

Objetivos Fundamentais para a Capacidade SAR da FAB: uma Análise Multicritério Orientada a Valores

Daniel Alberto Pamplona¹, Eduardo Caxero da Silva Coelho¹, Antônio Vitor Santos Silva¹, João Guilherme Ramos Trindade¹, Gabriel Scarin de Oliveira Vaz¹, Raphael Estrela Nunes¹, Jônatas A. de Almeida^{1,2}

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

²Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru/PE – Brasil

Resumo – Este trabalho identifica e estrutura os principais objetivos que devem nortear a tomada de decisão estratégica voltada à ampliação da capacidade de Busca e Salvamento (SAR) da Força Aérea Brasileira, sob a perspectiva da sustentabilidade operacional. Para isso, adota-se a Análise Multicritério de Decisão (MCDA) fundamentada no *Value-Focused Thinking* (VFT), estruturando seis objetivos fundamentais: tempo em cena, probabilidade de detecção, custo do ciclo de vida, disponibilidade da frota, eficiência do treinamento e adaptabilidade. As constantes de escala foram obtidas pelo método *Trade-off*, resultando em maior peso para a minimização de custos ($\omega=0,291$), seguida pela maximização da probabilidade de detecção ($\omega=0,209$).

Palavras-Chave – Busca e Salvamento, MCDA, Aeronaves Remotamente Pilotadas.

I. INTRODUÇÃO

A atividade de Busca e Salvamento (*Search and Rescue* – SAR) constitui uma das mais relevantes missões desempenhadas pela Força Aérea Brasileira (FAB), exigindo elevado nível de prontidão, eficiência e capacidade de resposta em um ambiente operacional caracterizado por grande complexidade e extensão territorial. A responsabilidade da FAB abrange uma área superior a 22 milhões de km², o que impõe desafios significativos relacionados à cobertura geográfica, tempo de resposta e disponibilidade de meios.

Nesse contexto, a ampliação da capacidade SAR não pode ser tratada apenas sob a ótica da expansão de meios, mas deve necessariamente considerar a sustentabilidade operacional no longo prazo. Tal sustentabilidade está fundamentada em três pilares essenciais: o financeiro, relacionado aos custos de aquisição e manutenção dos vetores; o logístico, associado à cadeia de suprimentos e à disponibilidade dos sistemas; e o humano, que envolve a formação, retenção e preservação das tripulações. A ausência de equilíbrio entre esses fatores pode comprometer não apenas a eficiência das operações, mas também a longevidade dos recursos empregados.

Diante desse cenário, emerge a necessidade de análise estruturada para tomada de decisão estratégica, capaz de conciliar a prontidão operacional imediata com a sustentabilidade do sistema ao longo do tempo. Nesse sentido, destaca-se a busca por alternativas que permitam otimizar o emprego de recursos, reduzir custos e ampliar a eficácia das

missões SAR, sem comprometer os níveis de segurança e desempenho exigidos.

Uma das possibilidades em análise consiste na incorporação de aeronaves remotamente pilotadas (ARP), ou drones, como complemento aos meios tradicionais. Essa alternativa apresenta potencial para aumentar a persistência nas áreas de busca, reduzir o custo por hora de voo e minimizar a exposição de tripulações humanas, alinhando-se às tendências internacionais de modernização das operações SAR. Contudo, sua adoção demanda avaliação criteriosa, considerando aspectos operacionais, logísticos e estratégicos.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo identificar e estruturar os principais valores e objetivos que devem nortear o tomador de decisão estratégico diante do problema de ampliação da capacidade SAR da FAB, sob a perspectiva da sustentabilidade operacional. Para tanto, será aplicada a abordagem *Value-Focused Thinking* (VFT), que parte dos valores fundamentais da organização para construir uma hierarquia de objetivos e critérios de avaliação — oferecendo ao gestor um caminho claro para que decisões futuras ganhem consistência e respaldo técnico.

II. REVISÃO DE LITERATURA

A tomada de decisão em contextos complexos, como as operações de Busca e Salvamento (*Search and Rescue* – SAR), exige a utilização de métodos estruturados capazes de considerar múltiplos critérios simultaneamente. Nesse contexto, destacam-se os métodos de Análise Multicritério de Decisão (MCDA), amplamente empregados em situações que envolvem trade-offs entre custo, desempenho e risco.

