

Modelagem de Programa de Treinamento de Pilotos para Predição de Esforço Aéreo

Sergio Rebouças¹, Talita Alessandra da Silva¹ e Fernando Teixeira Mendes Abrahão²
¹Instituto de Aplicações Operacionais (IAOp), ²Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo - O dimensionamento de esforço aéreo demandado para o treinamento de pilotos de aeronaves é um problema vivenciado anualmente pelas empresas desse setor, tanto na área civil quanto militar. A mobilização de recursos humanos e materiais necessários para suportar diretamente a atividade aérea constitui o principal fator de impacto na gestão financeira. O planejamento, quando realizado de forma empírica, pode gerar erros significativos de demanda de esforço aéreo. Este artigo descreve um método para o planejamento e dimensionamento de esforço aéreo necessário para o treinamento de pilotos, na fase de formação básica. O método proposto consiste em simulação através de modelagem matemática e econométrica, envolvendo as ordens de instrução e as restrições operacionais existentes, no intuito de obter previsões precisas no dimensionamento de esforço aéreo. O modelo apresentou diferença de previsão de apenas 1,66% do esforço aéreo real, consumido no período de um ano.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Simulação, Econometria, Logística e Operações Aéreas.

I. INTRODUÇÃO

A previsão do esforço aéreo, que define o consumo total de horas de voo (do inglês *flight hour* – FH) de uma determinada frota de aeronaves, é um parâmetro crucial em uma abordagem de suporte logístico dentro de qualquer companhia ou instituição que gere operações aéreas (empresas aéreas, forças armadas, centros de treinamento de pilotagem ou escolas de aviação, dentre outras). Esta demanda impacta em decisões sobre dimensionamento da frota, de tripulação, nos serviços de manutenção, de apoio e outros elementos de suporte logístico integrado [1].

O conceito de suporte logístico integrado (SLI), surgiu como uma solução de suporte a fim de otimizar a suportabilidade, integrando todas as categorias de atividades relacionadas ao suporte, chamadas elementos SLI [2]. Dentre estas atividades, destaca-se a de Gerenciamento de Suporte ao Produto, por exemplo, que lida com o estabelecimento e gerenciamento do plano logístico, que envolve, dentre outros, o planejamento do orçamento e financiamento das atividades logísticas, incluindo sua execução e gerenciamento, definição ou atualização do Plano de Sustentação do Ciclo de Vida (LCSP), Diminuição de Fontes de Manufatura e Escassez de Materiais (DMSMS), Análise de Casos (BCA) e outros documentos exigidos pelo plano de suporte logístico. Para todas essas atividades é necessária uma estimativa precisa da demanda de esforço aéreo, sendo este o primeiro passo no conhecimento dos custos e capacidade de prever demanda de manutenção e suporte logístico [3]. A previsão deverá orientar todas as outras atividades sequenciais, como a implementação de políticas de logística, desenvolvimento de contratos e planejamento de

gerenciamento e de atividades manutenção, entre outros [4].

O custo do elemento manutenção, por exemplo, é um fator importante no gerenciamento de operações aéreas. Em 2016, a aviação gastou um total de USD 18,2 bilhões, com um custo de manutenção direta de USD 15,57 bilhões [5]. A Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) gastou USD 36 bilhões em operações e suporte (O&S) de sistema de armas no ano fiscal de 2006 [6].

Os métodos empíricos atualmente empregados para prever este consumo, em diversos setores da aviação, tanto civil quanto militar, especialmente nas escolas de formação de pilotos, trabalham geralmente com margem de até 10% de erro de previsão de esforço aéreo, gerando, conseqüentemente, excesso de despesas de suporte logístico da mesma ordem.

O presente trabalho propõe uma metodologia para modelar a demanda de esforço aéreo em centros de treinamento de voo, com base em um programa de treinamento de pilotos, a fim de fornecer uma previsão precisa do esforço aéreo, com vistas ao planejamento e economia de custos do suporte logístico.

A. Contribuição

Apesar da grande variedade de aplicações da modelagem matemática preditiva para simulação e previsão de demanda em operações aéreas, não foi encontrada na literatura nenhuma produção científica tratando especificamente sobre operações aéreas em centros de treinamento. Métodos de otimização, técnicas de simulação e modelos econométricos são frequentemente empregados no gerenciamento operacional e logístico de frotas de aeronaves.

Além disso, a maioria dessas aplicações estão associadas às operações das grandes empresas comerciais da aviação civil, adaptadas às suas especificidades, não sendo aplicáveis, portanto, às operações aéreas relativas à formação e treinamento de pilotos.

