

# OTIMIZAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DAS HORAS DE VÔO DO COMAER A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

**José Virgílio Guedes de Avellar (\*)**  
**Alexandre Olympio Dower Polezzi (\*\*)**  
**Armando Zeferino Milioni (\*)**

(\*) Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica - São José dos Campos, SP- CEP: 12228-900  
[avellar@ita.br](mailto:avellar@ita.br); [milioni@ita.br](mailto:milioni@ita.br)

(\*\*) Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Exatas- Departamento de Estatística- Belo Horizonte, MG –  
CEP: 31270-901  
[ale.ita@uol.com.br](mailto:ale.ita@uol.com.br)

## Resumo

Métodos sistemáticos fundamentados em estudos econométricos estão sendo utilizados no processo de tomada de decisão, especialmente quando são levados em conta fatores vitais, como sobrevivência da organização e segurança nacional. Dentro desse enfoque, o Comando da Aeronáutica (COMAER), por meio do Sistema Integrado de Supervisão e Gestão de Parâmetros Operacionais (SIGGPO), tem um particular interesse em controlar recursos e pessoal de maneira a alcançar a máxima operacionalidade da Força. Este trabalho tem como objetivo a utilização de ferramentas de Pesquisa Operacional, como Análise Hierárquica de Processos (AHP) e da Programação Linear (PL) na pesquisa e no desenvolvimento de um dos módulos do SIGGPO, cujo enfoque reside na otimização da distribuição de horas de vôo entre as Unidades Aéreas do COMAER.

**Palavras-chave:** AHP, Programação Linear, SIGGPO.

## Abstract

Systematic methods based on econometric studies are currently being used in decision processes, especially when vital aspects like organizational survivability and national security are taken into account. In such a context, the Comando da Aeronáutica (COMAER), while considering the Sistema Integrado de Supervisão e Gestão de Parâmetros Operacionais (SIGGPO), has a particular interest in improving its control of material and human resources as a way of bringing the Air Force's efficiency to an optimal state. Our objective in this work is to apply proven concepts in the fields of Operational Research such as the Analytical Hierarchical Process (AHP) and Linear Programming (LP), as a scientific support to the research and development of one of the SIGGPO's modules, which is focused on finding the optimized distribution of flight hours among the Air Units operating under the COMAER.

**Keywords:** AHP, Linear Programming, SIGGPO.

## 1. Introdução

Desde a Revolução Industrial, o mundo vem sofrendo profundas modificações no que tange ao tamanho e à complexidade das organizações. Um dos principais reflexos dessas mudanças pôde ser observado no crescimento da divisão do trabalho, acarretando uma maior segmentação das responsabilidades. Por muitos anos, os administradores consideraram a tomada de decisão como sendo uma arte pura, um talento adquirido durante um longo período

de tempo por meio da experiência, onde predominavam conceitos como a criatividade, a intuição e a capacidade de julgamento, em detrimento de métodos sistemáticos fundamentados em bases científicas. Entretanto, tais conceitos cada vez mais vêm se provando ineficazes frente à crescente complexidade nas tarefas envolvendo a alocação de recursos para atividades voltadas para o crescimento da organização como um todo, sendo esse tipo de problema um dos focos de estudo da Pesquisa Operacional (PO), uma nova porém já tradicional disciplina que congrega diversas das mais consagradas técnicas da modelagem matemática. [5]

Os modelos de PO são estruturados de forma lógica e amparados no ferramental matemático de reapresentação, objetivando claramente a determinação das melhores condições de funcionamento para os sistemas apresentados. Os principais modelos de PO são denominados de Programação Matemática e constituem uma das mais importantes variedades dos modelos quantitativos, sendo suas técnicas de grande aplicação na resolução de problemas de otimização. O sucesso de uma técnica de aplicação da Pesquisa Operacional pode ser medido pela ampla utilização de suas ferramentas nos processos de tomada de decisão. Desde sua proposição, na década de 40, a Programação Linear estabeleceu-se como uma das mais eficientes ferramentas na área da Pesquisa Operacional, haja vista sua flexibilidade na resolução de problemas reais e na facilidade de representação de situações rotineiras.

