

Utilização de análise multicritério para hierarquização das atividades de construção de uma embarcação militar

Use of multicriteria analysis for the prioritization of activities in the construction of a military vessel

DOI:10.34117/bjdv8n3-220

Recebimento dos originais: 14/02/2022

Aceitação para publicação: 17/03/2022

Guilherme Ferreira Pinto

Engenheiro Naval

Instituição: Diretoria de Engenharia Naval (DEN) – Marinha do Brasil (MB)

Endereço: Rua Primeiro de Março, 118, Centro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: guilherme.pinto@marinha.mil.br

Fábio Palma Ribeiro da Silva

Engenheiro Naval

Instituição: Diretoria de Engenharia Naval (DEN) – Marinha do Brasil (MB)

Endereço: Rua Primeiro de Março, 118, Centro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: fabio.palma@marinha.mil.br

André Ricardo Mendonça Pinheiro

Engenheiro Naval MSc.

Instituição: Centro de Projetos de Navios (CPN) – Marinha do Brasil (MB)

Endereço: Ilha das Cobras – Edf. 16 do Arsenal de Marinha (AMRJ), Centro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: andre.ricardo@marinha.mil.br

RESUMO

Neste trabalho é empregada a análise multicritério, utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process), para hierarquização das atividades de construção naval de um navio militar, visando obter subsídios para apoiar a decisão da autoridade competente quando, em um cenário de restrição orçamentária, for necessário priorizar alguma etapa no processo construtivo da embarcação. Para a análise foram definidos os pacotes de atividades que compõem o projeto de uma embarcação e os critérios de interesse que influenciam a execução destes pacotes, sendo estes: Custo, sentimento de prontificação (impacto) e importância da atividade no processo produtivo. Em seguida foi definido o peso de cada critério, utilizando à escala fundamental de Saaty, e realizada a avaliação das atividades segundo cada critério. Como resultado desta análise foi obtido à lista hierarquizada das etapas do processo produtivo, que serve para apoiar a decisão da alta administração em um cenário onde é necessário priorizar alguma atividade.

Palavras chave: multicritério, ahp, embarcação.

ABSTRACT

In this paper, multicriteria analysis is used according the AHP method, for hierarchizing shipbuilding activities of military ship, aiming to obtain subsidies to support the decision of the competent authority when, in a scenario of budgetary restriction, it is necessary to

prioritize some stage in the construction process of the vessel. For the analysis, the activity package that make up the project of a vessel and the criteria of interest that influence the execution of these packages were defined, namely: Cost, feeling of readiness (impact) and importance of the activity in the production process. Then the weight of each criterion was defined, using the Saaty Fundamental Scale, and the activities were evaluated according to each criterion. As a result of this analysis, a hierarchal list of the phases in production process was obtained, which serves to support competent authority in a scenario where it is necessary to prioritize some activity.

Keywords: multicriteria, ahp, ship.

1 INTRODUÇÃO

A busca por otimização do processo de produção, seja ele na construção naval ou em qualquer outra indústria, é uma área de conhecimento sobre gerenciamento em que há evolução constante, e todas as ferramentas que apoiem as autoridades competentes a tomar uma decisão em busca do processo ótimo estão sendo bastante aplicadas e estudadas. No setor militar não é diferente, busca-se constantemente o caminho ótimo para a construção de seus meios operativos, o que podem ser representados pelo menor custo, menor prazo, maior qualidade, entre outros.

Essa excelência é ainda mais procurada em um cenário de restrição orçamentária, como o vivenciado atualmente devido à pandemia. Em cenários adversos é necessário utilizar ferramentas que possibilitem priorizar as atividades mais relevantes, fornecendo subsídios para que seja tomada uma decisão por parte da autoridade competente. Neste contexto complexo multifatorial, surgem as técnicas de análise multicritério que fornecem informações para apoiar a decisão.

