



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

MODELO DE AVALIAÇÃO DE NAVIOS DE ESCOLTA: UMA ABORDAGEM MCDA

Armando Gonçalves Madeira Junior

Centro de Apoio a Sistemas Operativos (CASOP)

madeira.mil@gmail.com

RESUMO

Este artigo apresenta o resultado obtido na aplicação das ferramentas de abordagem MCDA (Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão), utilizando a metodologia MACBETH (Mensuração da Atratividade através de uma Técnica de Base Categórica), com o intuito de avaliar os navios de escolta da Marinha do Brasil. Para a análise foram utilizados dados de cinco navios de escolta, dentre eles duas Fragatas da classe Niterói modernizada, uma Fragata classe Niterói antes da modernização e duas Corvetas classe Inhaúma.

As informações prestadas pela modelagem servirá de importante subsídio para o Estado Maior da Esquadra no monitoramento do desempenho das unidades subordinadas em diversos ambientes da guerra naval como também possibilita a avaliação da manutenção dos equipamentos quanto à situação do SMP e EXOP. Secundariamente é um eficiente índice de desempenho que, se bem acompanhado, poderá indicar o momento de modernizar ou desativar navios, ou até mesmo orientar na aquisição de novos meios.

Palavras-Chaves: MCDA; navios de escolta; MACBETH.

ABSTRACT

This paper presents the result of the application of MCDA methodology (Multiple Criteria Decision Aid), the MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique), in order to evaluate the escorts ships from the Brazilian Navy. Five escort ships were used for the analysis, two Frigate Niterói class after modernization, one Frigate Niterói class before modernization and two Corvettes Inhaúma class.

The information specified by the model will serve as an important subsidy for the General Staff to keep up the units subordinated in its performance in various naval warfare environments as also to make possible the verification of the equipment restore and about the situation of the SMP and EXOP. Secondary it is an efficient performance index that, if well attended, will be able to indicate the modernization moment or to disable ships, or even though in its purchase new units.

Keywords: MCDA; escorts ships; MACBETH.

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios até hoje, o homem sempre teve que tomar decisões e esta atitude é umas das tarefas mais comuns do dia a dia, a todo o momento depara-se em uma situação que é mandatório tomar uma atitude, seja ela simples como decidir o momento de atravessar uma simples rua ou tão complexa quanto decidir sobre a desativação de um navio.

A Teoria da Decisão, que é fundamentada na racionalidade humana, utiliza um método científico que consiste genericamente nas seguintes fases (CLEMEN, 1996):

- Identificar o cenário decisório e entender seus objetivos;
- Identificar alternativas; decompor e modelar o problema;
- Escolher a melhor alternativa;
- Análise de Sensibilidade; e
- Implementar a alternativa escolhida;

A esmagadora maioria dos problemas de decisão é composta por mais de um objetivo aliado ao fato que, normalmente, não existe uma alternativa que “domine” as demais em todos estes objetivos. Nesse contexto, para resolver tais problemas racionalmente surgem os Métodos Multicriteriais.

Apesar das aplicações mais comuns da tomada de decisão abordarem a área administrativa e econômica, pode-se afirmar com a absoluta certeza que o processo decisório tem um caráter interdisciplinar, pois está presente em todas os ramos do conhecimento. Na área militar, que foi a responsável pelo aparecimento da Pesquisa Operacional na solução de problemas logísticos durante a II Guerra Mundial, estão presentes em conjunto com os problemas operativos os elementos administrativos e econômicos. Cabe lembrar que a atual dificuldade brasileira no contexto macroeconômico implica em graves restrições orçamentárias para a área militar, o que denota a importância da utilização das ferramentas de Pesquisa Operacional para uma alocação adequada desses recursos escassos.

Este artigo se propõe a apresentar a aplicação da metodologia multicritério, o MACBETH, em um problema militar, utilizando os programas “Expert Choice” para o “MACBETH Weights & Scores” e HIVIEW para realizar a agregação aditiva da avaliação global das ações potenciais, bem como a análise de sensibilidade da modelagem proposta. Será analisado o problema de seleção das melhores unidades para fazerem parte de um determinado grupo tarefa (GT) sob múltiplas ameaças. Através dos resultados obtidos, é possível reunir elementos objetivos para avaliar se o processo de modernização das Fragatas Classe Niterói foi uma decisão acertada.