B. Estrutura do Artigo

Na Seção II são relembrados alguns conceitos teóricos que suportam a metodologia aplicada e revisados alguns avanços científicos relacionados ao problema em tela. A Seção III detalha o material utilizado como estudo de caso e descreve a metodologia aplicada. Os resultados são apresentados na Seção IV e discutidos na Seção V. As conclusões referentes ao presente trabalho estão comentadas na Seção VI, incluindo propostas de trabalhos futuros.

II. REVISÃO DE LITERATURA

A. Modelos de Previsão

A previsão de demanda de FH tem papel fundamental na indústria da aviação, sendo atividade crítica e

mandatória, servindo como base para decisões gerenciais e definições de políticas relacionadas ao planejamento logístico e de infraestrutura.

Os modelos de previsão dividem-se basicamente em dois métodos, os de extrapolação e os de previsão causal. Os métodos de extrapolação são usados para prever valores futuros a partir de valores passados de uma série temporal. Assim, dados passados sobre consumo de esforço aéreo (e nenhuma outra informação) são usados para gerar previsões de consumo em períodos futuros. Os métodos de previsão causal tentam prever valores futuros de uma variável (chamada de variável dependente) usando dados passados para estimar a relação entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes [7]. Estes modelos são objetos de estudo da econometria.

A econometria pode ser definida como a ciência social em que as ferramentas da teoria econômica, da matemática e da inferência estatística são aplicadas à fenômenos econômicos [8]. Os métodos da pesquisa econométrica visam, essencialmente, a conjugação da teoria econômica com medições concretas, usando a teoria e a técnica da inferência estatística como ponte [9] [10], baseado em dados que não podem ser gerados por experimentos controlados. Portanto, todo modelador que se deparar com análise de dados provenientes de observações, em oposição aos dados experimentais, estará aplicando conceitos e métodos econométricos ao seu estudo, devendo estar profundamente familiarizado com a natureza e a estrutura dos dados em questão [11].

Apesar da grande variedade de trabalhos científicos voltados para a busca da precisão na previsão de demanda de esforço aéreo, fica latente a exclusividade de estudos de caso relacionados ao transporte aéreo e às linhas aéreas comerciais de grande porte. Não foi encontrado nenhum trabalho relacionado ao contexto de esforço aéreo em centros de treinamento. Os trabalhos relacionados ao treinamento de pilotos estão mais voltados às ciências humanas. Estudos sobre história da evolução dos treinamentos diante de conjunturas econômicas e tecnológicas [12], investigação de fatores humanos associados ao treinamento, que afetam a segurança de voo [13] [14] e análises pedagógicas [15] [16] [17] são encontrados com certa facilidade.

Hofer et al [18] buscam explicar a previsão de demanda de passageiros em linhas aéreas através da análise das características sócio econômicas, focando na mobilidades social, em busca do incremento da precisão da previsão. Aplica um procedimento iterativo de mínimos quadrados de três estágios (3SLS). Boonekamp [19] realiza um estudo econométrico onde apresenta um modelo de gravidade compreensivo, usando a técnica de mínimos quadrados de dois estágios (2SLS), através da inclusão de dois fatores (relações étnicas e vínculos empregatícios) às variáveis do modelo padrão.

Cho [20] investiga o impacto da taxa de bagagens na escolha e consequente demanda de voos de empresas aéreas, através de inferências estatísticas e análise de regressão. Outro método encontrado, trata da análise de cointegração e uso do vetor de correção de erro como modelo econométrico para evitar o problema de regressão espúria para análise do impacto das variáveis endógenas

de índice NASDAQ, população e taxas aéreas na previsão de demanda de passageiros [21].

B. Simulação

A simulação é uma técnica científica de gerenciamento amplamente utilizada para a análise e o estudo de sistemas complexos onde as relações estocásticas não permitem uma adequada representação do problema do mundo real através de métodos exatos, como a PL.

Quando se fala de simulação, a modelagem é a principal ferramenta para o estudo do comportamento de um sistema complexo [22] [23], sendo uma atividade que envolve arte [24] e criatividade [25]. Existem, no entanto boas práticas da modelagem e simulação, através do sequenciamento de alguns passos, como a coleta de dados, codificação e verificação dos dados, validação do modelo, delineamento de experimentos, análise de resultados e implementação [26].