Atualmente, com o apoio de meios computacionais de crescente capacidade e disseminação, é possível, através da Programação Linear, proceder a análise de uma grande quantidade de variáveis na resolução de problemas de decisão complexos. [4]



Figura 1: Ramos de estudo da Pesquisa Operacional

Atento à evolução científica, o Comando da Aeronáutica (COMAER) tem procurado formas de controlar recursos e pessoal de maneira a alcançar a máxima operacionalidade da Força. Denominado Sistema Integrado de Supervisão e Gestão dos Parâmetros Operacionais, o SISGPO é um projeto coordenado e patrocinado pelo Estado-Maior da Aeronáutica (EMAER) que visa dotar o Comando da Aeronáutica de um instrumento analítico para o gerenciamento da atividade aérea no âmbito da Força Aérea Brasileira [2]. Um dos maiores objetivos do SISGPO é otimizar o processo decisório em resposta à seguinte pergunta: “Como a Força Aérea Brasileira poderá otimizar seus recursos e evitar a degradação de sua operacionalidade?”

A solução seria a proposta de desenvolvimento de um sistema de estimativa de custos baseado em ferramentas e técnicas modernas de levantamento de dados, análises estatísticas e probabilísticas diante dos HEs de planejamento a serem estudados. Sendo assim, o sistema proporcionará a redução dos níveis de incerteza e subjetividade no tratamento dos dados e no processo decisório envolvendo a atividade aérea [3].

Um dos módulos do SISGPO está relacionado com a otimização da distribuição das horas de vôo entre as Unidades Aéreas do COMAER. Para tal, torna-se necessária a utilização de métodos e ferramentas estatísticas capazes de auxiliar no cálculo da melhor distribuição desses recursos. Dentro deste enfoque, este trabalho tem como objetivo propor alternativas

para o estudo da distribuição de horas de vôo no Comando da Aeronáutica, de maneira a maximizar os benefícios para a Força e para o país. [1]

Na seção 2, são abordados os fundamentos matemáticos de uma modelagem AHP, assim como os algoritmos utilizados. Em seguida, a seção 3 apresenta os principais aspectos da modelagem do problema de distribuição de horas de vôo da FAB utilizando os algoritmos de AHP e de Programação Linear. Finalmente, na seção 4 é feita uma síntese dos principais pontos apresentados neste trabalho.

Face ao nível de sensibilidade do material em pauta, os dados utilizados neste trabalho são fictícios, porém dispostos de forma a preservar a consistência na apresentação da resolução do problema e dos algoritmos utilizados refletindo perfeitamente como seria a modelagem de um problema real desse gênero. Para maior detalhamento do trabalho, consultar [6].

## 2. Análise Hierárquica de Processos (AHP)

O método da Análise Hierárquica de Processos (AHP) consiste basicamente em se estruturar um problema em níveis, agrupando elementos de uma mesma característica em cada nível. É importante perceber que, conforme mudamos a modelagem do problema, algum elemento pode passar a pertencer a outro grupo; com a ressalva de que se as duas estruturas do problema estiverem corretas, chegaremos a respostas muito próximas.

Ao montarmos a hierarquia, colocamos nosso objetivo final no seu topo, e a cada nível abaixo colocamos elementos que influenciam diretamente o nível superior. Para cada nível da hierarquia, os elementos são comparados dois a dois com relação a cada um dos elementos de seu respectivo nível superior. Desta forma, através de um processo matemático de cálculo de autovalores e autovetores, poderemos medir a influência dos elementos do nível mais baixo em relação ao objetivo final. Normalmente, será no último nível onde podemos atuar de modo a alcançar os objetivos.

Para compararmos os elementos de forma paritária, Saaty propôs, baseado em estudos psicológicos, uma escala variando de 1 a 9, de forma a abranger todos os graus de relação entre os elementos. A tabela pode ser vista a seguir:

Tabela 1: Escala proposta por Saaty [7]

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Dois atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida; sua dominação de importância é demonstrado na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se deseja maior compromisso

Podemos utilizar um método prático para obtenção do maior autovalor e de seu respectivo autovetor normalizado. A possibilidade de aplicação deste método é uma consequência da característica específica da matriz formada pela AHP.