As classes de navios analisadas, as alternativas do problema, foram: Fragata Classe Niterói (antes e após modernização) e Corveta Classe Inhaúma. Foram sintetizadas na Tabela 1 as principais características dessas classes que foram obtidas pelo Jane’s Fighting Ships – on line libraries.

Tabela 1: Características principais das classes envolvidas

Características	Fragata Classe Niterói	Fragata Modernizada	Corveta Classe Inhaúma
Radares de Busca	AWS-2	RAN-20S	AWS-4
Radar DT	RTN-10X	RTN-30X	RTN-10X-FA
MAGE	RDL2/5	Cutlass B-1BW	Cutlass B-1
MAE	-	ET-SQL1A e chaff	ET-SQL1 e chaff
Alça Optrônica	-	EOS-400	EOS-400
Sonar	EDO610E	EDO610E Mod1	Atlas SQS21C
Sistema de Dados Táticos	CAAIS 400	SICONTA MKII	CAAIS 450
SAM	Sea Cat	Albatroz-Aspide	-
Canhão AA	40mm L/70	CIWS 40mm L/70	40mm L/70

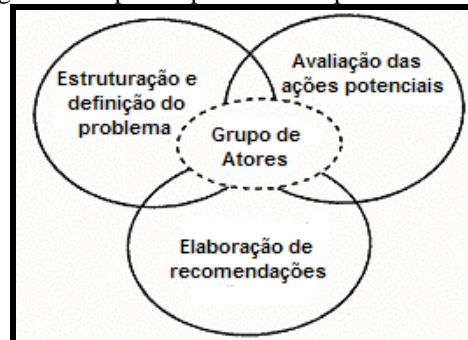
Fonte: Elaboração própria

2. METODOLOGIA

Segundo EDEN (1988), um problema é definido como a distância (*gap*) existente entre o estado desejado e o estado presente. Aliado a este fato o processo decisório é um sistema de relações entre elementos de natureza objetiva (características das ações potenciais) e subjetiva (sistema de valores dos decisores). Portanto, a decisão é uma atividade humana e quando o facilitador (especialista MCDA) despreza a subjetividade intrínseca neste processo na sua modelagem há grande probabilidade do resultado não ser condizente com a realidade, pois este afastamento proporciona no aumento deste *gap*. Trata-se da convicção na interconexão e inseparabilidade dos elementos objetivos e subjetivos no contexto decisório.

BANA E COSTA et al (1999) divide o processo decisório em três grandes etapas que interagem entre si, conforme apresentada na Figura 1.

Figura 1: Etapas do processo de apoio de decisão



Fonte: BANA E COSTA et al (1999)

A estruturação é um processo fundamental e possui um caráter interdisciplinar por misturar técnicas de abordagem sistêmica da pesquisa operacional com as ciências sociais, implicando na impossibilidade de conceber um procedimento genérico de estruturação, cuja aplicação garanta a unicidade e a validade do modelo construído. A estruturação está dependente da habilidade e intuição individual do facilitador e seu relacionamento com os outros atores (decisores).

Esta fase deve se manter sempre em aberto, conferindo uma natureza recursiva, tendo

em vista ao processo **construtivo** e de **aprendizagem** (convicções do MCDA) que visa à construção de um modelo formalizado, capaz de ser aceito pelos atores como uma estrutura de representação e organização do conjunto de elementos primários de avaliação (caráter subjetivo que são os objetivos dos atores) e as características das ações (componentes ambientais de caráter objetivo). Esta atividade passa pelos seguintes passos:

- Caracterização da situação problemática em questão;
- Identificação e geração de diferentes tipos de elementos primários de avaliação e pelo estabelecimento das relações estruturais entre eles;
- Diferenciação das funções no processo de avaliação;
- Descrição completa e rigorosa quanto possível de todos itens acima;

A fase de avaliação consiste basicamente em três atividades:

- Construção de um modelo de preferências locais, possibilitando a avaliação parcial das ações (específico para o MACBETH);
- Determinação das taxas de substituição (trade-offs) que forneçam uma noção da importância relativa de cada ponto de vista fundamental, possibilitando a agregação das avaliações locais numa avaliação global;
- Determinação dos impactos das ações segundo cada ponto de vista fundamental;

A fase de elaboração de recomendações é fortemente dependente da subjetividade do facilitador e do problema em análise, não havendo um procedimento cientificamente definido na sua apresentação no aspecto formal.

