57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Desenvolvimento de um Modelo Matemático para Priorização de Cursos *Stricto Sensu* na Marinha do Brasil

Marcela Stein [1]
marcela.stein@marinha.mil.br

Sergio Mitihiro do Nascimento Maêda [1]
sergio.maeda@marinha.mil.br

Bruno Souza Lopes da Costa [2]
b.costa@marinha.mil.br

Gabriel Custódio Rangel [1]
gabriel.custodio@marinha.mil.br

Rodrigo Pinheiro Carvalho [1]
rodrigo.pinheiro@marinha.mil.br

Victor Benicio Ardilha da Silva Alves [1]
benicio@marinha.mil.br

[1] Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)
[2] Instituto Naval de Pós-Graduação (INPG)

RESUMO

A qualificação acadêmica é um fator estratégico para a Marinha do Brasil. A priorização de cursos de pós-graduação *Stricto Sensu* revelou-se uma etapa complexa no processo seletivo. Para apoiar essa decisão, foi desenvolvida uma prova de conceito do Sistema de Apoio à Decisão para Doutorado e Mestrado (SAD-DM). A solução utiliza um modelo de otimização que simula diferentes cenários e auxilia o processo decisório. Testes práticos em seis instâncias demonstraram a viabilidade e a eficiência computacional da ferramenta.

PALAVRAS CHAVE. Modelo Matemático, Seleção de Cursos, Ferramenta de Suporte a Decisão.

Tópicos (SE-PODMAR, Otimização Discreta)

ABSTRACT

Academic qualification is a strategic factor for the Brazilian Navy. The prioritization of *Stricto Sensu* graduate programs has proven to be a complex step in the selection process. To support this decision, a proof of concept of the Decision Support System for Doctorate and Master's Programs (SAD-DM) was developed. The proposed solution employs an optimization model that simulates different scenarios and supports decision-making. Practical tests on six instances demonstrated the tool's feasibility and computational efficiency.

KEYWORDS. Mathematical Model, Course Selection, Decision Support Tool.

Paper topics (SE-PODMAR, Discrete Optimization)

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

1. Introdução

A Marinha do Brasil (MB) é uma instituição que busca constantemente a melhoria de seus processos e a eficácia no cumprimento de suas missões. Ela preocupa-se com as inovações tecnológicas e com as transformações do cenário global. Nesse contexto, a qualificação e especialização do seu pessoal orgânico, composto por militares e civis, assumem papel de extrema importância, garantindo que a força esteja sempre preparada para enfrentar novos desafios e contribuir para a soberania e o desenvolvimento do País.

A qualificação do pessoal é tratada como um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento institucional. O Objetivo Naval 11, "Pessoal – Nosso Maior Patrimônio", visa otimizar a gestão de recursos humanos, garantindo que a Marinha disponha de profissionais devidamente qualificados, alocados de maneira eficiente e prontos para atender às necessidades operacionais no momento adequado [Comando da Marinha, 2020]. De acordo com [Kalil et al., 2021], a formação acadêmica dos profissionais militares é um componente essencial para integrar conhecimentos científicos às práticas de defesa, permitindo que a instituição se adapte às constantes mudanças no ambiente internacional e tecnológico. Dessa forma, a qualificação avançada contribui diretamente para a inovação, a gestão eficiente de recursos e o fortalecimento da posição do Brasil no cenário marítimo global.

Buscando formar profissionais mais qualificados e especializados em áreas específicas, a MB possui um processo bem definido para a solicitação e seleção de cursos *Stricto Sensu*. O processo inicia-se nas Organizações Militares Proponentes (OMP), que realizam estudos internos e elaboram propostas de cursos alinhados às suas demandas específicas e aos interesses estratégicos do alto comando . As propostas são então encaminhadas às Organizações Militares Orientadoras Técnicas (OMOT), responsáveis pelas respectivas áreas do conhecimento técnico. Em seguida, as OMOT enviam o conjunto de propostas para seus Órgãos de Direção Setorial (ODS), que selecionam as propostas que são de interesse da MB e as repassam para a Diretoria de Ensino da Marinha (DEnsM). A DEnsM consolida todas as propostas recebidas, realiza uma análise prévia e as encaminha ao Instituto Naval de Pós-Graduação (INPG).