Neste raciocínio, a obtenção dos autovetores e autovalores é feita multiplicando-se os elementos das linhas e extraído-se a raiz enésima deste produto, chegando-se ao elemento do vetor coluna na posição da linha em questão. Temos então que:

$$v'_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}$$

Repetindo este processo para  $i$ , variando de 1 a  $n$ , e normalizando o resultado através da divisão de cada um de seus elementos pela soma dos elementos do vetor, iremos obter o vetor coluna  $v_i$ , que será o autovetor para máximo autovalor.

$$v_i = \frac{v'_i}{\sum_{j=1}^n v'_j}$$

Consistência das matrizes:

O método AHP permite que examinemos a matriz gerada com as comparações paritárias quanto à sua consistência. Este método é baseado no cálculo do desvio do autovalor máximo encontrado, em relação à ordem de grandeza da matriz em porcentagem. Isto ocorre porque no caso da consistência perfeita o autovalor máximo é o próprio  $n$ .

Para comparar a consistência das matrizes Saaty criou o I.R. (Índice Randômico) para matrizes de ordem 1 até 15 [7]. As mesmas foram preenchidas com valores de 1 até 9 aleatoriamente, fazemos o inverso do valor para os recíprocos. Para matrizes de ordem 2 até 11 foram calculadas 500 matrizes para cada  $n$ , já para matrizes de ordem de 12 a 15 foram obtidos com apenas 100 amostras para cada valor de  $n$ . A seguir é mostrada a tabela de Índice Randômico proposta por Saaty [7] :

Tabela 2: Escala de Índice Randômico proposta por Saaty

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I.R	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,42	1,42	1,52	1,48	1,56	1,57

Dividindo-se o I.C. (Índice de Consistência) pelo I.R. (Índice Randômico), obtemos a razão de consistência (R.C.) que deve ser menor do que 10%. Caso contrário, devemos reavaliar os julgamentos feitos.

Assim,

$$RC = \frac{IC}{IR} \leq 0,1$$

### 3. Aplicação da Programação Linear e AHP na Distribuição das Horas de Vôo nas Unidades Aéreas do COMAER

No caso de utilização de PL na distribuição de horas de vôo, por exemplo, nos Esquadrões de Caça da FAB, estabeleceremos uma Função Objetivo que maximize essa distribuição. Podemos tomar como exemplo a Função Objetivo [8]:

$$F.O. = \text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ij} X_j, \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m$$

Onde:  $X_j$  é o número de horas de vôo que serão alocadas para o Esquadrão  $j$  e  $w_{ij}$  é o multiplicador da distribuição para o Esquadrão  $j$  levando em conta a hipótese de emprego  $i$  ( $HE_i$ ).

Sujeita às seguintes restrições:

$\sum_{j=1}^m X_j \leq HV$   $j=1, \dots, m$ . Sendo HV é o número de horas de vôo disponíveis para aquele tipo de Aviação.

$X_j \geq NP_j \cdot H_j$   $j=1, \dots, m$ . Onde  $NP_j \cdot H_j$  é numero mínimo de horas de vôo que cada piloto ( $H_j$ ) tem que voar multiplicado pelo número de pilotos do Esquadrão  $j$  ( $NP_j$ ).

Outras restrições podem ser criadas a critério do decisor. A diferença desse modelo para um modelo normal de PL está na obtenção dos multiplicadores  $w_{ij}$ . Estes são pesos que serão atribuídos aos respectivos Esquadrões  $j$ , dependendo da hipótese de emprego  $i$  ( $HE_i$ ) envolvida.

A aplicação da metodologia AHP nesse caso levará em conta critérios como: a posição geográfica, o tipo de missão e o tipo de aeronave de cada Esquadrão, em relação à hipótese de emprego  $i$  analisada. Para simplificarmos esse exemplo, vamos tomar quatro Esquadrões dispostos em regiões distintas do território nacional. Dessa forma, na tabela e no mapa abaixo, temos a distribuição hipotética das HE nas quatro regiões do país e os Esquadrões, também distribuídos geograficamente.