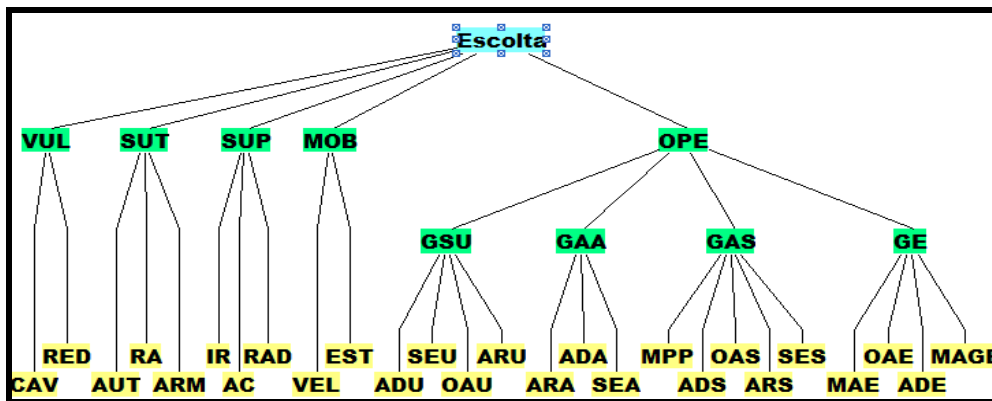
2.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Uma das técnicas para alcançar o objetivo desta fase é o *brainstorming* e o mapa cognitivo. O *brainstorming* consiste em solicitar ao grupo de decisores (atores) que escrevam uma palavra ou idéia que considerem importante para resolução do problema. Em seguida os papéis são divididos por áreas de preocupação, sendo então discutidos os pontos de vista e as respectivas significâncias através do mapa cognitivo. Segundo MONTIBELLER NETO (1996): “uma representação gráfica de um conjunto de representações discursivas feita por um sujeito (o ator) com vistas a um objeto (o problema) em um contexto de uma interação particular”.

Vale ressaltar que o processo de construção dos mapas cognitivos é interativo. Ele está em *looping* que somente terminará quando a representação gráfica estiver bem próxima da representação mental do decisor. Esta característica reflexiva permite que haja a aprendizagem do problema por parte dos atores durante este processo de construção.

No caso em questão foi utilizada esta teoria para construção do mapa cognitivo congregado com auxílio de especialistas na área Naval. De posse desse mapa, por meio da análise dos *clusters*, o facilitador efetua a construção da árvore de pontos de vista. Vale ressaltar que é necessária a aprovação desta pelos decisores de modo que estejam preservados os seus sentimentos com relação ao problema. A árvore resultante do estudo apresenta-se discriminada na Figura 2.

Figura 2: Árvore de Pontos de Vista construída pelo HIVIEW



Fonte: Madeira (2004)

A Tabela 2 discrimina a legenda das abreviaturas utilizadas e destaca em negrito os Pontos de Vista Fundamentais (PVF).

Tabela 2: Legenda das Abreviaturas Utilizadas

Sigla	Descrição	Sigla	Descrição
OPE	Missão operativa	GE	Guerra Eletrônica
MAGE	Medida de Apoio a Guerra Eletrônica	MAE	Medida de Ataque Eletrônico
ADE	Adestramento GE	OAE	Operações Aéreas, missão GE
GAS	Guerra Anti-Submarino	SES	Sensores AS
ARS	Armamento AS	ADS	Adestramento GAS
OAS	Operações Aéreas, missão GAS	MPP	Medidas Passivas de Proteção
GSU	Guerra de Superfície	SEU	Sensores SUP
ARU	Armamento SUP	ADU	Adestramento GSU
OAU	Operações Aéreas, missão GSU	GAA	Guerra Anti-Aérea
SEA	Sensores AA	ARA	Armamento AA
ADA	Adestramento GAA	SUT	Sustentabilidade
ARM	Armazenamento Armamento	RA	Raio de Ação
AUT	Autonomia	MOB	Mobilidade
VEL	Velocidade Máxima	EST	Estabilidade
VUL	Vulnerabilidade	CAV	Capacidade do Controle de Avaria
RED	Redundancia	SUP	Susceptibilidade
IR	Assinatura IR	AC	Assinatura acústica
RAD	Discrição radar		