O INPG é responsável por realizar uma análise técnica das propostas, elaborar pareceres e realizar a priorização dos cursos, classificando-os de acordo com o grau de importância. Após essa etapa, o Instituto envia as propostas de cursos nacionais, acompanhadas dos respectivos pareceres e análises de priorização, para a Diretoria-Geral do Pessoal da Marinha (DGPM), e as propostas de cursos internacionais para o Estado-Maior da Armada (EMA). Tanto a DGPM quanto o EMA atuam como decisores finais do processo, baseando suas deliberações na documentação enviada pelo INPG.

A atividade de priorização dos cursos é uma tarefa complexa e de extrema importância. Com o objetivo de otimizar esse trabalho e garantir que a priorização esteja mais alinhada aos interesses da Marinha, o INPG, em parceria com o Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV), desenvolveram uma prova de conceito do Sistema de Apoio à Decisão para Doutorado e Mestrado (SAD-DM). Essa ferramenta tem como finalidade auxiliar na ordenação dos cursos de pós-graduação solicitados pelos ODS, seguindo as diretrizes estabelecidas no Planejamento Estratégico da Marinha (PEM).

O SAD-DM está estruturado em duas etapas: na primeira, é utilizada uma metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) para obter o valor militar (pesos dos cursos obtidos pelo processo de agregação) e a ordenação das propostas. Já na segunda etapa, aplica-se um modelo matemático para simular possíveis cenários que auxiliem à tomada de decisão, por meio de processos de otimização. Este artigo tem como objetivo apresentar a segunda etapa da prova de conceito SAD-DM, detalhando os resultados computacionais obtidos pela ferramenta.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

2. Referencial Bibliográfico

A seleção dos cursos a serem ofertados por instituições de ensino superior configura um problema decisório complexo, que pode ser abordado com o auxílio de métodos e técnicas da Pesquisa Operacional (PO). Um exemplo prático é o estudo realizado por [Xu et al., 2016], que aplicaram inteligência artificial e métodos de otimização para desenvolver um sistema de recomendação de sequências personalizadas de cursos, com o objetivo de reduzir o tempo de graduação e aumentar o desempenho acadêmico dos estudantes, utilizando técnicas de aprendizado online e modelagem de progressão acadêmica. De maneira complementar, [Morsy e Karypis, 2019] propuseram um sistema de recomendação que, além de considerar a adequação dos cursos ao perfil do estudante, também estima o impacto das disciplinas no coeficiente de rendimento (*Grade Point Average - GPA*), permitindo uma tomada de decisão mais consciente e estratégica.

Por outro lado, os métodos multicritério oferecem grande flexibilidade para incorporar julgamentos qualitativos e critérios subjetivos. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), por exemplo, foi utilizado para selecionar um novo curso técnico para uma instituição federal da Região Norte do Brasil, levando em consideração critérios como vocação regional, empregabilidade e sustentabilidade. O estudo resultou na indicação do curso de Zootecnia como a alternativa mais adequada [Silva e Salomon, 2019].

Os autores [Esteban et al., 2020] desenvolveram um sistema de recomendação de disciplinas eletivas baseado em múltiplos critérios, utilizando filtragem colaborativa, análise de conteúdo e algoritmos genéticos para ajustar as recomendações ao perfil dos alunos. Esses exemplos ilustram como a combinação de múltiplos métodos pode fornecer soluções robustas para problemas complexos de decisão educacional, promovendo uma alocação mais estratégica de recursos e uma maior aderência às demandas dos decisores.