Neste artigo é apresentado um estudo de caso utilizando a análise multicritério por meio do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) com a finalidade de obter uma hierarquização das etapas do processo de produção de uma embarcação militar. Está análise apresenta as metas de construção de uma embarcação de forma descaracterizada em função do sigilo da informação, demonstrando a aplicação deste método como subsídio ao processo decisório de priorização de atividades no projeto de construção de um navio militar.

2 METODOLOGIA

Para avaliação e hierarquização das metas/sistemas do projeto de uma embarcação militar, isto é, ordenação quanto à sua relevância frente aos critérios escolhidos, aplicou-se o método de análise multicritério “AHP”.

2.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO

O “AHP” (*Analytic Hierarchy Process*) é definido como uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um ranking total das alternativas [DSS, 2000]. A idéia central desse método é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares, sendo recomendada a sua utilização para processos de tomadas de decisões [Saaty, 1991].

Esse procedimento de análise é especialmente vantajoso no que diz respeito à sua capacidade de decompor um problema complexo em partes e por sua simplicidade na aplicação, uma vez que a determinação das prioridades dos fatores, com relação ao objetivo, reduz-se a uma sequência de comparação dos critérios por pares, com relações de “*feedback*”, ou não, entre os níveis, reduzindo a subjetividade da análise [Saaty, 1991]. Através dessas comparações por pares, o método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina uma hierarquização total das alternativas (sistemas), capturando medidas subjetivas e objetivas e demonstrando a intensidade de domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra [PUC, 2007].

2.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E AVALIAÇÕES ATRIBUÍDAS

Para hierarquização das metas/sistemas do projeto, definiram-se os critérios comparativos apresentados a seguir:

- Importância
- Custo; e
- Impacto ao público externo.

O prazo, em geral, é um critério muito utilizado para comparação, todavia, para a análise em questão não há preferência (prioridade) de execução de determinada meta/sistema em função do prazo. Em outras palavras, não há hierarquia entre dois

sistemas cujos critérios são idênticos, somente tendo como diferença o tempo de execução.

Isso se dá devido ao fato de que nesta análise não foi utilizada a ordem de precedência das atividades, informação que é bastante relevante na definição da realização de determinada meta do projeto. Com isso, não é possível definir qual parâmetro utilizar para o prazo, menor ou maior período de execução da atividade, uma vez que não foi estudada a relação de dependência das fases do projeto.

Dito isto, ressalta-se que está hierarquização irá apoiar a autoridade competente, juntamente com a lista de precedências das atividades, fornecendo informações relevantes na definição do cronograma ótimo da embarcação.

2.2.1 Importância

Este critério é o de maior ponderação na análise, pois reflete a importância de determinada meta/sistema frente ao navio, considerando o cumprimento das prioridades do comando (combater, navegar e flutuar). Para quantificação da importância, utilizou-se uma escala de 1 a 5, conforme legenda abaixo:

1. Mínima importância global frente às prioridades do comando;
2. Pequena importância global frente às prioridades do comando;
3. Média importância global frente às prioridades do comando;
4. Grande importância global frente às prioridades do comando; e
5. Máxima importância global frente às prioridades do comando.

Metas/sistemas de maior importância devem ter preferência na execução do projeto.

2.2.2 Custo

Este critério representa o custo total para consecução da meta ou prontificação do sistema, obtidos com base no cronograma do projeto recebido. É o critério de segunda maior ponderação e quanto menor o custo de determinada meta/sistema, maior a preferência de execução dentro do projeto, haja a vista o cenário de restrições orçamentárias vigentes.

2.2.3 Sentimento de prontificação (Impacto)

Este critério representa a evolução da obra perceptível ao público externo. Traduz-se pela imagem do navio frente aos olhos da sociedade. Quanto maior o impacto da

consecução de determinada meta ou da instalação de determinado sistema a bordo, maior será sua preferência de execução no projeto.

