

Aplicação do Método ANP no contexto Militar

Leila Paula A. da S. Nascimento, Amanda C. S. da Silva e Carmen N. Belderrain

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vilas das Acácias – CEP 122228-900 - São José dos Campos - SP, Brasil

Resumo — O projeto F-X2 pretende definir a aquisição de novos caças de superioridade aérea para a Força aérea Brasileira (FAB). A proposta deste trabalho é apresentar uma aplicação militar do método *Analytic Network Process* (ANP), adaptando o caso do Projeto F-X2 com a utilização de dados fictícios. O ANP destaca-se por possuir características que proporcionam soluções realísticas. A literatura tem abordado seus aspectos teóricos e suas aplicações em estudos de casos reais e empíricos.

Palavras-chave — Apoio à decisão, ANP, Projeto F-X2.

I. INTRODUÇÃO

Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) auxiliam na avaliação de um conjunto de alternativas com relação a um dado conjunto de critérios. O AMD possui vários métodos efetivos para organizar um problema complexo em uma estrutura que permita ser analisada. Como, por exemplo, o método *Analytic Network Process* (ANP).

O ANP caracteriza-se pela decomposição de um problema de decisão em uma estrutura de rede, sem relações hierárquicas entre seus elementos. Na verdade, o ANP permite relações de dependência e *feedback* entre elementos. Pelo fato de que no mundo real geralmente há dependência entre critérios, o ANP propicia ao decisor uma representação mais realista do problema.

O objetivo deste trabalho é realizar uma aplicação do método ANP em um contexto de decisão militar, simulando a escolha do novo avião de caça de superioridade aérea da Força Aérea Brasileira (FAB). Este é o chamado Projeto F-X2, gerenciado pela FAB e pelo Ministério da Defesa, em sigilo. Os dados sobre o projeto que constam neste trabalho foram conseguidos através da publicação na mídia, por isso não representa em absoluto a completitude do processo.

O Projeto F-X2 é um problema complexo de decisão, que envolve alternativas e múltiplos critérios, e onde, a princípio, podem existir relações de dependência entre os mesmos. Portanto, um método que envolva critérios quantitativos e qualitativos e permita relações de dependência, é necessário para uma melhor modelagem do problema. O ANP cumpre tais requisitos.

Sendo assim, este trabalho está estruturado como segue: a seção II aborda o método ANP. A seção III mostra a aplicação do método para o problema abordado. A seção IV aborda as observações finais e, por fim, as referências utilizadas.

Leila Nascimento, leila@ita.br, Tel +55-12-39475907; Amanda Silva, amanda@ita.br, Tel +55-12-39475907; Mischel Carmen N. Belderrain, carmen@ita.br, Tel. +55-12-39475900.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

“Problemas de decisão podem ser difíceis de serem solucionados devido à complexidade, à incerteza inerente à situação, à presença de múltiplos objetivos e às diferentes perspectivas que podem levar a diferentes conclusões” [1].

Um problema de decisão é considerado multicritério quando possui, pelo menos, um contexto decisório, dois critérios conflitantes de avaliação, um conjunto finito de alternativas, uma escala de medidas, matrizes de decisão e um método de agregação de preferências.

Durante a evolução dos estudos relativos à tomada de decisão, vários métodos surgiram, com intuito de prover suporte aos participantes do processo decisório. Nas décadas de 60 e 70, que vieram à surgir primeiros métodos de AMD.

Os métodos de AMD destinam-se, acima de tudo, a esclarecer o processo decisório, de modo a auxiliar os decisores na avaliação e escolha das alternativas do problema em questão. Salienta-se que o objetivo dos métodos de AMD não é apresentar ao decisor uma solução ótima para o problema e sim auxiliá-lo levando em conta a preferência do decisor.

A seguir, será abordado o método ANP, cujos desempenhos das alternativas são encontrados por meio do procedimento de agregação de critério único de síntese.