3. Modelo Matemático

As expressões matemáticas utilizadas no modelo do SAD-DM estão organizadas em tabelas. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados, acompanhados de suas respectivas descrições. O conjunto I representa todos os cursos de pós-graduação, enquanto A corresponde aos ODS, T refere-se às OMOT e P representa as OMP. Por fim, considera-se que $i \in I$, $a \in A$, $t \in T$ e $p \in P$.

Tabela 1: Parâmetros

Parâmetro	Descrição
W_i	Peso (valor militar) do curso i
C_i	Custo total do curso i (Custo 1 + Custo 2)
C_i^{Custo1}	Valor do Custo Tipo 1 para o curso i
C_i^{Custo2}	Valor do Custo Tipo 2 para o curso i
Val_ODS_{ia}	1 se o curso i pertence ao ODS a, 0 caso contrário
Val_OMT_{it}	1 se o curso i pertence à OMOT t, 0 caso contrário
Val_OMP_{ip}	1 se o curso i pertence à OMP p, 0 caso contrário
Val_Mes_i	1 se o curso i é de mestrado, 0 caso contrário
Val_Dout_i	1 se o curso i é de doutorado, 0 caso contrário
P_INPG_i	1 se o curso i foi reprovado pelo INPG, 0 caso contrário
C_Aprov_i	1 se o curso i deve ser selecionado, 0 caso contrário
$Q_a^{\min}$, $Q_a^{\max}$	Quantidade mínima/máxima de cursos por ODS
$Q_t^{\min}$, $Q_t^{\max}$	Quantidade mínima/máxima de cursos por OMOT
$Q_p^{\min}$, $Q_p^{\max}$	Quantidade mínima/máxima de cursos por OMP
Q_Mes_Min	Quantidade mínima de cursos de mestrado

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

Parâmetro	Descrição
Q_dout_Min	Quantidade mínima de cursos de doutorado
V	Orçamento total disponível
V^{Custo1}	Orçamento total disponível para Custo 1
V^{Custo2}	Orçamento disponível para o Custo 2
B	Orçamento máximo por curso
B^{Custo1}	Orçamento máximo do custo 1 por curso
B^{Custo2}	Orçamento máximo do custo 2 por curso
N	Número máximo de cursos selecionados
M_I, M_A, M_T, M_P	Big M para os cursos, ODS, OMOT e OMP respectivamente

Na Tabela 2, são definidas as variáveis de decisão do modelo matemático.

Tabela 2: Variáveis de Decisão

Variável	Descrição
x_i	1 se o curso i for selecionado, 0 caso ao contrário
y_a	Maior que zero se tiver penalidade por não atingir mínimo de cursos no ODS a
h_t	Maior que zero se tiver penalidade por não atingir mínimo de cursos na OMOT t
k_p	Maior que zero se tiver penalidade por não atingir mínimo de cursos na OMP p
z_i	1 se tiver penalidade para tratar restrições contraditórias no curso i, 0 caso ao contrário

A seguir, é apresentada a formulação matemática do modelo, cujo objetivo é selecionar um conjunto de cursos de maneira a maximizar o somatório do valor militar, respeitando diversas restrições orçamentárias e de requisitos quantitativos.

$$\max \sum_{i \in I} W_i x_i - M_I z_i - M_A \sum_{a \in A} y_a - M_T \sum_{t \in T} h_t - M_P \sum_{p \in P} k_p \tag{1}$$

A função objetivo (1) visa a maximizar o somatório dos valores militares (W_i) dos cursos selecionados (x_i), penalizando cursos com inconsistências (z_i) e também penalizando desvios mínimos não atingidos para os ODS (y_a), OMOT (h_t) e OMP (k_p), através dos coeficientes de penalização M_I, M_A, M_T e M_P, respectivamente.