Fonte: Elaboração própria

Após a definição dos PVF realiza-se a verificação da independência preferencial mútua entre eles, para que seja possível a construção de um modelo multicritério através da agregação aditiva dos vários critérios construídos, transformando unidades de atratividade local em unidades de atratividade global, ou seja, transformar um modelo de múltiplos critérios num modelo com critério único que é a pontuação final que determinada ação recebe.

Existem dois tipos de independência preferencial que devem ser examinados, a ordinal e a cardinal. Na primeira, verifica-se se a ordem de preferência (a P b) realmente pode

acontecer naquele PVF independentemente dos impactos de “a” ou “b” em algum outro PVF. Já na independência preferencial cardinal, verifica-se se a diferença de atratividade entre uma ação “a” e uma ação “b”, expressa pelo decisor no PVFi, não é afetada pelo impacto de “a” e “b” no PVFj.

Portanto, para que se possa identificar se ocorre a independência preferencial, devem-se fazer dois testes básicos: Teste de independência preferencial ordinal e Teste de independência preferencial cardinal. Os testes são feitos através de comparações par a par, entre os PVFs e de forma mútua (SCHNORRENBARGER, 1999 apud ENSSLIN et al, 1998).

No caso concreto todos os PV passaram pelos testes *supra*.

2.1.1. Construção dos Descritores

A última atividade da estruturação do problema na metodologia MACBETH consiste na construção de indicadores (descritores) que mostrem o grau em que cada ação avaliada está influenciando no respectivo PV. Para avaliar o impacto destes pontos de vista é necessário operacionalizá-los. Isto é possível por meio dos descritores e uma escala de atratividade local para cada PV, bem como um indicador de impacto de cada ação nos pontos de vista fundamentais.

Vale ressaltar que existe a possibilidade de comparar indiretamente as alternativas de modo a calcular a escala de preferência local (subitem 2.2.1), porém da forma apresentada neste artigo tem a vantagem de preservar os valores dos decisores, contidos na escala cardinal dos níveis de impacto, em futuras aplicações que envolvam alternativas similares.

Para exemplificar a construção dos descritores serão apresentados os referentes ao PVF - Vulnerabilidade.

2.1.1.1. Descritores para o PVF - Vulnerabilidade

Para melhor operacionalizar este PVF resolveu desmembrar em 2 Pontos de Vista Elementares (PVE): PVE - CAV e PVE - RED.

A título de exemplo, foi escolhido para o PVE - CAV o descritor constante da Tabela III. Ele representa a capacidade do controle de avarias (CAV) do navio. Para ter um CAV eficiente devem ter equipamentos de combate a incêndios e alagamentos em perfeita manutenção (mangueiras, edutores, máscaras de ar comprimido, câmera de imagem térmica, materiais para percinta, dentre outros), como também os componentes dos reparos (estações de CAV) é necessário um apurado e constante treinamento. Quanto maior a eficiência do binômio equipamento e pessoal, menor serão as perdas resultantes aos impactos do armamento do adversário. Como se pode perceber é o tipo de capacidade cujo desempenho depende essencialmente do trabalho despendido pela tripulação de determinado navio. Portanto, como a dotação do material de CAV é semelhante nos meios avaliados, o diferencial será dado pela média das notas em exercícios (μ ADE) de CAV realizados em Centros Especializados e na porcentagem das rotinas manutenção planejada (SMP) realizadas sobre as previstas nos equipamentos relacionados ao CAV.

Tabela 3: Descritor de CAV

Níveis	Descrição
N1	SMP menor ou igual a 90%; e μ ADE menor ou igual a 9.
N2	SMP maior que 90%; e μ ADE menor ou igual a 9.

N3	SMP menor ou igual a 90%; e μ ADE maior que 9.
N4	SMP maior que 90%; e μ ADE maior que 9.