Para quantificação do impacto, utilizou-se uma escala de 1 a 5, conforme legenda abaixo:

1. Imperceptível;
2. Pequeno;
3. Médio;
4. Grande; e
5. Máximo.

2.3 PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

A ponderação dos critérios traduz a peso atribuído a cada um na matriz de decisão e foi determinada também utilizando o método “AHP”. Utiliza-se para tal a tabela abaixo que correlaciona os critérios par a par e atribuem-se os valores comparativos de acordo com a “Escala Fundamental de Saaty”.

Figura 1 - Escala fundamental de Saaty [Saaty, 1991].

Escala Fundamental de Saaty

1	Igualmente Importante	Os dois elementos de juízo contribuem igualmente para o objetivo.
3	Levemente Importante	A experiência e o julgamento favorecem um elemento em relação ao outro.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro.
7	Importância muito Grande ou Demonstrada	Um elemento de juízo é muito fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominação de importância pode ser demonstrada na prática.
9	Extremamente Importante	A evidência favorece um elemento em relação ao outro, com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

2.4 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Ao se considerar as dificuldades intrínsecas do ser humano em tomar decisões diante de problemas com muitas informações e com múltiplos critérios, Saaty propôs um procedimento para calcular inconsistências derivadas do julgamento de valor entre os

elementos comparados num problema complexo de decisão. O referido autor admite uma tolerância de 10% para as inconsistências.

Dito isto, após o julgamento dos critérios será efetuado o cálculo do índice de consistência e da razão de consistência, seguindo os passos descritos por Vargas [2010].

No primeiro passo, se calcula o maior autovalor da matriz de julgamento (λ_{Max}). Considerando a matriz de julgamento, o vetor de prioridades (prioridades calculadas dos elementos) e a ordem (n) da matriz da matriz, o cálculo do autovalor é representado pela seguinte fórmula:

$$\lambda_{max} = \text{média do vetor } \frac{Aw}{w}$$

No segundo passo, calcula-se o índice de consistência pela equação apresentada a seguir:

$$I.C. = \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

No terceiro passo, calcula-se a razão de consistência, apresentada pela fórmula ilustrada a seguir:

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{IC}{\text{Índice Randômico (IR) para } n}$$

Saaty [1991] propõe uma tabela com os índices randômicos (IR) de matrizes de ordem 1 a 15 calculados em laboratório, conforme exibido na figura 2.

Figura 2: Índice Randômico Médio do AHP. [Saaty,1991]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

2.5 HIERARQUIZAÇÃO DAS METAS/SISTEMAS

Para hierarquização dos sistemas com base nos critérios e pesos adotados, faz-se necessário normalizar os valores e calcular a média ponderada (pelos pesos) para cada sistema do navio, conforme detalhado a seguir.

A relação hierarquizada dos sistemas do navio é apresentada no apêndice.

2.5.1 Normalização dos valores

Os valores atribuídos aos sistemas em cada critério (importância, custo e impacto), de acordo com o método “AHP” devem ser normalizados, resultando em números de 0 a 1. A normalização é realizada por meio das seguintes fórmulas:

Quando se quer maximizar o critério:

$$V_{SC_NORM} = V_{SC} / V_{cMáx}$$

V_{SC_NORM} : Valor normalizado de determinado sistema e critério;
 V_{SC} : Valor atribuído a um determinado sistema e critério; e
 $V_{cMáx}$: Valor máximo dentre todos os sistemas em determinado critério.

Quando se quer minimizar o critério:

$$V_{SC_NORM} = 1 - (V_{SC} / V_{cMáx})$$

2.5.2 Média Ponderada

Para determinar o desempenho de um sistema frente aos critérios escolhido, calcula-se a média dos valores normalizados em cada critério, ponderada pelos pesos atribuídos.