$$\sum_{i \in C} C_i x_i \leq V \tag{2}$$

$$\sum_{i \in C} C_i^{Custo1} x_i \leq V^{Custo1} \tag{3}$$

$$\sum_{i \in C} C_i^{Custo2} x_i \leq V^{Custo2} \tag{4}$$

A restrição (2) garante que o custo total dos cursos selecionados não ultrapasse o orçamento global disponível V. As restrições (3) e (4) asseguram que os custos específicos relacionados a dois tipos de despesas, $Custo1$ e $Custo2$, não excedam os respectivos orçamentos parciais V^{Custo1} e V^{Custo2}.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

$$\sum_{i \in C} x_i \leq N \tag{5}$$

$$\sum_{i \in I} Val_ODS_{ia} x_i \geq Q_a^{\min} - y_a \; \forall a \in A \tag{6}$$

$$\sum_{i \in I} Val_ODS_{ia} x_i \leq Q_a^{\max} \; \forall a \in A \tag{7}$$

$$\sum_{t \in T} Val_OMOT_{it} x_i \geq Q_t^{\min} - h_t \; \forall t \in T \tag{8}$$

$$\sum_{t \in T} Val_OMOT_{it} x_i \leq Q_t^{\max} \; \forall t \in T \tag{9}$$

$$\sum_{p \in P} Val_OMP_{ip} x_i \geq Q_p^{\min} - k_p \; \forall p \in P \tag{10}$$

$$\sum_{p \in P} Val_OMP_{ip} x_i \leq Q_p^{\max} \; \forall p \in P \tag{11}$$

A restrição (5) impõe um limite superior N ao número total de cursos que podem ser selecionados. As restrições (6) e (7) controlam a quantidade mínima e máxima de cursos associados a cada ODS, permitindo o relaxamento por meio da variável de penalização y_a na restrição (6). De maneira análoga, as restrições (8) e (9) impõem limites inferior e superior para a quantidade de cursos ligados a cada OMOT, com uso de variáveis de penalização h_t na restrição (8). As restrições (10) e (11) estabelecem as quantidades mínima e máxima de cursos relacionados a cada OMP, utilizando as variáveis de penalização k_p na restrição (10).

$$\sum_{i \in I} Val_Mes_i x_i \geq Q_Mes_Min \tag{12}$$

$$\sum_{i \in I} Val_Dout_i x_i \geq Q_Dout_Min \tag{13}$$

A restrição (12) assegura que um número mínimo de cursos de mestrado seja selecionado. A restrição (13) garante a seleção de um número mínimo de cursos de doutorado.

$$\sum_{i \in I} P_INPG_i x_i = 0 \tag{14}$$

$$x_i \geq C_Aprov_i - z_i \; \forall i \in I \tag{15}$$

A restrição (14) impede a seleção de cursos que foram reprovados pelo INPG. A restrição (15) assegura que cursos obrigatórios sejam selecionados (C_Aprov_i), permitindo exceções apenas mediante ativação da variável de penalização z_i.

$$C_i x_i \leq B \; \forall i \in I \tag{16}$$

$$c_i^{Custo1} x_i \leq B^{Custo1} \; \forall i \in I \tag{17}$$

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

$$c_i^{Custo2} x_i \leq B^{Custo2} \; \forall i \in I \tag{18}$$

A restrição (16) garante que o custo total de cada curso não ultrapasse B, enquanto as restrições (17) e (18) asseguram que os custos específicos relacionados a $Custo1$ e $Custo2$ não excedam, respectivamente, os valores máximos permitidos B^{Custo1} e B^{Custo2}.

$$x_i, z_i \in \{0,1\} \quad \text{e} \quad y_a, h_t, k_p \in \mathbb{Z}_+, \quad \forall i \in I \tag{19}$$

Por fim, a restrição (19) define o domínio das variáveis de decisão, impondo que x_i e z_i sejam variáveis binárias e que y_a, h_t e k_p sejam variáveis inteiras não negativas.

4. Metodologia

A etapa do modelo matemático no SAD-DM tem como objetivo oferecer maior flexibilidade ao decisor, permitindo a simulação de diferentes cenários e a obtenção de informações mais consistentes para embasar suas escolhas. Com o uso do modelo, também é possível alcançar resultados mais alinhados às necessidades e demandas da MB. Como exemplo, considerando os limites orçamentários, as quantidades mínimas e máximas de cursos por ODS, OMOT, OMP, ou uma combinação destes, conforme o caso. Para utilizar essa segunda etapa da ferramenta, pressupõe-se que os cursos já tenham um valor militar atribuído.