Fonte: MADEIRA (2004).

2.2. FASE DE AVALIAÇÃO

Nesta etapa a metodologia MACBETH calculará as escalas de preferências locais, as taxas de substituição e avaliação global das ações potenciais. O método em questão realiza o cálculo da inconsistência do julgamento e da escala cardinal por meio de Programação Linear (PL).

2.2.1. Obtenção das Escalas de Preferências Locais

Após a estruturação do modelo multicritério, passou-se à fase de avaliação, construindo as matrizes de juízos de valor baseadas na escala semântica de julgamentos (Tabela 4) que permitem, através da Metodologia MACBETH, a determinação das escalas de valor cardinal. O processo inicia-se, solicitando ao decisor que expresse seus juízos de valor relacionados às diferenças de atratividade existentes entre os níveis de impacto dos descritores, para que se obtenha uma escala de preferências locais sobre cada um dos PV em que foi construído o descritor. Durante o processo de construção das matrizes, por parte do decisor, surgiram alguns problemas de inconsistência cardinal solucionados, através de diálogos entre o decisor e o facilitador, auxiliados pela sugestão do programa MACBETH SCORES, proposto por BANA e COSTA em conjunto com VANSNICK.

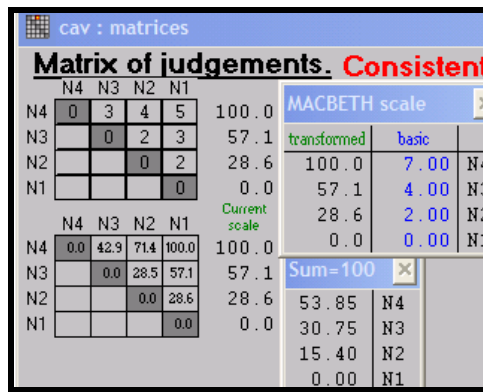
Tabela 4: Escala Semântica de Julgamentos

Categoria	Definição	Categoria	Definição
C0	Indiferença de atratividade	C4	Forte diferença de atratividade
C1	Diferença insignificante da atratividade	C5	Diferença muito forte de atratividade
C2	Fraca diferença de atratividade	C6	Diferença extrema (absoluta) de atratividade
C3	Diferença moderada de atratividade		

Fonte: SCHNORRENBARGER (1999)

A Figura 3 apresenta a matriz correspondente ao PVE CAV e a sua respectiva escala de atratividade corrigida, segundo a avaliação dos especialistas.

Figura 3: Matriz de Juízo de Valor e a Escala de Atratividade Corrigida (CAV)



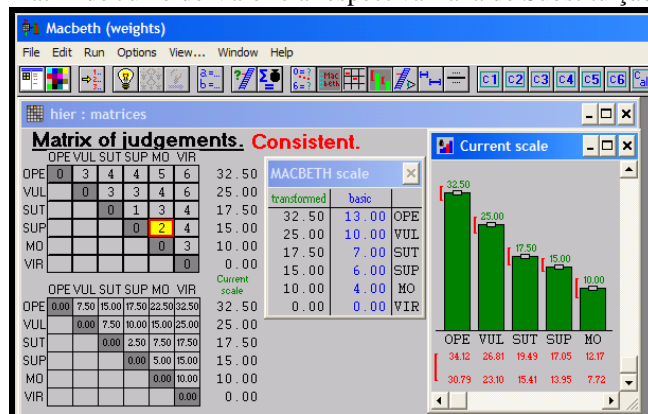
Fonte: MADEIRA (2004).

2.2.2. Determinação das Taxas de Substituição

Para poder avaliar as alternativas, é necessário obter informações entre os PV, ou seja, identificar as taxas de substituição que possibilitam agregar as avaliações locais. Como para todos os PVF foram construídos descritores para seus PVE, será necessário primeiramente obter as taxas de substituição entre os mesmos, para que se possam avaliar os navios escoltas segundo o ponto de vista fundamental em questão. A determinação destas taxas possibilitou a construção de um minimodelo de agregação.

Para a determinação das taxas de substituição entre os PV foi utilizado o programa MACBETH WEIGHTS e a escala semântica disposta na Tabela 4, analogamente ao que foi realizado no subitem 2.2.1. A Figura 4 apresenta a taxa referente ao objetivo.