Tabela 3: Estabelecimento das quatro HE envolvidas no problema:

HE 1	Região SUL – Provável conflito com algum país do cone sul
HE 2	Região OESTE – Reforço de fronteira devido a conflito em países vizinhos
HE 3	Região NORTE – Problema com o narcotráfico na fronteira com país vizinho
HE 4	COSTA BRASILEIRA – possível invasão do mar territorial brasileiro

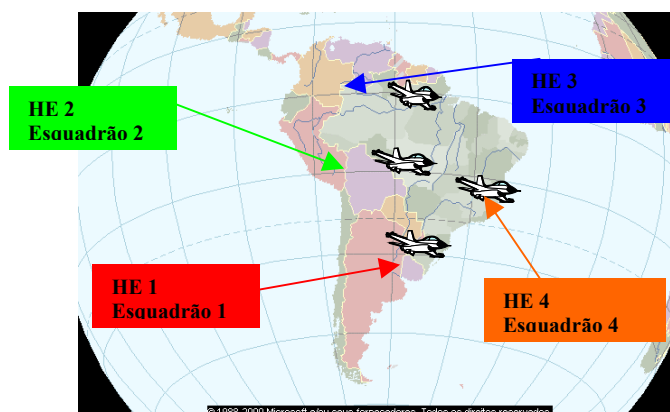


Figura 2: Localização de cada Esquadrão e de cada HE

Utilizando como exemplo as quatro HEs hipotéticas mostradas na tabela 3, temos que cada uma representa uma Função Objetivo (F.O.), e os vários pesos  $w_{ij}$ , representam a participação de cada Esquadrão  $j$  na hipótese de emprego  $i$  ( $HE_i$ ). Assim, para  $i = j = 4$ :

$$HE_1 : \text{Max } Z = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + w_{13}X_3 + w_{14}X_4 \text{ (Função Objetivo 1);}$$

$$HE_2 : \text{Max } Z = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + w_{23}X_3 + w_{24}X_4 \text{ (Função Objetivo 2);}$$

$$HE_3 : \text{Max } Z = w_{31}X_1 + w_{32}X_2 + w_{33}X_3 + w_{34}X_4 \text{ (Função Objetivo 3);}$$

$$HE_4 : \text{Max } Z = w_{41}X_1 + w_{42}X_2 + w_{43}X_3 + w_{44}X_4 \text{ (Função Objetivo 4)}$$

Aplicação da metodologia AHP:

O problema consiste em se decidir qual a influência da  $HE_i$  na distribuição das horas de vôo de cada Esquadrão  $j$ .

**Etapa 1:** Primeiro definimos o nível 1 na hierarquia, que é o objetivo a ser alcançado. Neste exemplo, o objetivo seria a “melhor distribuição de horas de vôo levando em conta a  $HE_1$ ”.

Como é uma escolha entre quatro possibilidades (Esquadrão 1, 2, 3 ou 4), os critérios localização, tipo de missão e tipo de aeronave são suficientes para definir a melhor opção. Como esses três fatores influenciam o objetivo diretamente e são influenciados diretamente pelas quatro escolhas (no nível inferior), teremos três níveis. O primeiro com o objetivo, um segundo com os fatores que afetam a decisão a ser tomada e o último com as possibilidades de escolha. Desenhando a hierarquia temos:

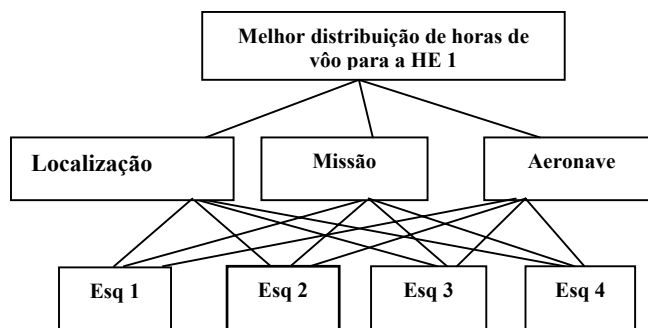


Figura 3: Hierarquia de níveis para a HE<sub>1</sub>

**Etapa 2:** Fazemos o julgamento paritário (2 a 2) de cada fator do segundo nível em relação à sua importância no objetivo. Montamos uma matriz onde a primeira coluna será o fator que está sendo comparado e em sua respectiva linha quantas vezes ele influi no objetivo em relação aos outros fatores representados na primeira linha. Podemos observar que a diagonal da matriz sempre será preenchida com 1. O procedimento é feito apenas para a matriz triangular superior, sendo que na matriz inferior basta inserir os valores inversos, ou seja  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ . Levando-se em conta que o fator localização tem importância maior quando comparado com tipo de missão ou tipo de aeronave, temos, por exemplo:

Objetivo	Localização	Tipo de Missão	Tipo de Aeronave
Localização	1	5	3
Tipo de Missão	1/5	1	1/3
Tipo de Aeronave	1/3	3	1

Baseando-se na tabela anterior calculamos o autovetor da primeira matriz pelo processo simplificado proposto da produtória dos elementos da linha.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

Obtemos  $v' = (2,466 \ 0,405 \ 1)^T$ . Normalizando, encontramos  $v = (0,637 \ 0,105 \ 0,258)^T$

Para um matriz de ordem 3, pela tabela 2, o índice randômico é de 0,58. Assim, teremos a razão da consistência de:

$$RC = \frac{I.C.}{I.R.} = \frac{0,0185}{0,58} = 0,0319$$

Como valor obtido está abaixo do limite proposto por Saaty, optamos por manter o julgamento feito.

**Etapa 3:** A mesma comparação paritária é feita para os elementos do nível 3, de forma a se observar em quanto cada uma das opções possuem maior quantidade relativa de cada um dos fatores (localização, tipo de missão e tipo de aeronave) do nível imediatamente superior (nível 2).

Quanto ao fator localização, levando-se em conta a  $HE_1$ , temos que o Esquadrão 1 é o mais bem localizado em relação aos demais. Assim:

Localização	Esquadrão 1	Esquadrão 2	Esquadrão 3	Esquadrão 4
Esquadrão 1	1	7	9	5
Esquadrão 2	1/7	1	3	1/3
Esquadrão 3	1/9	1/3	1	1/5
Esquadrão 4	1/5	3	5	1

Quanto ao tipo de missão, o Esquadrão 4 é o que melhor se adapta à situação envolvida no  $HE_1$ . Logo:

Tipo de missão	Esquadrão 1	Esquadrão 2	Esquadrão 3	Esquadrão 4
Esquadrão 1	1	2	3	1/3
Esquadrão 2	1/2	1	3	1/3
Esquadrão 3	1/3	1/3	1	1/5
Esquadrão 4	3	3	5	1

Quanto ao tipo de aeronave, temos:

Tipo de aeronave	Esquadrão 1	Esquadrão 2	Esquadrão 3	Esquadrão 4
Esquadrão 1	1	5	3	1
Esquadrão 2	1/5	1	1/3	1/5
Esquadrão 3	1/3	3	1	1/3
Esquadrão 4	1	5	3	1

São calculados novamente os autovalores e autovetores das novas matrizes A e a consistência das matrizes.

Referente à localização:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 9 & 5 \\ 1/7 & 1 & 3 & 1/3 \\ 1/9 & 1/3 & 1 & 1/5 \\ 1/5 & 3 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

Obtemos  $v' = (4,213 \ 0,615 \ 0,293 \ 1,316)^T$  e, normalizando  $v'$ , temos  $v = (0,654 \ 0,096 \ 0,046 \ 0,204)^T$  e  $RC = 0,074 < 0,1$

Referente ao tipo de missão:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 1/3 \\ 1/2 & 1 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/5 \\ 3 & 3 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

$v' = (1,189 \ 0,841 \ 0,386 \ 2,590)^T$ ,  $v = (0,238 \ 0,168 \ 0,077 \ 0,517)^T$  e  $RC = 0,038 < 0,1$

Referente ao tipo de aeronave:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 1/3 & 3 & 1 & 1/3 \\ 1 & 5 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

$$v' = (1,968 \ 0,340 \ 0,760 \ 1,968)^T, \quad v = (0,391 \ 0,068 \ 0,151 \ 0,391)^T \quad \text{e} \quad RC=0,012 < 0,1$$

**Etapa 4:** Finalmente, para calcularmos qual das duas opções tem maior peso no nosso objetivo faremos a multiplicação dos autovetores. Logo, para a HE<sub>1</sub> temos:

$$\begin{pmatrix} \text{Esquadrão} & 1 \\ \text{Esquadrão} & 2 \\ \text{Esquadrão} & 3 \\ \text{Esquadrão} & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,654 & 0,238 & 0,391 \\ 0,096 & 0,168 & 0,068 \\ 0,046 & 0,077 & 0,151 \\ 0,204 & 0,517 & 0,391 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,637 \\ 0,105 \\ 0,258 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,542 \\ 0,096 \\ 0,076 \\ 0,285 \end{pmatrix}$$