O SAD-DM é composto por um conjunto de planilhas eletrônicas (LibreOffice Calc - na extensão .ods) e um executável desenvolvido na linguagem de programação Python. Em uma das planilhas, o usuário deve inserir informações sobre o curso, como nome do curso, ODS, OMOT e OMP, os custos (custo tipo 1 e custo tipo 2), selecionar se o curso necessita ser aprovado, entre outros dados. Em seguida, o decisor deve informar quais restrições devem ser ativadas na análise, conforme exemplificado na Figura 1. O modelo matemático é elaborado utilizando a biblioteca Pulp para Python e emprega o *solver* GLPK.

Premissas	Serão consideradas as premissas (SIM / NÃO)	Valor
nº min cursos por ODS	NÃO	
nº max cursos por ODS	SIM	2
nº min cursos por OMOT	NÃO	
nº max cursos por OMOT	NÃO	
nº min cursos por OMP	NÃO	
nº max cursos por OMP	NÃO	
Custo total (Programa)	SIM	R$ 500.000,00
Custo Tipo 1 (Programa)	NÃO	
Custo Tipo 2 (Programa)	NÃO	
Custo total (Proposta)	NÃO	
Custo Tipo 1 (Proposta)	SIM	R$ 100.000,00

RESULTADOS

Nome do Curso	ODS	Parecer INPG	Custo Tipo 1	Custo Tipo 2	Curso é obrigado ser aprovado?	Peso Final 2	Status
Proposta 5	ODS 5	Favorável	R$ 50.000,00	R$ 50.000,00	NÃO	11,024	1
Proposta 6	ODS 6	Favorável	R$ 10.000,00	R$ 10.000,00	NÃO	11,024	1
Proposta 9	ODS 9	Favorável	R$ 0,00	R$ 0,00	NÃO	11,024	1
Proposta 1	ODS 1	Favorável	R$ 100.000,00	R$ 50.000,00	SIM	11,008	1
Proposta 4	ODS 4	Favorável	R$ 0,00	R$ 0,00	NÃO	11,008	1
Proposta 10	ODS 1	Favorável	R$ 0,00	R$ 50.000,00	NÃO	10,908	1
Proposta 12	ODS 7	Favorável	R$ 10.000,00	R$ 0,00	NÃO	10,908	1
Proposta 13	ODS 4	Favorável	R$ 20.000,00	R$ 0,00	NÃO	10,808	1
Proposta 18	ODS 6	Favorável	R$ 40.000,00	R$ 30.000,00	NÃO	10,514	1
Proposta 17	ODS 5	Favorável	R$ 70.000,00	R$ 10.000,00	NÃO	10,498	1
Proposta 20	ODS 7	Favorável	R$ 0,00	R$ 0,00	NÃO	10,198	1
Proposta 7	ODS 7	Favorável	R$ 90.000,00	R$ 10.000,00	NÃO	11,024	0
Proposta 2	ODS 2	Favorável	R$ 80.000,00	R$ 20.000,00	NÃO	11,008	0
Proposta 3	ODS 3	Favorável	R$ 0,00	R$ 100.000,00	NÃO	11,008	0
Proposta 8	ODS 8	Favorável	R$ 40.000,00	R$ 60.000,00	NÃO	11,008	0
Proposta 11	ODS 4	Favorável	R$ 40.000,00	R$ 10.000,00	NÃO	10,908	0
Proposta 14	ODS 7	Favorável	R$ 90.000,00	R$ 40.000,00	NÃO	10,824	0
Proposta 15	ODS 4	Favorável	R$ 50.000,00	R$ 20.000,00	NÃO	10,708	0
Proposta 16	ODS 4	Favorável	R$ 80.000,00	R$ 0,00	NÃO	10,624	0
Proposta 19	ODS 4	Favorável	R$ 30.000,00	R$ 50.000,00	NÃO	10,198	0