Figura 4: Matriz de Juízo de Valor e a respectiva Taxa de Substituição, Objetivo.



Fonte: MADEIRA (2004).

Ressalta-se que o programa sugere uma taxa de substituição para o PV e o intervalo de variação (mínimo e máximo) que não altera a solução do Problema de Programação Linear.

2.2.3. Avaliação Global das Ações Potenciais

Para se calcular a avaliação global dos navios analisados, foi utilizado o programa HIVIEW, que efetua a agregação a partir do perfil de impacto local de cada ação e das taxas de substituição calculadas pelo MACBETH. A Figura 5 apresenta esta agregação, bem como o grau de contribuição dos PVF no resultado final. O HIVIEW obtém a avaliação global das alternativas (V(a)) pelo cálculo da agregação aditiva simples dos valores parciais obtidos para cada critério (j):

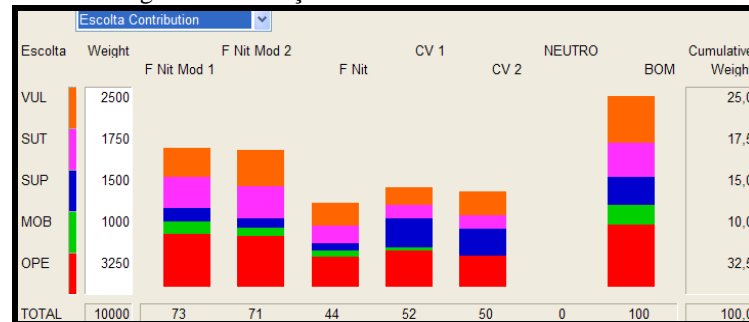
$$V(a) = \sum p_j \quad (1)$$

$$\sum p_j = 1 \quad (2)$$

$$0 \leq p_j \leq 1, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Onde p_j são as importâncias relativas ou coeficientes de ponderação.

Figura 5: Avaliação Global dos navios de escolta



Fonte: MADEIRA (2004)

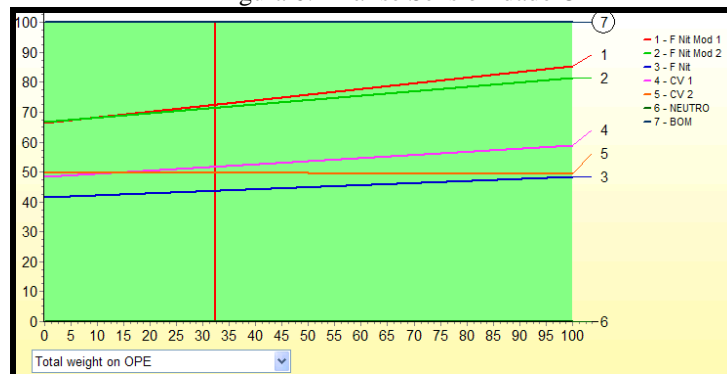
2.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

O programa HIVIEW gera os gráficos para o facilitador verificar a robustez e estabilidade do modelo, isto é a não existência de pequenas variações na taxa de substituição dos PV que permitam a alteração da avaliação final.

A Figura 6 apresenta o PVF OPE (cujos valores mínimo, sugerido e máximo são, respectivamente: 30,79; 32,50 e 34,12), e através desta pode-se tirar as seguintes conclusões:

- reduzindo para valores menores que 15,5 prevalecerá a CV Inhaúma 2 em relação a CV Inhaúma ;
- reduzindo OPE para valores menores que 8,0 resulta em domínio da F Niterói MOD 2 em relação F Niterói MOD 1; e
- aumentando não altera o *status quo*.

Figura 6: Análise Sensibilidade OPE



Fonte: MADEIRA (2004)

Vale mencionar que todas as alterações das taxas de substituição de todos os PV encontravam-se fora do intervalo entre os limites máximo e mínimo calculados pelo programa MACBETH e, portanto, o modelo é robusto e estável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando os resultados, juntamente com o calculado pela metodologia AHP por MADEIRA (2004), sintetizados na Tabela 5, praticamente os dois métodos apresentaram os

mesmos resultados, e conforme mencionado na análise de sensibilidade, a ordem alcançada só foi alterada com variações consideráveis da taxa de substituição dos critérios.