A. *Analytic Network Process* (ANP)

Desenvolvido por Thomas L. Saaty em 1996, o *Analytic Network Process* (ANP) é um método discreto, pertencente à Escola Americana de AMD. Considerado uma generalização do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o ANP usa uma rede (ao invés de hierarquia) sem que haja a necessidade de especificar níveis, além de permitir relações de dependência entre elementos. O ANP supera a limitação da estrutura hierárquica linear e contraria o Axioma da Independência [2].

Segundo [3], o ANP “sintetiza o efeito da dependência e *feedback* dentro e entre conjuntos (*clusters*) de elementos”.

Na Fig. 1, observa-se que uma rede é uma estrutura não-linear que se expande em todas as direções. Possui *clusters* não organizados em uma ordem pré-definida e apresenta relações de influência (ou dependência) que são transmitidas dentro de um mesmo conjunto de elementos (dependência interna - *inner dependence*) e também entre conjuntos (dependência externa - *outer dependence*). As relações de dependência entre os elementos dos *clusters* C4-C2, C4-C3, C1-C4 e C1-C2 da Fig. 1 representam alguns exemplos de dependência externa. A relação de dependência entre os elementos dos *clusters* C2-C3 caracteriza um *feedback*. O *loop* no *cluster* C1 indica a dependência interna dos seus elementos [2].

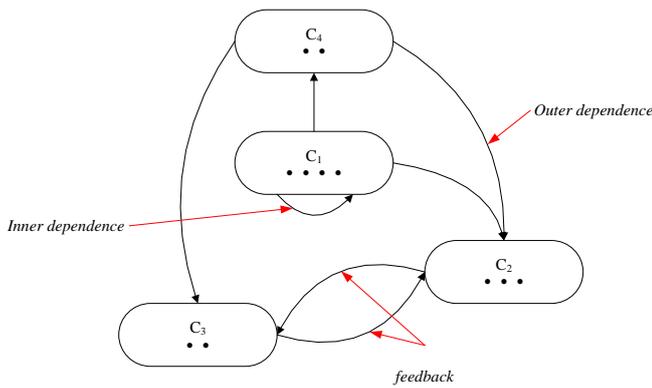


Fig. 1. Estrutura em Rede do ANP.

No que tange às relações de dependência externa entre os clusters em uma estrutura em rede, podemos classificá-los conforme ilustrado na Fig. 2, em: 1) componente fonte ou *source component*, o qual seus elementos exercem influência sobre quaisquer elementos de outro cluster, mas os mesmos não sofrem influência; 2) componente intermediário ou *intermediate component*, que sofre e exerce influência sobre elemento de outro cluster; e, 3) componente sorvedouro ou *sink component*, que apenas sofre influência dos elementos de outro cluster [2].

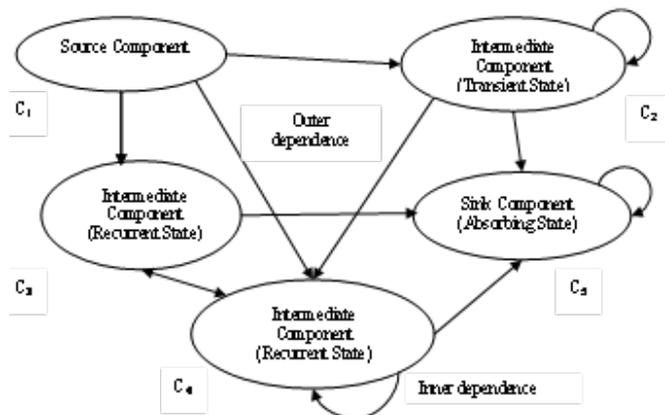


Fig. 2. Conexões em uma rede.

Visando facilitar o entendimento do ANP é apresentado um fluxograma do método na Fig. 3. O fluxograma sugerido identifica as seguintes etapas e os passos necessários para aplicação do ANP:

Etapa 1: Formulação do problema de decisão

- Passo 1 – Estruturação do problema;
- Passo 2 – Construção da rede.

Etapa 2: Julgamentos

- Passo 1 – Construção das matrizes de alcance global e local;
- Passo 2 – Comparações par a par dos elementos e clusters;
- Passo 3 – Verificação da consistência dos julgamentos;

- Passo 4 - Obtenção dos autovetores de prioridades e matriz de peso dos clusters.