3 PREMISSAS ADOTADAS

Para aplicação do método, foram adotadas as seguintes premissas:

- Não foram hierarquizadas as metas/sistemas que fazem parte do caminho crítico do cronograma do projeto, uma vez que não há flexibilidade para realização de ajustes. Esta sequência obedece ao encadeamento lógico da construção naval, considerando o prazo de cada atividade e suas relações de dependência (predecessoras);

- Por razões óbvias, não foram hierarquizadas as metas/sistemas cujas atividades já foram concluídas, isto é, avanço físico equivalente a 100%; e
- A hierarquização foi realizada sob uma ótica macro, isto é, ordenando as metas principais e sistemas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS ADOTADOS

Como citado na metodologia, para a ponderação dos critérios adotados e definição dos seus pesos para esta análise foi utilizado o método AHP comparando par a par segundo a escala fundamental de Saaty.

A comparação ocorre sempre do critério maior “força” em relação a outro de menor importância. A célula que correlaciona os mesmos critérios, só que na ordem inversa, recebe o valor inverso do primeiro atribuído. A diagonal principal da tabela recebe valor 1, tendo em vista que compara um critério com ele mesmo.

A tabela 1 apresentada a seguir ilustra a correlação entre os critérios e a definição dos pesos de cada um na análise a ser realizada.

Tabela 1 – Matriz de importância relativa entre critérios.

Tabela Comparativa entre Critérios				
	Importância	Custo	Impacto	Pesos
Importância	1,00	2,00	5,00	58%
Custo	0,50	1,00	3,00	31%
Impacto	0,20	0,33	1,00	11%

Na tabela 1 observa-se que: Importância (linha) por custo (coluna) recebeu valor 2. Significa que o critério “Importância” tem maior força do que o “custo” na análise. A célula referente à comparação inversa, “custo” (linha) por “importância” (coluna) recebe o inverso do valor, isto é, 1/2 (0,5). O mesmo procedimento acontece com as outras comparações par a par. As células em azul representa que o item da linha apresenta maior relevância que o critério da coluna, e as células branca são o inverso dos valores apresentados na célula azul para comparação entre os mesmos critérios.

Este processo foi realizado em pares para todos os critérios e, conforme apresentado na tabela acima, resultaram nos pesos destacados na cor laranja (ponderações).

Está análise apresentou o índice de consistência e a razão de consistência apresentado na tabela 2. Como podem ser observados, os pesos atribuídos aos critérios se mostram consistentes, uma vez que o seu índice de consistência e a sua razão de consistência estão abaixo de 10%.

Tabela 2: Índice de Consistência e Razão de Consistência

Lamb MAX	3,00	IC	0,18%	RC	0,32%
----------	------	----	-------	----	-------

4.2 HIERARQUIZAÇÃO DAS METAS

A construção de uma embarcação pode ser dividida em várias etapas, denominadas de metas físicas. Cada meta física diz respeito a um sistema ou processo de produção específico, e a conclusão de todas elas representa a finalização da construção de um navio.

Uma embarcação militar apresenta algumas metas específicas a sua atividade fim, o que torna o seu projeto mais complexo quando comparado a uma embarcação mercantil. Dito isto, é apresentado a seguir as metas físicas de uma embarcação militar.

Metas Físicas

1. Estrutura do Casco
2. Fundações e Bases
3. Unidades Propulsoras
4. Sistemas de Transmissão e Propulsão
5. Sistemas de apoio a Propulsão
6. Sistemas de OC e OL
7. Geração de Energia Elétrica
8. Sistema de Distribuição de Energia
9. Sistema de Iluminação
10. Sistema de Navegação
11. Comunicações Interiores
12. Comunicações Exteriores
13. Sistemas de Observação
14. Sistemas de Direção e Tiro
15. Sistemas de Climatização
16. Sistema de Água Salgada
17. Sistema de Água Doce
18. Combustíveis e Lubrificante - Manuseio e armazenagem
19. Sistema de ar, gás e outros
20. Sistemas de Controle do Navio
21. Sistema de reabastecimento em viagem
22. Sistemas mecânicos de movimentação
23. Sistemas de Emprego Especial
24. Acessórios do navio
25. Compartimentação do casco
26. Preservativos e Revestimentos
27. Espaços Habitáveis
28. Espaços de Serviço
29. Espaços de trabalho
30. Espaços de armazenagem
31. Armamento