Tabela 5: Comparação Resultados AHP x MACBETH

Alternativas	MACBETH	AHP
Fragata Niterói MOD 1	1,000	1,000
Fragata Niterói MOD 2	0,973	0,949
CV Inhaúma 1	0,712	0,489
CV Inhaúma 2	0,685	0,489
Fragata Niterói	0,603	0,413

Fonte: Elaboração própria

Os resultados encontrados foram coerentes com o senso comum dos especialistas, pois há uma dominância da classe modernizada em relação à original na grande maioria dos pontos de vista (PV) relevantes avaliados, tendo em vista instalações de sistemas de dados e armas mais modernas, em contraposição aos antigos e deteriorados (com o tempo de uso). Em relação ao resultado superior das corvetas versus a Fragata original este era esperado devido à diferença tecnológica daquelas e pelo perfil que proporciona uma maior discricção. Apesar da Fragata ter maior poder de fogo, o armamento diferencial (Sea Cat e Ikara) estava tão obsoleto que dava uma diminuta vantagem nesta área. Finalmente, comparando as Fragatas modernizadas com as Corvetas, há uma supremacia tecnológica e de armamentos.

É importante observar que os resultados encontrados apontavam não apenas para a escolha de meios para comissão, mas também sugerem para o decisor a obsolescência da Fragata Classe Niterói. O decisor poderia optar pela desativação (baixa) dos navios ou pela modernização. O modelo demonstrou que a modernização, por sua vez, foi uma decisão correta, pois com esta “plástica” proporcionou um crescimento considerável na condição de eficiência do meio.

4. CONCLUSÕES

A metodologia MCDA, em particular o MACBETH, é uma excelente ferramenta para o Esquadrão realizar uma realimentação aos comandantes de navios para estes possam melhorar os seus índices de desempenho, cujo cálculo levou em consideração a performance individual do meio e a taxa de substituição de cada ponto de vista conforme o sistema de valores dos membros do Estado Maior. Os comandos subordinados, tendo a ciência das áreas onde apresentou um menor desempenho comparativamente, poderão alterar a política de adestramento e de manutenção de modo a proporcionar um melhor aproveitamento do expediente interno para alcançar estes fins. Afinal, tanto o tempo quanto os recursos são limitados e as necessidades são crescentes.

Como trabalhos futuros, recomenda-se aprofundar os graus na árvore hierárquica, gerando um maior detalhamento dos pontos de vista (PVE). Outra possibilidade de melhoria seria considerar os custos, tendo em vista o cenário futuro de diminutos recursos financeiros para o setor público militar. Este componente é de vital importância na escolha do navio escolta para uma determinada comissão ou até mesmo a sua permanência no serviço ativo. Sendo assim, poderia fazer parte da árvore de custos o valor de aquisição, de combustível, de manutenção e alinhamento e de mobilização de pessoal (considerando o adestramento e despesas salariais).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BANA e COSTA, C. A., ENSSLIN, L., VANSNICK, J.C. et al. (1999). “*Decision Support Systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process*”. European Journal of Operational Research, v. 113, pp. 315-335.
- [2] EDEN, C. (1988). “*Cognitive Mapping*”. European Journal of Operational Research, v. 36, pp. 1 - 13.
- [3] Jane’s Fighting Ships 2003-2004 – on line libraries. Disponível em: <http://www.janes.com>. Acesso em 12 de janeiro de 2004.
- [4] MADEIRA, A. G. (2004). “*Avaliação de Unidades de Escolta através da Modelagem de Apoio à Decisão*”. Tese de M. Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em <http://de.geocities.com/madeira_rj>.
- [5] MONTIBELLER NETO, G. (1996). “*Mapas Cognitivos: Uma Ferramenta de Apoio à Estruturação de Problemas*”. Tese de M. Sc., UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.
- [6] SCHNORRENBERGER, D. (1999). “*Construção de um Modelo de Avaliação do Desempenho de uma Divisão de Análise Contábil para Identificar Aperfeiçoamentos utilizando Metodologia Multicritério*”. Tese de M. Sc., UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.