Dentre as aplicações de técnicas de simulação em operações aéreas, Abdelghany [27] propõe um modelo sequencial utilizando algoritmo genético (GA), modelos de simulação e de rastreamento de recursos para prever a demanda e otimizar a alocação dos meios aéreos de transporte diante de competição comercial. Gillen [28] analisa a infraestrutura aeroportuária necessária ao atendimento da demanda das operações aéreas, ressaltando a importância e crescimento de estudos na área de otimização, simulação e dos modelos de previsão no gerenciamento aeroportuário de suporte à atividade aérea.

C. Programa de treinamento de pilotos

A formação de pilotos de aviões é uma atividade complexa e exige uma profissionalização considerável, em termos de estrutura física e de recursos humanos altamente especializados. Essa formação deve ser conduzida através de um programa educacional misto, de maneira que propicie o desenvolvimento de competências específicas integradas envolvendo conhecimento, habilidade e atitudes, focando além da pilotagem em si, na prevenção de erros, na detecção antecipada destes e na minimização das consequências dos erros caso ainda ocorram [29], envolvendo o gerenciamento de recursos de tripulação (CRM – *Crew Resource Management*). O treinamento prático, conhecido como programa de treinamento de voo ou de pilotagem, consiste de uma série de exercícios, desde o pré-voo da aeronave, passando pela partida, taxi, decolagem, exercícios na área de treinamento, regresso, pouso e corte dos motores.

Existem diferentes tipos de programa de treinamento de voo, que habilitam o aluno a executar determinada atividade através da homologação desta competência adquirida, materializada através de uma licença. As mais conhecidas são as licenças de: a) Piloto esportivo, b) Piloto Privado (PP) e c) Piloto Comercial ou de Linha Aérea (PLA), entre outras.

Cada centro de pilotagem deve possuir seus próprios currículos, métodos e equipamentos, devendo ser certificados pelo respectivo governo ou autoridade aeronáutica [14] [30]. A *Federal Aviation Administration* (FAA) estabelece um mínimo de 35 a 40 horas de pilotagem para a qualificação de PP. No entanto, estima-

se que os alunos levam em torno de 60 horas de treinamento para atingir o nível de competência requerido para o PP [31]. A Academia da Força Aérea Americana (USAF) estabelece um programa de treinamento inicial, denominado *Introductory Flight Training* (IFT), com 50 horas de pilotagem, o que certifica ao aluno militar a qualificação de PP [12].

III. METODOLOGIA

A. Materiais

As horas de treinamento e um programa de treinamento são distribuídas ao longo de uma quantidade de instruções progressivas, designadas como missões, compostas de exercícios específicos definidos através de Ordens de Instrução (OI). Uma missão, ou OI, geralmente consome de 00:45 a 02:00 horas de voo, dependendo da complexidade e da quantidade de exercícios a serem treinados. Desta forma, um programa de treinamento pode ser constituído de n missões, somando em seu conjunto um total de x horas de voo.

Condições meteorológicas adversas, problemas de manutenção da aeronave, pane de seus componentes em voo, ou até mesmo problemas de instrução (do instrutor ou do aluno) e de tráfego aéreo podem implicar em cancelamento do voo, sendo necessário, na maioria das vezes, um tempo maior ou a repetição da missão. Estes fatores de incerteza aumentam consideravelmente o esforço aéreo total realmente consumido pelo programa como um todo.

Para efeito de validação do trabalho e estudo de caso, foram utilizados os dados relativos à instrução básica dos alunos de um centro de treinamento de pilotos do Brasil, no período de 2007 a 2009. Os dados de 2007 e 2008 foram utilizados para alimentar o modelo, enquanto os de 2009 foram utilizados para avaliar o resultado.

Utilizou-se as Ordens de Instrução (OI) do programa de formação para a modelagem matemática e os dados históricos de voos para elaboração do índice de correção estocástica. Cada OI representa uma missão a ser realizada. Das OI foram extraídas as informações de código da missão e tempo de voo previsto. O programa é constituído por 34 missões sequenciais, totalizando 46:30h de esforço aéreo por aluno, conforme detalhado na Tabela I.

TABELA I – INFORMAÇÕES UTILIZADAS DAS OI.