Como mencionado anteriormente, uma premissa da análise é a não utilização das metas que compõem o caminho crítico para a construção da embarcação. Essa premissa foi adotada, pois para hierarquizar um processo é preciso ter flexibilidade quanto ao momento em que ele pode ser realizado, o que não ocorre com o caminho crítico. A seguir é apresentado o caminho crítico do projeto de uma embarcação militar.

Caminho Crítico

1. Estrutura do Casco
2. Unidades Propulsoras
3. Geração de Energia Elétrica
4. Sistemas de Navegação
5. Sistemas de Observação
6. Sistemas de Climatização
7. Compartimentação do Casco
8. Armamento

Com isso, as metas a serem hierarquizadas são:

Metas da Análise

1. Fundações e Bases
2. Sistemas de Transmissão e Propulsão
3. Sistemas de apoio a Propulsão
4. Sistemas de OC e OL
5. Sistema de Distribuição de Energia
6. Sistema de Iluminação
7. Comunicações Interiores
8. Comunicações Exteriores
9. Sistemas de Direção e Tiro
10. Sistema de Água Salgada
11. Sistema de Água Doce
12. Combustíveis e Lubrificante - Manuseio e armazenagem
13. Sistema de ar, gás e outros
14. Sistemas de Controle do Navio
15. Sistema de reabastecimento em viagem
16. Sistemas mecânicos de movimentação
17. Sistemas de Emprego Especial
18. Acessórios do navio
19. Preservativos e Revestimentos
20. Espaços Habitáveis
21. Espaços de Serviço
22. Espaços de trabalho
23. Espaços de armazenagem

Considerando tais metas, os critérios da análise e utilizando o método AHP, normalizando todos os critérios referentes às metas físicas, foi obtida a hierarquização apresentada na tabela 3.

Tabela 3: Hierarquização das metas físicas da construção de uma embarcação militar

PESOS	31%			58%			11%			Critérios Normalizados x Peso	Hierarquização
	METAS	Custo Noi	Import. Noi	Impac. Noi	Custo x Pe	Import. X Pe	Impac. X Pe				
Sistemas de Transmissão e Propulsão	0.99833675		1	0.75	0.309484393	0.58	0.0825	0.971984393			
Sistemas de Controle do Navio	0.95093453		1	0.5	0.294789703	0.58	0.055	0.929789703			
Sistemas de Direção e Tiro	0.99046938		1	0.25	0.307045506	0.58	0.0275	0.914545506			
Sistemas de OC e OL	0.88400452		1	0.5	0.2740414	0.58	0.055	0.9090414			
Combustíveis e Lubrificante - Manuseio e armazenagem	0.85607461		1	0.5	0.26538313	0.58	0.055	0.90038313			
Espaços de trabalho	0.92629472		0.8	1	0.287151364	0.464	0.11	0.861151364			
Comunicação Exteriores	0.95298424		0.8	0.75	0.295425116	0.464	0.0825	0.841925116			
Sistema de Água Salgada	0.64436048		1	0.5	0.199751747	0.58	0.055	0.834751747			
Sistemas de apoio a Propulsão	0.43928317		1	0.75	0.136177782	0.58	0.0825	0.798677782			
Sistema de Iluminação	0.86334304		0.8	0.5	0.267636343	0.464	0.055	0.786636343			
Sistemas mecânicos de movimentação	0.95502332		0.6	0.75	0.296057228	0.348	0.0825	0.726557228			
Sistema de ar, gás e outros	0.57700067		0.8	0.75	0.178870208	0.464	0.0825	0.725370208			
Preservativos e Revestimentos	0.81083034		0.6	1	0.251357406	0.348	0.11	0.709357406			
Sistema de Distribuição de Energia	0		1	0.5	0	0.58	0.055	0.635			
Sistema de Água Doce	0.67079004		0.6	0.5	0.207944912	0.348	0.055	0.610944912			
Comunicações Interiores	0.88934737		0.4	0.5	0.275697684	0.232	0.055	0.562697684			
Espaços de armazenagem	0.78391803		0.4	0.75	0.243014588	0.232	0.0825	0.557514588			
Sistemas de Emprego Especial	0.87079425		0.4	0.5	0.269946219	0.232	0.055	0.556946219			
Sistema de reabastecimento em viagem	0.77756986		0.4	0.75	0.241046656	0.232	0.0825	0.555546656			
Acessórios do navio	0.9797196		0.2	1	0.303713077	0.116	0.11	0.529713077			
Fundações e Bases	0.75065048		0.4	0.5	0.232701649	0.232	0.055	0.519701649			
Espaços de Serviço	0.59938337		0.4	0.75	0.185808845	0.232	0.0825	0.500308845			
Espaços Habitáveis	0.44365274		0.4	1	0.137532348	0.232	0.11	0.479532348			