De acordo com Belton e Stewart [1], a análise multicritério permite estruturar problemas complexos de decisão, integrando diferentes objetivos e atributos em um modelo coerente. Tal abordagem proporciona maior transparência, consistência e rastreabilidade ao processo decisório, sendo especialmente relevante em ambientes organizacionais e militares, nos quais decisões estratégicas envolvem múltiplas dimensões e elevado grau de incerteza.

Além disso, a MCDA possibilita a comparação entre alternativas distintas por meio da construção de modelos que agregam diferentes critérios, permitindo ao decisor avaliar o impacto de cada variável no resultado final da decisão.

O conceito de *Value-Focused Thinking* (VFT), proposto por Keeney [5], representa uma evolução na forma de estruturar problemas de decisão. Diferentemente das abordagens tradicionais, que partem das alternativas disponíveis, o VFT propõe que o processo decisório deve ser orientado pelos valores fundamentais do decisor.

Segundo Keeney [5], a identificação clara dos valores permite a construção de objetivos fundamentais e objetivos meios-fim, estabelecendo uma base estruturada para a geração

D. A. Pamplona, pamplona@ita.br; E. C. S. Coelho, eduardo.coelho@ga.ita.br; A. V. S. Silva, vitoravss@gmail.com; J. G. R. Trindade, joaoguilhermeramos@trindade@gmail.com; G. S. O. Vaz, gabriel.vaz@ga.ita.br; R. E. Nunes, estrelaren@fab.mil.br; J. A. de Almeida, jonatasaa@yahoo.com.br.

e avaliação de alternativas. Essa abordagem favorece a criatividade no processo decisório, ao permitir a identificação de novas soluções que não seriam consideradas em uma abordagem limitada às alternativas previamente existentes.

No contexto organizacional, especialmente em instituições militares, o VFT possibilita alinhar a tomada de decisão aos valores estratégicos da organização, como eficiência operacional, segurança e sustentabilidade. Dessa forma, a utilização do VFT contribui para a construção de modelos decisórios mais robustos e alinhados aos objetivos institucionais.

As operações de Busca e Salvamento (SAR) são fundamentais para a segurança da navegação aérea e marítima, exigindo elevada capacidade de coordenação, rapidez de resposta e eficiência no emprego de recursos. A *International Civil Aviation Organization* [4], por meio do manual IAMSAR, estabelece diretrizes internacionais para a condução dessas operações. A eficácia das missões SAR está diretamente relacionada a fatores como tempo de resposta, cobertura geográfica e integração entre diferentes meios e agências envolvidas. Esses elementos são determinantes para aumentar a probabilidade de localização e resgate de vítimas, sendo considerados pilares essenciais para o sucesso das operações.

No caso da Força Aérea Brasileira, a complexidade das operações é ampliada pela dimensão territorial sob sua responsabilidade, o que exige soluções que conciliem eficiência operacional e sustentabilidade dos recursos empregados.

O avanço tecnológico tem impulsionado a incorporação de novas ferramentas nas operações de Busca e Salvamento, destacando-se o uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP), também conhecidas como veículos aéreos não tripulados (UAVs).

Estudos como os de Goodrich et al. [3] demonstram que UAVs equipados com sensores podem ampliar significativamente a capacidade de busca, oferecendo maior persistência em área e reduzindo os riscos às tripulações humanas. Esses sistemas são particularmente eficazes em cenários de difícil acesso ou que demandam longos períodos de observação.

De forma complementar, Erdelj et al. [2] destacam o papel dos UAVs em operações de emergência e gerenciamento de desastres, evidenciando sua capacidade de fornecer suporte em tempo real e melhorar a eficiência das missões. A utilização dessas tecnologias permite não apenas a redução de custos operacionais, mas também o aumento da flexibilidade e da adaptabilidade dos meios empregados.

Dessa forma, a integração de aeronaves remotamente pilotadas às operações SAR apresenta-se como uma alternativa promissora para ampliar a capacidade operacional, especialmente quando analisada sob a perspectiva da sustentabilidade.