Etapa 3: Desenvolvimento algébrico

- Passo 1 – Construção da Supermatriz sem Pesos;
- Passo 2 – Obtenção da Supermatriz Ponderada;
- Passo 3 – Verificação da estocasticidade da Supermatriz Ponderada;
- Passo 4 – Obtenção da Matriz Limite;
- Passo 5 – Resultado final.

Maiores detalhes do método ANP podem ser encontrados em [2].

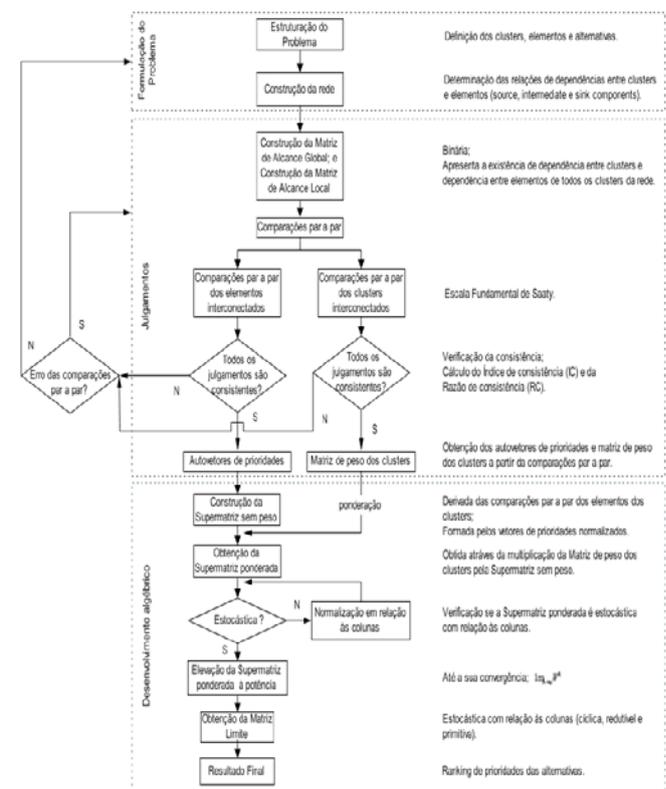


Fig. 3. Fluxograma para aplicação do método ANP (fonte: autoras).

A seguir, será descrita uma aplicação do método ANP em um problema de decisão militar.

III. UMA APLICAÇÃO DO ANP: O CASO DO PROJETO F-X2

Projeto de bilhões de reais, o F-X2 tem o objetivo de reequipar a Aviação de Caça da FAB por aviões supersônicos de 5ª geração. Irão substituir, inicialmente, os atuais caças Mirage 2000 e, posteriormente, os caças F-5.

É um projeto antigo da FAB, tendo iniciado em 1998, ainda no governo Fernando Henrique Cardoso. Por motivos afins, o então Projeto FX (ou Projeto Fênix) não foi concluído.

Reativado pelo atual presidente, o F-X2 vem sendo tratado com sigilo pela FAB e pelo Ministério da Defesa, por tratar sobre dados bélicos confidenciais dos países envolvidos.

Em 2007, foi aprovada pelo Comando da Aeronáutica, a reedição da portaria DCA 400-6, "Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica", que tem por finalidade "ordenar o planejamento e a execução das fases e principais eventos do Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica" [4].

A referida portaria rege todo o ciclo de vida de sistemas e materiais do Comando da Aeronáutica. Aborda desde a identificação de uma carência operacional ou logística, oportunidade tecnológica ou econômica, na fase de concepção, passando pelas fases de viabilidade, definição, desenvolvimento / aquisição, produção, implantação, utilização, revitalização, modernização ou melhoria até a desativação, quando se encerra o ciclo de vida [4]. Assim, a DCA 400-6 norteia o processo de aquisição de aeronaves de combate da FAB.