Figura 1: Restrições e Resultados

Conforme ilustrado na Figura 1, após rodar o modelo, é possível verificar o resultado da lista de priorização de cursos (imagem a esquerda), a qual é dividida pelo status: os cursos que foram aprovados pelo modelo possuem status igual a 1 e estão organizados em ordem decrescente do valor militar. Os cursos que não foram aprovados possuem status igual a 0 e também estão organizados de acordo com o grau de importância.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

Nesse trabalho optou-se por empregar seis instâncias com diferentes quantidades de cursos de pós-graduação, distintas restrições ativadas e variando os parâmetros empregados. Em seguida, foram analisados os resultados, como o tempo computacional e o número de cursos aprovados.

5. Resultados Computacionais

Para a etapa de desenvolvimento computacional, foi utilizado um notebook com **16 GB** de memória RAM, processador **Intel® Core™ i7** de **2,30 GHz** e sistema operacional **Windows 11**.

Na Tabela 3, são apresentadas as restrições (R1 até R18) que serão ativadas e seus respectivos valores para cada Instância (I1 até I6) utilizada.

Tabela 3: Restrições e Valores

	I1	**I2**	**I3**	**I4**	**I5**	**I6**
R2	R$ 600.000	R$ 2.700.000	-	R$ 4.500.000	R$ 4.500.000	-
R3	-	-	-	-	-	R$ 6.000.000
R4	-	-	-	-	-	-
R5	-	25	-	-	-	60
R6	1	1	1	-	-	4
R7	1	5	-	5	9	7
R8	1	-	1	-	-	-
R9	2	3	3	3	6	-
R10	-	-	-	-	-	-
R11	-	-	-	-	2	-
R12	-	-	-	-	-	-
R13	-	3	-	-	2	-
R14	-	-	SIM	SIM	-	SIM
R15	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	-
R16	-	-	-	-	R$ 120.000	R$ 120.000
R17	R$ 90.000	-	-	R$ 100.000	-	-
R18	-	-	R$ 60.000	-	-	-

Na Tabela 4, são apresentadas a quantidade de cursos totais (N_{Total}) e os valores dos parâmetros M_I, M_A, M_T, M_P para cada instância. Cada *Big M* é obtido conforme as Equações (20), (21), (22) e (23). O parâmetro M_I deve ser o de maior valor, pois a variável z_i só será ativada se a Restrição (15) for contraditória a uma restrição que não contenha variável de penalização.

O valor de M_A é superior ao de M_T e M_P, sendo que, por sua vez, M_T é maior que M_P. Essas relações entre os parâmetros garantem que, em casos de contradição entre o atendimento à quantidade mínima de ODS, OMOT e OMP, o modelo dará preferência ao atendimento do ODS, seguido pela OMOT e, por fim, pela OMP.

$$M_1 = \max(I) \cdot N_{Total} \cdot 0{,}8 \tag{20}$$

$$M_A = \max(I) \cdot N_{Total} \cdot 0{,}4 \tag{21}$$

$$M_T = \max(I) \cdot N_{Total} \cdot 0{,}3 \tag{22}$$

$$M_P = \max(I) \cdot N_{Total} \cdot 0{,}2 \tag{23}$$

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

Tabela 4: Instâncias e *Big M*

INSTÂNCIA	I1	I2	I3	I4	I5	I6
N_{Total}	20	50	50	100	100	300
M_I	176	440	440	880	881	2640
M_A	88	220	220	440	441	1320
M_T	66	165	165	220	221	990
M_P	44	110	110	165	166	660

As instâncias utilizadas no estudo não são dados reais, o objetivo é verificar o comportamento da ferramenta. Então, as instâncias foram executadas com os parâmetros pré-estabelecidos.