III. METODOLOGIA

O estudo adota a Análise Multicritério de Decisão (MCDA) fundamentada no VFT, estruturando o problema decisório e avaliando alternativas para ampliação da

capacidade SAR da FAB. A aplicação do VFT permitiu a identificação de valores fundamentais e a construção de uma hierarquia de objetivos, servindo como base para a definição dos critérios de avaliação.

A. Valores Fundamentais Identificados

Com base na abordagem VFT, foram identificados os seguintes valores fundamentais: persistência operacional; pronto emprego; eficiência no emprego de recursos; segurança pessoal; flexibilidade; e sustentabilidade logística.

B. Objetivo Fundamental

Maximizar a capacidade de Busca e Salvamento da Força Aérea Brasileira, desdobrando-se em quatro objetivos fundamentais: maximizar a eficácia da resposta SAR; maximizar a sustentabilidade logística e financeira; maximizar a sustentabilidade do capital humano; e maximizar a sustentabilidade tecnológica.

C. Atributos e Funções de Valor

Para cada objetivo, foram definidos atributos naturais ou construídos: tempo de resposta, tempo em cena, probabilidade de detecção, custo do ciclo de vida, disponibilidade da frota, carga de trabalho, adaptabilidade e integração multidomínio. Foram adotadas funções de valor por classificação direta, bissecção, exponencial e linear por partes, conforme a natureza de cada atributo.

D. Determinação dos Pesos — Método Trade-off

A determinação das constantes de escala seguiu o método Trade-off. A partir de um cenário hipotético com todos os atributos em seus níveis menos preferidos, o decisor identificou qual critério, ao ser elevado isoladamente ao máximo, proporcionaria maior incremento de valor para a Instituição. A relevância relativa foi quantificada por pontos de indiferença, e os pesos foram normalizados de modo que sua soma totalizasse a unidade.

IV. RESULTADOS

A seguir, são descritas as funções de valor para cada objetivo fundamental no último nível da Hierarquia dos Objetivos Fundamentais (Fig. 1).

O tempo de permanência da aeronave na área de busca — denominado tempo em cena — foi avaliado com um atributo natural de classificação direta. A preferência do decisor é estritamente crescente: quanto mais tempo a aeronave opera no local sem necessidade de reabastecimento ou substituição, maior o valor gerado para a missão. A escala foi fixada entre 1 e 12 horas, com ponto de satisfação intermediário ($v = 0,50$) situado em 7 horas. O mapeamento dos quartis permitiu capturar com maior fidelidade a curvatura da função, resultando em: $v(1) = 0$, $v(3) = 0,25$, $v(7) = 0,50$, $v(9) = 0,75$ e $v(12) = 1$.

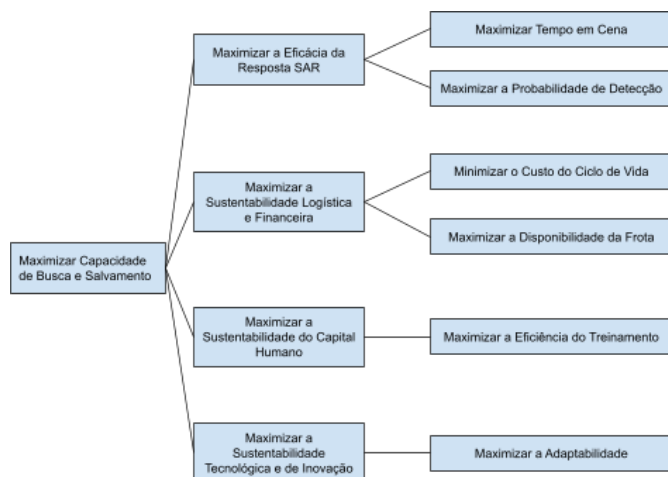


Fig. 1. Hierarquia dos Objetivos Fundamentais

Para a probabilidade de detecção, optou-se por um atributo natural construído pelo método da bisseção, quantificado pelo número de aeronaves ou vítimas localizadas durante a missão. A escala varia de 0 a 15 alvos detectados, com preferência estritamente crescente e ponto intermediário em 5 alvos ($v = 0,50$). Um aspecto relevante que emergiu da elicitação é o comportamento de retornos marginais decrescentes ao longo da escala: as primeiras detecções concentram o maior ganho de utilidade, o que reflete a criticidade das fases iniciais do salvamento — quando cada vítima encontrada tem impacto decisivo no desfecho da operação. Os valores resultantes foram: $v(0) = 0$, $v(3) = 0,25$, $v(5) = 0,50$, $v(10) = 0,75$ e $v(15) = 1$.