O mesmo raciocínio é feito para as HEs 2, 3 e 4, obtemos respectivamente:

$$\begin{pmatrix} W_{21} \\ W_{22} \\ W_{23} \\ W_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,087 \\ 0,583 \\ 0,184 \\ 0,146 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} W_{31} \\ W_{32} \\ W_{23} \\ W_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,204 \\ 0,186 \\ 0,403 \\ 0,207 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} W_{41} \\ W_{42} \\ W_{43} \\ W_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,145 \\ 0,129 \\ 0,161 \\ 0,565 \end{pmatrix}$$

Depois de obtidos os pesos  $w_{ij}$ , utilizamos a estrutura AHP para traçar o perfil do cenário atual do país. Este perfil representa a influência que cada HE tem na situação real do país. Baseados na Função Objetivo proposta, agora passamos a inserir os multiplicadores  $c_i$ , onde  $i$  é o número de Hes, que servirão de ponderadores de cada uma das F.O.. No exemplo,  $i = 4$ .

$$\text{F.O} = \text{MaxZ} = c_1(0,542X_1 + 0,096X_2 + 0,076X_3 + 0,285X_4) + c_2(0,087X_1 + 0,583X_2 + 0,184X_3 + 0,146X_4) + c_3(0,204X_1 + 0,186X_2 + 0,403X_3 + 0,207X_4) + c_4(0,145X_1 + 0,129X_2 + 0,161X_3 + 0,565X_4)$$

Nesse caso  $c_1+c_2+c_3+c_4=1$ , ou seja, se obtivermos  $c_1=0,4$ ;  $c_2=0,3$ ;  $c_3=0,2$  e  $c_4=0,1$ , a conclusão será de que o cenário atual do país reflete-se em 40% de chances de se configurar a HE<sub>1</sub>, 30% de chances de se configurar a HE<sub>2</sub>, 20% de chances de se configurar a HE<sub>3</sub> e 10% de chances de se configurar a HE<sub>4</sub>. Desta forma, a Função Objetivo Geral para distribuição das horas de vôo contaria com 40% da Função Objetivo 1, 30% da Função Objetivo 2, 20% da Função Objetivo 3 e 10% da Função Objetivo 4.

Para se calcular os coeficientes  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  e  $c_4$  devemos seguir o mesmo procedimento realizado no caso anterior (estabelecimento dos valores de  $w_{ij}$ ), adotando como fatores de decisão, por exemplo, os critérios econômico, militar, social e político, que estariam influenciando no cenário atual do país. Dessa forma, temos como resultado:

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,362 \\ 0,191 \\ 0,212 \\ 0,235 \end{pmatrix}$$

Logo, a função objetivo resultante do problema de distribuição das Horas de Vôo para os Esquadrões, levando-se em conta os HEs e as demais variáveis envolvidas é:

$$\text{F.O} = \text{MaxZ} = 0,362(0,542X_1 + 0,096X_2 + 0,076X_3 + 0,285X_4) + 0,191(0,087X_1 + 0,583X_2 + 0,184X_3 + 0,146X_4) + 0,212(0,204X_1 + 0,186X_2 + 0,403X_3 + 0,207X_4) + 0,235(0,145X_1 + 0,129X_2 + 0,161X_3 + 0,565X_4)$$



Simplificando a expressão temos que:

$$\text{F.O.} = \text{Max } Z = 0,290X_1 + 0,216X_2 + 0,186X_3 + 0,308X_4$$

Podemos estabelecer como restrições do problema que:  $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 10000$ , onde 10000 é o número hipotético de horas de vôo disponíveis para aquele tipo de Aviação. Assumimos também, hipoteticamente, que o Esquadrão 1 tem 25 pilotos, o Esquadrão 2 tem 15 pilotos, o Esquadrão 3 tem 30 pilotos e o Esquadrão 4 tem 20 pilotos. E, ainda, que número mínimo de horas de vôo para cada piloto voar naquele ano e em cada Esquadrão é de 75 horas, obtemos as seguintes restrições:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 10000$$