O processo de aquisição será o de escolha direta, ou seja, com dispensa de licitação. A exigência brasileira é o acordo de compensação (*offset*), descrito como "um dos focos do programa, de forma a capacitar o parque industrial nacional e também permitir um nível de participação efetiva em futuros avanços durante o ciclo de vida do equipamento escolhido" [5].

Seis fabricantes internacionais dos modelos de caças JAS-39A Gripen, SU-35 E, RAFALE-C, F-18 E/F, F-35 Lightning e Typhoon responderam ao "Pedido de Informação" (*Request for Information - RFI*) enviado pelo Brasil, primeiro contato formal com as empresas ou Governos interessados. "São analisadas as alternativas, avaliados os riscos, os prazos e a relação custo-benefício e, ainda, definida a estratégia de realização das diversas atividades que compõem o Ciclo de Vida dos Sistemas ou Materiais" [4]. Isto, com a finalidade de colher dados para a elaboração dos Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais (RTLI) e para preparação das Especificações Técnicas detalhadas, que constarão dos contratos de desenvolvimento ou aquisição.

Após análises das respostas do *RFI* por parte dos fabricantes, foi anunciada a seleção de três dos seis caças iniciais: RAFALE-C, F-18 E/F e JAS-39A Gripen. A estes, foi encaminhado o "Pedido de Oferta" (*Request for Proposal - RFP*), que tem como parâmetros os requisitos estabelecidos nos RTLI. É nesta fase que se encontra o Projeto F-X2 e, em breve, o Governo brasileiro anunciará a empresa escolhida.

A fim de exemplificar uma aplicação do método ANP, adotaram-se dados fictícios sobre o Projeto F-X2. O intuito deste trabalho é mostrar que o método ANP pode ser aplicado em problemas de decisão das mais diversas áreas, inclusive, militar.

A aplicação irá simular as duas fases (*RFI* e *RFP*) do processo de seleção, empregando o ANP em ambas. Inicialmente, o ANP será aplicado com as seis alternativas iniciais de aviões de combate selecionando três. Através de nova aplicação do ANP, será obtida a seleção final.

Em ambas as fases, o ANP foi reproduzido no *software* livre *SuperDecisions* [6], disponível na internet, considerando as etapas e passos contidos no fluxograma da Fig.3. A seguir, a descrição do exemplo ilustrativo do Projeto F-X2.

B. Exemplo Ilustrativo do Projeto F-X2

O problema é contextualizado da seguinte forma: "seleção de um fabricante de aviões supersônicos para reequipar a Aviação de Caça da FAB". Por se tratar de um exemplo

ilustrativo foram considerados somente os critérios que as autoras julgaram importantes.

As relações de dependência existentes, bem como as comparações par a par, também foram determinadas pelas autoras (decisoras, neste caso), que são leigas em assuntos militares. Embora, alguns militares sem envolvimento com o Projeto F-X2 foram entrevistados e sinalizaram alguns dados importantes, como elementos dos *clusters*, relações de dependências e comparações par a par.

Como explicado anteriormente, a seleção dos caças ocorreu em duas fases. Na Fase 1, chamada de pré-seleção, decorrente do *RFI*, utilizou-se critérios macros, ou seja, sem pormenorizá-los. E, na Fase 2, chamada de seleção final, decorrente do *RFP*, os critérios existentes na etapa anterior foram explorados mais profundamente, acarretando portanto, um detalhamento e uma minúcia maiores que na pré-seleção.

Fase 1: Pré-seleção – RFI

Etapa 1: Formulação do problema de decisão

- Passo 1 – Estruturação do problema: deve-se definir o objetivo, os *clusters*, os elementos e as alternativas. Neste exemplo, o objetivo é selecionar três aviões de caças. Consideram-se dois *clusters*: Aspectos Gerais e Alternativas, sendo cada um composto por seus respectivos elementos. O *cluster* Aspectos Gerais é formado pelos elementos: Compensação, Custos, Desempenho, Sistemas Embarcados (aviônicos e sensores), Logística e Armamentos. O *cluster* Alternativas é formado pelos elementos: JAS-39A Gripen, SU-35 E, RAFALE-C, F-18 E/F, F-35 Lightning e Typhoon.