Na Figura 2, é apresentada a solução para a instância 1. No resultado, é possível verificar que a restrição de quantidade mínima e máxima de cursos por ODS, igual a 1, foi atendida. As restrições orçamentárias também foram contempladas, pois o orçamento total obtido pela soma dos cursos selecionados não ultrapassou os R$ 600.000,00, e cada curso aprovado não apresentou um custo do Tipo 1 superior a R$ 90.000,00.

Entretanto, duas restrições não puderam ser 100% atendidas. Embora a Proposta 1 tenha sido selecionada com o parâmetro de aprovação obrigatória, ela apresentava um valor no Custo Tipo 1 superior ao limite estabelecido pela restrição de custo máximo para esse tipo de custo (sinalizado em azul na Figura 2). Por esse motivo, foi necessário empregar uma variável de penalização para garantir que o modelo encontrasse uma solução viável, além de priorizar as restrições relacionadas aos custos.

Como foi definido que a quantidade máxima de ODS deveria ser igual a 1, essa restrição entra em conflito com a restrição de que a quantidade mínima de OMOT seja igual a 1, pois há mais OMOT do que ODS. Dessa forma, também foi necessário aplicar variáveis de penalização para as OMOT que não foram contempladas pelo modelo (sinalizadas em amarelo na Figura 2).

Nome do Curso	Prioridade	ODS	OMOT	Custo Tipo 1	Custo Tipo 2	Curso é obrigado ser aprovado?	Peso Final 2	Status
Proposta 4	1	ODS_2	OMOT_2	R$ 10.000,00	R$ 10.000,00	NÃO	11	1
Proposta 8	2	ODS_3	OMOT_5	R$ 0,00	R$ 20.000,00	NÃO	11	1
Proposta 12	3	ODS_4	OMOT_7	R$ 20.000,00	R$ 80.000,00	NÃO	11	1
Proposta 14	4	ODS_5	OMOT_8	R$ 90.000,00	R$ 0,00	NÃO	11	1
Proposta 15	5	OD_6	OMOT_9	R$ 20.000,00	R$ 80.000,00	NÃO	11	1
Proposta 16	6	ODS_7	OMOT_10	R$ 0,00	R$ 40.000,00	NÃO	11	1
Proposta 17	7	ODS_8	OMOT_11	R$ 50.000,00	R$ 40.000,00	NÃO	11	1
Proposta 19	8	ODS_9	OMOT_13	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00	NÃO	11	1
Proposta 2	9	ODS_1	OMOT_1	R$ 80.000,00	R$ 20.000,00	NÃO	10,7525	1
Proposta 1	10	ODS_1	OMOT_1	R$ 100.000,00	R$ 50.000,00	SIM	11	0
Proposta 5	11	ODS_2	OMOT_3	R$ 90.000,00	R$ 10.000,00	NÃO	10,7525	0
Proposta 9	12	ODS_3	OMOT_6	R$ 0,00	R$ 90.000,00	NÃO	10,7525	0
Proposta 13	13	ODS_4	OMOT_7	R$ 100.000,00	R$ 70.000,00	NÃO	10,7525	0
Proposta 18	14	ODS_8	OMOT_12	R$ 50.000,00	R$ 30.000,00	NÃO	10,7525	0
Proposta 20	15	ODS_9	OMOT_14	R$ 0,00	R$ 0,00	NÃO	10,7525	0
Proposta 3	16	ODS_1	OMOT_1	R$ 0,00	R$ 100.000,00	NÃO	10,505	0
Proposta 6	17	ODS_2	OMOT_3	R$ 40.000,00	R$ 60.000,00	NÃO	10,505	0
Proposta 10	18	ODS_3	OMOT_6	R$ 40.000,00	R$ 50.000,00	NÃO	10,505	0
Proposta 7	19	ODS_2	OMOT_4	R$ 40.000,00	R$ 10.000,00	NÃO	10,2575	0
Proposta 11	20	ODS_3	OMOT_6	R$ 30.000,00	R$ 50.000,00	NÃO	10,2575	0