O custo do ciclo de vida é o único objetivo que utiliza um atributo com preferência estritamente decrescente: ao contrário dos demais, aqui o melhor desempenho corresponde ao menor valor. A escala cobre o intervalo entre \$14.000 (pior cenário) e \$3.000 (meta ideal de sustentabilidade), e a função de valor foi estruturada com forma exponencial para capturar o caráter não linear da economia de recursos. O ponto intermediário foi fixado em \$7.000 ($v = 0,50$). A convexidade da curva traduz uma percepção relevante do decisor: à medida que o custo se aproxima da meta, cada unidade monetária economizada passa a ter impacto crescente na utilidade percebida pelo comando — o esforço de redução é especialmente valorizado quando a Força já opera próximo à eficiência desejada. Os valores estabelecidos foram: $v(14000) = 0$, $v(10000) = 0,24$, $v(7000) = 0,50$, $v(5000) = 0,72$ e $v(3000) = 1$.

A disponibilidade da frota — definida pelo atributo de percentual de aeronaves em condições de engajamento imediato — foi avaliada por classificação direta, com preferência crescente e escala entre 20% e 70%. O ponto intermediário foi estabelecido em 50% ($v = 0,50$). A distribuição dos pontos ao longo da curva revela dois momentos de valorização diferenciada: o primeiro, na saída da faixa crítica de indisponibilidade (de 20% para 30%), já entrega ganho expressivo de utilidade para a Força; o segundo, a partir de 50%, reflete a importância de garantir folga operacional suficiente para o pronto-emprego das equipagens SAR. Ambos os limiares foram incorporados à função com

base na percepção do decisor sobre a criticidade do suporte logístico contínuo. Os valores resultantes foram: $v(20) = 0$, $v(30) = 0,25$, $v(50) = 0,50$, $v(60) = 0,75$ e $v(70) = 1$.

A eficiência do treinamento foi quantificada pelo percentual de tripulantes com habilitação específica para missões SAR, estruturado pelo método da bisseção. O intervalo coberto vai de 20% a 90%, com ponto intermediário posicionado no exigente patamar de 75% ($v = 0,50$). A curva resultante evidencia uma assimetria característica: nos níveis iniciais da escala, o ganho de utilidade é lento, pois alcançar a massa crítica de tripulantes aptos demanda investimento sustentado em capacitação. A partir de 75%, porém, a dinâmica se inverte — pequenos avanços na taxa de efetivo treinado passam a produzir saltos expressivos de valor. Esse comportamento reflete o alto impacto tático de operar com a quase totalidade da equipagem em condição pronto-operacional. Os valores modelados foram: $v(20) = 0$, $v(47,5) = 0,25$, $v(75) = 0,50$, $v(82,5) = 0,75$ e $v(90) = 1$.

Por ser um conceito de natureza mais subjetiva, a adaptabilidade foi modelada por um atributo construído, com função linear por partes, expressando a percepção de melhora na adequação dos meios empregados. A escala varia de -1 (percepção negativa de adequação) a 3 (adaptabilidade máxima), com preferência estritamente crescente. A elicitação de preferências revelou um aspecto importante na estrutura da curva: a transição do nível -1 para o nível 1 concentra um impacto de utilidade ($2x$) equivalente ao dobro dos incrementos subsequentes (x). Superar a percepção negativa inicial — atingindo um primeiro nível básico de adequação dos meios — é a etapa mais crítica do processo para a Instituição; a partir daí, as melhorias seguintes agregam valor de forma linear e constante. Os valores finais foram: $v(-1) = 0$, $v(0) = 0,25$, $v(1) = 0,50$, $v(2) = 0,75$ e $v(3) = 1$.

