,6              |
| 5       | \$243.333,33   | 0              | 107,2            | 357,3            | 536,0            | 714,7              |
| 6       | \$165.555,56   | 0              | 340,3            | 486,1            | 729,2            | 972,2              |
| 7       | \$22.222,22    | 0              | 295,8            | 493,1            | 739,6            | 986,2              |
| 8       | \$192.842,22   | 0              | 75,8             | 252,8            | 379,2            | 505,6              |
| 9       | \$5.982,78     | 0              | 102,9            | 257,2            | 385,7            | 514,3              |
| 10      | \$620.614,22   | 0              | 177,3            | 253,3            | 380,0            | 506,6              |
| 11      | \$1.431.239,56 | 0              | 100,2            | 250,4            | 375,6            | 500,9              |
| 12      | \$2.849.672,44 | 0              | 222,4            | 247,2            | 370,7            | 494,3              |
| 13      | \$944.444,44   | 0              | 142,1            | 236,9            | 355,3            | 473,7              |
| 14      | \$486.045,10   | 0              | 24,2             | 121,1            | 181,6            | 242,2              |
| 15      | \$476.888,89   | 0              | 231,6            | 231,6            | 347,5            | 463,3              |
| 16      | \$1.696.888,89 | 0              | 41,0             | 58,5             | 87,8             | 117,0              |
| 17      | \$1.387.576,00 | 0              | 150,2            | 250,3            | 375,4            | 500,5              |
| 18      | \$302.659,91   | 0              | 216,0            | 240,0            | 360,0            | 480,0              |
| 19      | \$1.307.681,44 | 0              | 148,2            | 247,0            | 370,6            | 494,1              |
| 20      | \$166.666,58   | 0              | 98,1             | 140,1            | 210,2            | 280,3              |
| 21      | \$388.555,56   | 0              | 154,9            | 221,3            | 331,9            | 442,6              |
| 22      | \$1.992.348,44 | 0              | 26,0             | 65,0             | 97,5             | 130,1              |
| 23      | \$564.444,44   | 0              | 131,6            | 219,4            | 329,1            | 438,8              |
| 24      | \$2.221.102,89 | 0              | 56,0             | 140,0            | 210,1            | 280,1              |
| 25      | \$1.233.333,33 | 0              | 101,4            | 253,5            | 380,2            | 506,9              |
| 26      | \$166.666,67   | 0              | 131,6            | 219,3            | 329,0            | 438,7              |
| 27      | \$144.444,44   | 0              | 90,2             | 128,9            | 193,3            | 257,8              |
| 28      | \$1.716.412,56 | 0              | 84,0             | 140,0            | 210,0            | 280,0              |
| 29      | \$26.989,12    | 0              | 153,5            | 219,3            | 328,9            | 438,5              |
| 30      | \$27.703,70    | 0              | 17,6             | 17,6             | 26,4             | 35,1               |
| 31      | \$1.508.582,00 | 0              | 19,8             | 33,0             | 49,6             | 66,1               |
| 32      | \$7.738,33     | 0              | 87,7             | 219,2            | 328,8            | 438,4              |
| 33      | \$55.492,33    | 0              | 87,7             | 219,2            | 328,8            | 438,4              |

#### 4.5. Otimização

Para o resultado da otimização foi considerado  $M$  igual a 1000000 de unidades monetárias de planejamento. O software utilizado foi o do Solver do Excel, com os seguintes parâmetros: tempo máximo 100 segundos; iterações 1000; precisão 0,000001; tolerância 5%; e convergência 0,0001.

Sendo obtida a solução descrita na tabela 4

Tabela 4: tab:Resultado

| Projeto | $x_{i,0}$ | $x_{i,25}$ | $x_{i,50}$ | $x_{i,75}$ | $x_{i,100}$ | Recurso Alocado | Utilidade |
|---------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-----------------|-----------|
| 1       | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$65.923,00     | 483,95    |
| 2       | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$66.666,67     | 483,95    |
| 3       | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 4       | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$197.777,78    | 951,63    |
| 5       | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$243.333,33    | 714,69    |
| 6       | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$165.555,56    | 972,23    |
| 7       | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$22.222,22     | 986,15    |
| 8       | 0         | 0          | 1          | 0          | 0           | \$96.421,11     | 252,81    |
| 9       | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$5.982,78      | 514,31    |
| 10      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 11      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 12      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 13      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 14      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 15      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 16      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 17      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 18      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 19      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 20      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 21      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 22      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 23      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 24      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 25      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 26      | 0         | 1          | 0          | 0          | 0           | \$41.666,67     | 131,61    |
| 27      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 28      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 29      | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$26.989,12     | 438,54    |
| 30      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 31      | 1         | 0          | 0          | 0          | 0           | \$-             | 0,00      |
| 32      | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$7.738,33      | 438,45    |
| 33      | 0         | 0          | 0          | 0          | 1           | \$55.492,33     | 438,45    |
| Total   |           |            |            |            |             | \$995.768,89    | 6806,77   |

Correspondendo a seguinte alocação ótima de recursos:

- 100% para os projetos 1,2,4,5,6,7,9,29,32 e 33;
- 50% para o projeto 8; e

- 25% para o projeto 26.

O somatório das utilidades perfaz um total de 6806,77 a um custo total de 995.768,89 unidades monetárias de planejamento. Não se garante que o resultado ótimo é único, mas garante-se que não há outro resultado com melhor desempenho.

Comparando-se a utilidade obtida no modelo com a de destinação total de projeto temos uma utilidade de 6651,98 a um custo total de 973.856,67 unidades de planejamento, correspondendo à alocação total aos projetos 1,2,4,6,7,8,9,26,29,32 e 33

#### 4.6. Discussão

A estrutura proposta auxilia decisão complexa por meio da definição de utilidade para o projeto, dada pela execução total do projeto, consubstanciado por seu score final, incorporando subjetividade do decisor de uma maneira estruturada.