Figura 2: Resultados instância 1

Os resultados para cada cenário podem ser verificados na Tabela 5, onde são apresentados o tempo computacional, o valor da função objetivo (FO), o número de cursos aprovados e a quantidade de variáveis de penalização utilizadas na solução.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

Tabela 5: Resultado Instâncias

INSTÂNCIA	**I1**	**I2**	**I3**	**I4**	**I5**	**I6**
Tempo computacional (s)	0,24	0,53	0,38	0,64	0,72	1,84
F.O	-539.24	272,66	-415,34	294,8	-389,7	658,16
Nº cursos aprovados	9	25	34	27	45	60
Nº variável de penalização	7	0	2	0	1	0

Conforme demonstrado na Tabela 5, o SAD-DM é capaz de encontrar soluções para o modelo matemático em tempos computacionais considerados aceitáveis, mesmo quando aplicado a instâncias de maior porte. Isso demonstra a eficiência da ferramenta na resolução de problemas complexos em contextos práticos. Além disso, o modelo utiliza variáveis de penalização para preservar a viabilidade das soluções, mesmo quando determinadas restrições não podem ser atendidas integralmente, evitando que o problema se torne inviável.

Esses resultados evidenciam que o SAD-DM é uma ferramenta robusta e aplicável a diferentes cenários de planejamento, contribuindo para decisões mais fundamentadas e adaptadas às restrições reais da MB.

6. Conclusão

A MB valoriza a qualificação e a especialização de seu pessoal como elementos estratégicos para enfrentar os desafios contemporâneos e garantir a eficácia de suas missões. Para isso, adota um processo estruturado de solicitação e seleção de cursos *Stricto Sensu*. Entretanto, a etapa de priorização configura-se como uma atividade complexa.

Com o objetivo de aperfeiçoar esse processo e garantir maior aderência às metas institucionais da MB, foi desenvolvida, pelo INPG em colaboração com o CASNAV, uma prova de conceito do SAD-DM. A ferramenta inclui uma fase que emprega um modelo matemático de otimização, permitindo simular diferentes cenários e apoiar o processo decisório.

Após a aplicação de seis instâncias para avaliar o desempenho do SAD-DM, constatou-se que a ferramenta obtém soluções em um tempo computacional aceitável e sempre fornece resultados viáveis.

Ao possibilitar a participação ativa dos responsáveis e aplicar técnicas matemáticas robustas, o sistema aprimora a seleção e priorização dos cursos, assegurando uma gestão mais eficiente dos recursos humanos e estratégicos da instituição. Dessa forma, o SAD-DM não apenas reforça o compromisso da Marinha com a excelência e a inovação, mas também contribui para a soberania nacional, garantindo que seus profissionais estejam cada vez mais qualificados e preparados para os desafios do cenário marítimo global.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se incorporar ao modelo matemático o grau de importância dos cursos para os ODS. Além disso, pretende-se desenvolver um sistema online mais robusto, visando facilitar o uso da ferramenta pelo usuário final.

Referências

Comando da Marinha (2020). Plano estratégico da marinha (pem 2040). 88p.

Esteban, A., Zafra, A., e Romero, C. (2020). Helping university students to choose elective courses by using a hybrid multi-criteria recommendation system with genetic optimization. *Knowledge-Based Systems*, 194:105385.

Kalil, S., Mei, E., e Silveira, C. d. C. (2021). *De Cuba à Patagônia: desafios da educação militar no terceiro milênio*. Editora UNESP.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br

Morsy, S. e Karypis, G. (2019). Will this course increase or decrease your gpa? towards grade-aware course recommendation. *arXiv preprint arXiv:1904.11798*.

Silva, E. S. e Salomon, V. A. (2019). Análise multicritério da escolha de um novo curso em uma instituição de ensino tecnológico. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 11(1):43–51.

Xu, J., Xing, T., e Van Der Schaar, M. (2016). Personalized course sequence recommendations. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64(20):5340–5352.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212481
https://proceedings.science/p/212481?lang=pt-br