- Passo 2 – Construção da rede: as relações de dependência e *feedback* entre os elementos dos *clusters* devem ser estabelecidas. A Fig. 4 apresenta a rede da Fase 1. Verifica-se a dependência interna (*inner dependence*) entre os elementos do *cluster* Aspectos Gerais. Além disso, os elementos deste influenciam os elementos do *cluster* Alternativas e vice-versa, caracterizando um *feedback*.

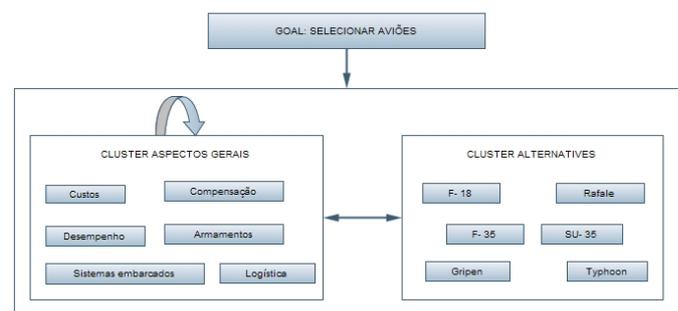


Fig. 4. Estrutura em rede para a Fase 1.

Etapa 2: Julgamentos

- Passo 1 – Construção das matrizes de alcance global e local: para melhor visualizar a existência das relações de dependências na rede, deve-se construir as matrizes de alcance global e local. A Tabela I ilustra a matriz de alcance global. Como os elementos do *cluster* Alternatives foram considerados independentes entre si, observa-se o valor zero na matriz de alcance global referente à interação entre os seus

elementos. As demais interações recebem valor 1, indicando que há dependência entre os elementos.

Tabela I MATRIZ DE ALCANCE GLOBAL PARA O EXEMPLO DE SELEÇÃO DE AVIÕES

Clusters	Alternativas	Aspectos gerais
Alternativas	0	1
Aspectos gerais	1	1

A Tabela II ilustra a matriz de alcance local que especifica a relação de dependência entre os elementos dos *clusters*. O valor 1 é atribuído sempre que houver dependência. Caso contrário, atribui-se o valor zero.

Tabela II MATRIZ DE ALCANCE LOCAL PARA O EXEMPLO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Elementos	F-18	F	G	R	SU	T	A	C	Ct	D	L	S
F-18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
F-35	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Gripen	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Rafale	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
SU-35	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Typhoon	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Armamentos (A)	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Compensação (C)	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
Custos (Ct)	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Desempenho (D)	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
Logística (L)	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
Sistemas embarcados (S)	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

Após a construção das matrizes binárias, procedem-se as comparações, par a par, necessárias para todas as conexões existentes na rede. Para tal utiliza-se a Escala Fundamental de Saaty.

- Passo 2 – Comparações par a par dos elementos e *clusters*: tais comparações visam a obter os autovetores destes elementos e o peso de cada *cluster*, respectivamente. As comparações a serem feitas são aquelas nas quais um elemento de um *cluster* possui relação de dependência com no mínimo dois elementos de outro *cluster*.

- Passos 3 e 4 – Verificação da consistência dos julgamentos e obtenção dos autovetores de prioridades e matriz de peso dos *clusters*: a verificação consiste em observar se os valores da Razão de Consistência (*Consistency Ratio* – CR) obtidos das matrizes de decisão estão dentro do limite máximo aceitável de 0,10. Neste trabalho, todas as matrizes de decisão são consistentes. Assim, os autovetores e os pesos dos *clusters* são registrados. Os autovetores registrados passam a ser denominados de vetores de prioridade relativa dos elementos julgados. Uma vez realizadas todas as comparações e verificadas as consistências dos julgamentos, inicia-se a próxima etapa.

Etapa 3: Desenvolvimento algébrico

- Passo 1 – Construção da Supermatriz sem Pesos: a partir da agregação dos autovetores obtidos nas comparações par a par entre os elementos na etapa anterior.