A determinação das constantes de escala (pesos) dos objetivos fundamentais foi conduzida por meio do método *Trade-off*. O procedimento iniciou-se com a estruturação de um cenário hipotético onde todos os atributos encontravam-se em seus níveis de desempenho menos preferidos. A partir dessa base, o decisor foi instigado a identificar qual critério, ao ser isoladamente elevado ao seu nível máximo, proporcionaria o incremento mais significativo de valor para a Instituição. Essa etapa permitiu estabelecer o ordenamento hierárquico de importância entre os atributos (ranking).

Posteriormente, quantificou-se a relevância relativa por meio da busca por pontos de indiferença. O decisor avaliou cenários de compensação entre o salto total no atributo de maior peso (custo) e saltos integrais nos demais critérios, resultando na atribuição de pontuações brutas. Esses valores foram normalizados de forma que o somatório das constantes de escala fosse equivalente à unidade (1).

A Tabela I reúne as constantes de escala normalizadas obtidas pelo método *Trade-off*, com seus respectivos pesos.

TABELA I. CONSTANTES DE ESCALA (PESOS) DOS OBJETIVOS[3]
FUNDAMENTAIS

<i>Objetivo Fundamental</i>	<i>Peso Normalizado</i>
Minimizar custo do ciclo de vida	0,291
Maximizar prob. de detecção	0,209
Maximizar disponib. da frota	0,177
Maximizar tempo em cena	0,145
Maximizar eficiên. treinamento	0,108
Maximizar adaptabilidade	0,070

[4]

[5]

M. A. Goodrich et al., “Supporting wilderness search and rescue using a camera-equipped mini UAV,” *Journal of Field Robotics*, vol. 25, no. 1-2, pp. 89–110, 2008.
International Civil Aviation Organization (ICAO), *International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual (IAMSAR)*. Montreal: ICAO, 2016.
R. L. Keeney, *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*. Cambridge: Harvard University Press, 1992.

Conforme evidenciado na Tabela I, o critério de maior relevância foi a minimização do custo do ciclo de vida ($\omega = 0,291$), seguido pela maximização da probabilidade de detecção ($\omega = 0,209$) e pela disponibilidade da frota ($\omega = 0,177$). Juntos, esses três objetivos respondem por mais de 65% do peso total do modelo, o que revela uma orientação estratégica clara: a sustentabilidade orçamentária não é tratada como restrição secundária, mas como condição estruturante da capacidade SAR no longo prazo. Vale notar que os demais critérios — tempo em cena, eficiência do treinamento e adaptabilidade —, embora com pesos menores, não são irrelevantes; sua contribuição cumulativa ($\omega = 0,323$) assegura que dimensões operacionais e humanas também sejam consideradas na avaliação de alternativas futuras.

V. OBSERVAÇÕES FINAIS

O presente trabalho não teve como proposta ranquear alternativas ou indicar qual vetor SAR é superior. O que se buscou foi algo anterior e, em certa medida, mais fundamental: deixar claro quais são os valores que a FAB precisa preservar quando tomar essa decisão, e de que forma esses valores se traduzem em objetivos concretos e mensuráveis. Esse tipo de estruturação costuma ser subestimado na prática institucional, mas é precisamente o que permite que decisões complexas sejam tomadas com mais consistência e menos arbitrariedade.

A distribuição dos pesos, por si só, já diz algo sobre a cultura operacional da instituição: priorizar custo não significa abrir mão de desempenho, mas reconhecer que sem sustentabilidade financeira não há prontidão durável. Essa leitura, capturada diretamente na elicitação de preferências com os decisores, dificilmente emergiria de uma análise puramente quantitativa — e é justamente aí que reside o principal ganho metodológico da abordagem VFT.

O passo seguinte, ainda por ser dado, é usar essa hierarquia para avaliar e comparar alternativas concretas — aeronaves tripuladas, ARP ou arranjos híbridos. Esse movimento completaria o ciclo da abordagem VFT e daria ao planejamento estratégico da capacidade SAR da FAB um suporte técnico mais sólido do que o usual em processos decisórios dessa natureza.

REFERÊNCIAS

- [1] V. Belton and T. J. Stewart, *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] M. Erdelj, E. Natalizio, K. R. Chowdhury, and I. F. Aiyer, “Help from the sky: Leveraging UAVs for disaster management,” *IEEE Pervasive Computing*, vol. 16, no. 1, pp. 24–32, 2017.