Como pode ser observado na tabela 3 o sistema de transmissão e propulsão ficou como o mais relevante em caso de necessidade de antecipar/priorizar algum processo de construção. Por sua vez, as atividades referentes aos espaços habitáveis seriam a última a ser realizada, pois nesta análise, foram os que apresentaram menor relevância.

5 CONCLUSÃO

Este estudo apresenta a utilização da análise multicritério por meio do método AHP com o objetivo de hierarquizar as atividades do processo de construção de uma embarcação militar. Para tanto foram definidas algumas premissas para aplicação deste método, visto que a análise multicritério é destinada a escolher a melhor opção dentre as existentes e não poder ser utilizada em processos bem definidos/ sem folgas, como é o caso do caminho crítico da execução do projeto de um navio.

O processo decisório foi iniciado com a decisão dos critérios pelos quais as metas físicas seriam analisadas, sendo escolhidos os seguintes: custo, sentimento de prontificação (Impacto), importância da meta no processo de construção da embarcação. Após isso foi utilizado o método AHP e a escala fundamental de Saaty para correlacionar os critérios e definir o peso de cada um na análise, sendo obtido o seguinte resultado:

Custo apresenta 31% de relevância na análise, Importância apresenta 58% de relevância na análise e impacto representa uma relevância de 11% neste estudo.

Com a definição dos critérios e pesos foi possível analisar cada meta física em relação aos mesmos, obtendo assim a hierarquização. Como resultado foi observado que a atividade relacionada ao sistema de propulsão e redes apresentou maior relevância para a construção que as atividades referentes à organização do espaço habitável. Isso se justifica também pela sequência do processo de construção de uma embarcação, tornando a análise bastante coerente.

Por fim, é importante ressaltar que essa análise serve de subsídio para uma tomada de decisão por parte das autoridades competentes e deve ser utilizada em conjunto com o cronograma e a ordem de precedência, uma vez que estes podem definir que uma atividade de baixa relevância seja executada a fim de possibilitar a realização de uma atividade de maior relevância.

REFERÊNCIAS

DSS. (2000). Decision Support Systems Glossary. Disponível em: <http://dssresources.com/dssbook/glossary.pdf>. Acesso em: 10/05/2021.

PUC-Rio. (2007). O MÉTODO AHP –Analytic Hierarchy Process. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_4.PDF. Acesso em: 18/04/2021.

Saaty, T.L. (1991). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operations Research*, 48, 9-26.

Vargas, R.V. (2010). Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. *PMI Global Congress – América do Norte, 2010, Washington – EUA*. Disponível em: <http://www.ricardo-vargas.com/articles/analytic-hierarchy-process/#portuguese>. Acesso em: 10 mai 2021.