$X_1 \geq$  ao número mínimo de horas de vôo que cada piloto tem que voar vezes o número de pilotos. Da mesma forma,  $X_2, X_3, \dots, X_m$ . Assim,

$$\begin{aligned} X_1 &\geq NP_1 \cdot H_1 = 25 \cdot 75 = 1875 \\ X_2 &\geq NP_2 \cdot H_2 = 15 \cdot 75 = 1125 \\ X_3 &\geq NP_3 \cdot H_3 = 30 \cdot 75 = 2250 \\ X_4 &\geq NP_4 \cdot H_4 = 20 \cdot 75 = 1500 \end{aligned}$$

Como solução desse problema temos que:

$$\begin{aligned} X_1 &= 1875 \text{ horas de vôo;} \\ X_2 &= 1124 \text{ horas de vôo;} \\ X_3 &= 2250 \text{ horas de vôo;} \\ X_4 &= 4750 \text{ horas de vôo} \end{aligned}$$

#### 4. Conclusões

Neste trabalho, estudamos a utilização de algumas ferramentas de Pesquisa Operacional no intuito de distribuir as horas de vôo entre Unidades Aéreas do COMAER de forma otimizada, buscando a obtenção de parâmetros que viessem a refletir qual o cenário da Força Aérea Brasileira em um determinado momento e efetuar a distribuição dos recursos baseados nessa situação atual.

Os algoritmos e métodos descritos aqui podem ser utilizados para diversos tipos de Organizações e mostram-se fundamentais no processo de tomada de decisão. Cabe ressaltar o fator humano ainda é fundamental para a decisão final, já que computadores e algoritmos não são capazes de avaliar a situação sob outros aspectos que não os definidos previamente.

A sociedade brasileira cada vez mais percebe a importância da disciplina nos gastos públicos. Os recursos, cada vez mais escassos, precisam ser distribuídos de maneira que os resultados sejam maximizados. Os custos políticos, sociais e econômicos de decisões erradas são por demais onerosos à nação, principalmente em face da crescente velocidade com a qual decisões importantes precisam ser tomadas. Ao analisarmos sob a ótica militar ou de aviação, esse problema de distribuição de recursos é ainda mais sério, já que cada decisão envolve diretamente o destino de vidas humanas.

Nesse contexto, o Comando da Aeronáutica empreende um grande passo à frente com o projeto SISGPO, que visa a dotar o COMAER de ferramentas matemáticas e estatísticas para auxiliar no controle de seus recursos. Essas melhorias representam um aumento significativo na Segurança Nacional, não somente relacionada a um Estado de Guerra, mas também, no que se refere à vigilância de nossas fronteiras secas e litorâneas, tanto na diminuição do contrabando de armas e tráfico de drogas quanto na manutenção da soberania de nossa Nação e de seus recursos naturais. Já a economia de recursos permitirá que os mesmos possam ser revertidos para melhorar e modernizar ainda mais a Força Aérea Brasileira.

## 5. Referências Bibliográficas

- [1] AVELLAR, J.V.G; POLEZZI, A.O.D. - Utilização de “Data Envelopment Analysis” na Otimização da Utilização de Horas de Vôo nos Esquadrões da FAB. Artigo publicado na revista SPECTRUM, do Comando Geral do Ar, em maio de 2002.
- [2] COMANDO DA AERONÁUTICA – BRASIL – Sistema Integrado de Supervisão e Gestão dos Parâmetros Operacionais - Portaria 320/GC3, de 11 de abril de 2002.
- [3] COSTA, P.C.G.; LIMA, T.G.M.; ASSUMPÇÃO, AC.C. – Gerenciamento de Padrões Operacionais – Artigo publicado na revista SPECTRUM, do Comando Geral do Ar, em dezembro de 2000.
- [4] GOLDBERG, M. C.; LUNA, H. P. – Otimização Combinatória e Programação Linear – Editora Campos – 2000.
- [5] HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. – Introduction to Operations Research – McGraw Hill – 2001.
- [6] POLEZZI, A.O.D.; AVELLAR, J.V.G – Trabalho de Graduação: Otimização na distribuição de recursos no COMAER a partir da utilização de ferramentas estatísticas. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – 2002.
- [7] SAATY, T. L. - Método de Análise Hierárquica - Ed. Makron – 1991.
- [8] TAHA, H. A. – Operations Research: An introduction – Prentice Hall – 1992.