Ao utilizar a metodologia FITradeoff, o faz com redução da carga cognitiva para o decisor. Além de apresentar uma solução ótima que engloba a representação de alocação parcial de recursos para os projetos.

Enquanto limitações, não é possível garantir execução em tempo viável em conjunto de dados expressivamente grande. Também, neste trabalho, são considerados resultados determinísticos, não contemplando aspectos estocásticos, os quais poderiam representar o sistema de maneira mais completa. Adicionalmente são desconsiderados aspectos sinérgicos entre os projetos.

Por outro lado, enquanto contribuições tanto práticas como metodológicas, o modelo permite que sejam representados de maneira linear os aspectos não lineares dos retornos com alocações parciais de recursos, por meio da transformação de variáveis.

#### 5. Conclusão

O trabalho, enquanto prova de conceito da viabilidade de utilização conjunta do método FITradeoff e de Programação Linear Inteira, atingiu os objetivos propostos, conseguindo identificar solução ótima para o conjunto de teste fornecido.

Também apresenta a possibilidade de ser utilizada como ferramenta de comparação para avaliação de impactos de substituição da solução sugerida, instrumento de grande importância para o tomador de decisão.

Finalmente a articulação da otimização com a metodologia FITradeoff permite que uma estruturação melhor quanto à representação dos aspectos subjetivos de avaliação do tomador de decisão, com menor esforço cognitivo. Além de tratar a não linearidade dos resultados esperados, com respeito à alocação parcial de recursos.

Futuros trabalhos podem dedicar-se a incorporar aspectos estocásticos quanto à obtenção efetiva de resultados dos projetos, a estabelecer métricas para relações sinérgicas entre os projetos, e na aplicação de metaheurísticas para conjuntos de dados nos quais se torne inviável a aplicação de Programação Linear Inteira.

#### 6. Agradecimentos

Agradecemos à Assessoria de Ciência, Tecnologia e Inovação da Diretoria Geral e Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, em especial ao Contra Almirante (EN-RM1) Álvaro Luís de Souza Alves Pinto, incentivador deste trabalho, e à Capitão de Fragata (T) Aparecida Nunes da Silva, que participou do experimento no papel de tomador de decisão.

## Referências

- Botelho, T. d. A. T., Pessôa, L. A. M., Ferreira, R. J. P., e De Almeida, A. T. (2017). Aplicação do método multicritério fitradeoff para escolha de obuseiro para batalhão de artilharia de fuzileiros navais. In *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*.
- Clemen, R. T. e Smith, J. E. (2009). On the choice of baselines in multiattribute portfolio analysis: a cautionary note. *Decision Analysis*, 6(4):256–262.
- da Silva, F. H. R., Vieira, H. S., Benavalli, L., Leonaetti, A. B., Ferreira, R. J. P., e De Almeida, A. T. (2017). Uso do método fitradeoff em análise de investimentos. In *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*.
- De Almeida, A. T., De Almeida, J. A., Costa, A. P. C. S., e De 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. ISSN 03772217. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.058>.
- Ehrgott, M., Klamroth, K., e Schwehm, C. (2004). An MCDM approach to portfolio optimization. In *European Journal of Operational Research*, volume 155, p. 752–770.
- Frej, E. A., de Almeida, A. T., e Costa, A. P. C. S. (2019). Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*, 19(4):909–931. URL <https://doi.org/10.1007/s12351-018-00444-2>.
- García-Melón, M., Poveda-Bautista, R., e Del Valle M., J. L. (2015). Using the strategic relative alignment index for the selection of portfolio projects application to a public Venezuelan Power Corporation. *International Journal of Production Economics*, 170:54–66. ISSN 09255273.
- Lins, M. P. E. e Pessôa, L. A. M. (2010). Desafios da avaliação de publicações em periódicos : discutindo o novo Qualis da Área Engenharias III. *Revista Brasileira de Pós Graduação*, 7(12): 14–33.
- Mansini, R., Ogryczak, W., e Speranza, M. G. (2014). Twenty years of linear programming based portfolio optimization. *European Journal of Operational Research*, 234(2):518–535. ISSN 03772217.
- Morton, A. (2015). Measurement issues in the evaluation of projects in a project portfolio. *European Journal of Operational Research*, 245(3):789–796. ISSN 03772217.
- Pessôa, L. A. M., Ferreira, R. J. P., Lage, C. P. M., e de Almeida, A. T. (2018). Avaliação de impacto de política de decisão: uma proposta utilizando o fitradeoff. In *ENEGEP 2018 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. URL [https://doi.org/10.14488/enegep2018\\_tn\\_sd\\_269\\_537\\_36580](https://doi.org/10.14488/enegep2018_tn_sd_269_537_36580).
- Pessôa, L. A. M., Ferreira, R. J. P., Lage, C. P. M., e de Almeida, A. T. (2019). Understanding a decision policy: Using fitradeoff as a mirror for a decision maker. In *MCDM 2019 - The 25th International Conference on Multiple Criteria Decision Making*.

- Phillips, L. D. e Bana E Costa, C. A. (2007). Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. *Annals of Operations Research*, 154(1):51–68. ISSN 02545330.
- Silva, R. C., Pessôa, L. A. M., Ferreira, R. J. P., Costa, H. G., e De Almeida, A. T. (2019). Uma Aplicação do método Fittradeoff na Comparação de Poderes Combatentes de Unidades de Superfície. In *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*.
- Vieira, A. C. A. e Pires, R. J. (2017). Apoio multicritério a decisão em alocação de recursos de capital em instituição pública de ensino técnico com base no método FITradeoff. In *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*.