- Passo 2 e Passo 3 – Obtenção da Supermatriz Ponderada e Verificação da sua estocasticidade: origina-se

multiplicando a Matriz de peso dos *clusters* (matriz formada pelos autovetores de prioridades das comparações entre *clusters*) pela Supermatriz sem Pesos. A mesma deve ser estocástica com relação às colunas (soma dos elementos da coluna deve ser 1). Caso a Supermatriz Ponderada obtida não seja estocástica com relação às colunas, deve-se normalizá-la em relação às colunas tornando-a estocástica.

- Passo 4 – Obtenção da Matriz Limite: obtida elevando-se a Supermatriz Ponderada às potências até a sua convergência. A Matriz Limite também deverá ser estocástica com relação às colunas. Nela já é possível observar o resultado final.

- Passo 5 – Resultado final: obtém-se o resultado final com o *ranking* de prioridades das alternativas. Para este caso, os três aviões de caças que apresentam as maiores proporções do *ranking* (Fig. 5) são: RAFALE-C > F-18 E/F > JAS-39A Gripen. Seguidos por SU-35 E > Typhoon > F-35 Lightning. Com relação aos elementos do *cluster* Aspectos Gerais, os elementos que obtiveram maiores prioridades foram Custos e Compensação, com as prioridades de 0,26249 e 0,22276, respectivamente.

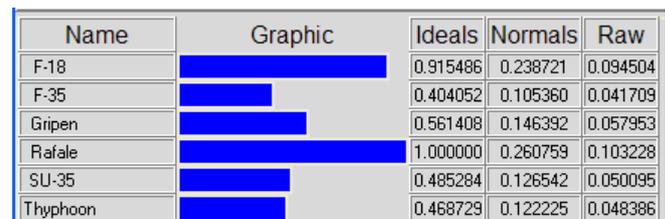


Fig. 5. Resultado final do ANP para a Fase 1.

Assim, inicia-se a Fase 2 com os três primeiros caças do *ranking* (Fig. 5) como alternativas do problema de decisão.

Fase 2: Seleção Final - RFP

Com o objetivo de aperfeiçoar o modelo e na tentativa de imitar a realidade, cada elemento do *cluster* Aspectos Gerais da fase anterior passam a ser considerados *clusters*. Os elementos são associados a cada um deles. Assim, formaram-se os seguintes *clusters* e elementos:

- *Cluster* Desempenho: capacidade de carga, desempenho em manobra, desempenho em subida, desempenho na decolagem, desempenho no pouso, raio de alcance, teto de operação e velocidade máxima;
- *Cluster* Compensação: comercial, industrial e tecnológica;
- *Cluster* Custos: custo de aquisição, custo de manutenção e custo de operação (hora de voo);
- *Cluster* Sistemas embarcados: auto-defesa, *data-link*, radar, HMD (*Helmet Mounted Display*) e REVO (Reabastecimento em Voo);
- *Cluster* Logística: equipamentos de manutenção e apoio, peças de reposição, publicações técnicas, suporte logístico contratado e treinamento de pessoal;
- *Cluster* Armamentos: bombas inteligentes, canhões e mísseis.

Salienta-se que a Fase 2 seguiu o mesmo procedimento apresentado no fluxograma na Fig. 3. Entretanto, não serão mostrados os passos e etapas aqui. A estrutura em rede da Fase 2 é mostrada na Fig. 6.

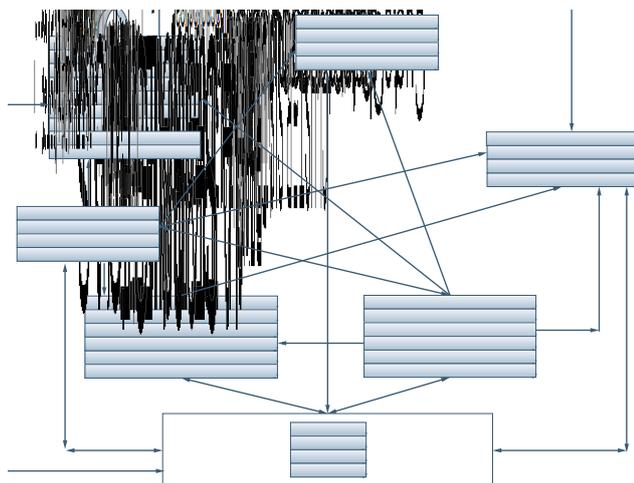


Fig. 6. Estrutura em rede para a Fase 2.

O resultado final desta fase e do exemplo ilustrativo está mostrado na Fig. 7, com o seguinte ranking de prioridades das alternativas: RAFALE-C > F-18 E/F > JAS-39A Gripen.

E, dentre os elementos, os que possuem maiores prioridades são: Tecnológica (do Cluster Compensação) com prioridade de 0,68296; e, Custo de aquisição (do Cluster Custos) com prioridade de 0,53766. Tal resultado confirma o obtido na Fase 1 e evidencia que compensação tecnológica e custo de aquisição são decisivos para a seleção de aviões de caças.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
F-18 E/F	<div style="width: 40%; background-color: blue;"></div>	0.419947	0.249300	0.086946
JAS-39A Gripen	<div style="width: 25%; background-color: blue;"></div>	0.264557	0.157053	0.054774
RAFALE-C	<div style="width: 100%; background-color: blue;"></div>	1.000000	0.593647	0.207039

Fig. 7. Resultado final do ANP.

Embora seja apenas um exemplo ilustrativo de uma aplicação do ANP, os resultados obtidos em ambas as fases foram satisfatórios e condizentes com o que é publicado na mídia.

IV. OBSERVAÇÕES FINAIS

Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) têm o objetivo de avaliar e fornecer um ranking final das alternativas em questão. Isto muitas vezes em um ambiente complexo de decisão, no qual fatores externos estão envolvidos, como por exemplo, múltiplos decisores, julgamentos conflitantes, critérios de custo, entre outros. Inúmeros são os métodos de apoio à decisão abordados na literatura. Neste trabalho foi utilizado o método *Analytic Network Process* (ANP).

O método ANP possui como características englobar critérios qualitativos e quantitativos, estruturados em rede, onde as relações de dependências e *feedback* entre os elementos são permitidas.

A proposta deste trabalho foi apresentar uma aplicação do ANP, adaptando o caso do Projeto F-X2. Este é um projeto da FAB de aquisição de novos aviões de caças de superioridade aérea para reequipar a frota brasileira.

Salienta-se que os dados contidos neste trabalho são de conhecimento público, publicado na mídia, já que o Projeto F-X2 segue em absoluto sigilo. Por isso, os critérios utilizados como *clusters* e elementos, bem como as

comparações par a par, foram atribuídos pelas autoras e não correspondem ao problema real.

Ainda assim, verificou-se que o método ANP pode ser empregado em problemas de decisão envolvendo assuntos militares. Esta mesma aplicação Projeto F-X2 poder-se-ia beneficiar do uso de *Ratings* e dos méritos BOCR (Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos).

Todavia, várias são as formas de se avaliar e selecionar alternativas de aviões de caças para o problema em questão. Assim, as partes envolvidas é que devem decidir e adaptar o melhor método ao problema de decisão de acordo com seus requisitos específicos.

REFERÊNCIAS

- [1] R. T. Clemen, and T. Reilly, *Making Hard Decisions*, 2nd ed., Califórnia: Duxbury, 2001.
- [2] T. L. Saaty, *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*, 1st ed., Pittsburgh: RWS Publications, 2005.
- [3] T. L. Saaty, "Fundamentals of the Analytic Network Process", *Proceedings of the ISAHP*, August 1999.
- [4] Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, *Logística*, DCA 400-6 "Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica", 2007.
- [5] O Estado de São Paulo, FAB dá Início a Processo para Definir Empresa que Venderá Caças ao País, 2 de julho de 2008.
- [6] SuperDecisions Software, versão 1.6.0: Creative Decisions Foundation, Pittsburgh, 2005. Disponível na internet (www.superdecisions.com).