OI	Esforço Aéreo Previsto	OI	Esforço Aéreo Previsto
01	1:00	18	1:00
02	1:00	19	1:00
03	1:00	20	1:00
04	1:00	21	1:00
05	1:15	22	1:00
06	1:15	23	2:00
07	1:00	24	2:00
08	1:15	25	2:00
09	1:00	26	2:00
10	1:15	27	2:00
11	1:00	28	2:00
12	1:15	29	2:00
13	1:15	30	2:00
14	1:00	31	2:00
15	1:00	32	1:00
16	1:00	33	2:00
17	1:00	34	2:00

Dos dados históricos foram extraídas as informações da quantidade de alunos que iniciaram cada missão, de

forma a possibilitar a análise da taxa de atrito (independente do motivo) e o total de horas realmente consumidas por missão, de forma a possibilitar a análise do fator de correção no tempo de voo previsto na OI, por missão, para cada aluno.

B. Métodos

Conforme preconizado no processo de pesquisa operacional, inicialmente foi realizada a observação do programa de treinamento e de sua execução, ficando transparente a existência de características determinísticas ou exatas e probabilísticas ou estocásticas, definindo as duas abordagens a serem empregadas.

Na primeira etapa do método implementado, a abordagem determinística, foram identificadas as variáveis associadas às características do programa de treinamento isentas de incertezas, que impactam diretamente no esforço aéreo. Estas variáveis dizem respeito ao tempo de voo previsto para cada missão e a quantidade de alunos que iniciam o programa. Cada OI consome um tempo previsto e fixo de esforço aéreo, podendo variar de uma missão para outra. Para a quantidade de alunos, parte-se da premissa inicial que o programa é montado para que todos os alunos possam concluí-lo, ou seja, todos os alunos que iniciam o programa realizarão todas as missões previstas e concluirão o curso.

Neste caso, a demanda de esforço aéreo seria a somatória simples da variável x_k , que se refere ao tempo de voo x previsto para a OI de índice k , multiplicado pela variável a_k , que se refere à quantidade de alunos a que deverão realizar a OI de índice k , onde $a_k=0$ representa o número de vagas abertas para o programa, ou seja, o número inicial de alunos. Portanto, o modelo matemático que representaria o esforço aéreo total X_T a ser consumido para a execução do programa seria dado por:

$$X_T = \sum_{i=1}^k a_k x_k \quad (1)$$

No entanto, observou-se que a taxa de redução do número de alunos no decorrer do programa é bastante significativa, o que pode ser confirmado pela análise do gráfico de decaimento de pilotos ao longo do programa, na Fig. 1. O eixo vertical representa o número de alunos e o eixo horizontal indica a sequência de missões do programa, no período de 2007 a 2009.

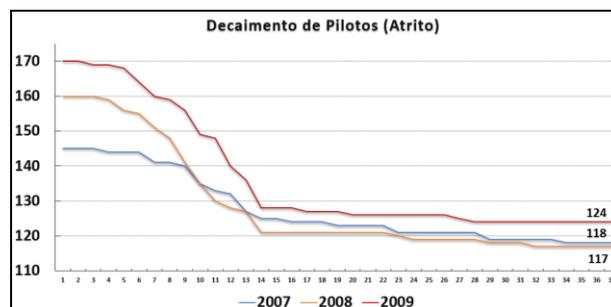


Fig. 1 - Quantidade de alunos que concluíram cada missão (dados reais).

Além disso, a quantidade imprevisível de repetição de missões, seja por interrupção da instrução por condições meteorológicas inadequadas, por falhas de componentes

ou sistemas das aeronaves ou por deficiência da própria instrução, causam uma variação aleatória no esforço aéreo realmente utilizado por piloto em cada missão. Esta variação, apresentada na Fig. 2 (dados reais), é, por definição, uma variável aleatória, de média zero e variância constante, sendo incluída ao modelo através de uma abordagem probabilística ou estocástica, à segunda etapa do método.

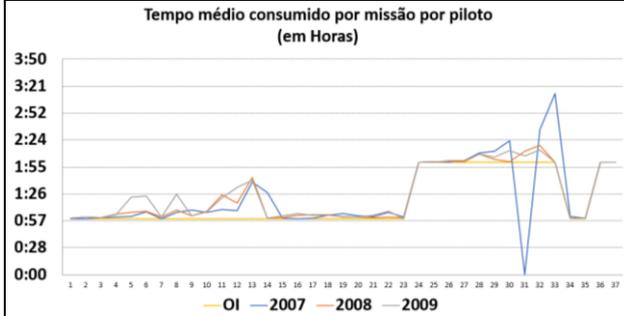


Fig. 2 - Média de esforço aéreo consumido por aluno por missão (dados reais).

Portanto, para o tratamento do decaimento de pilotos, estabeleceu-se o fator $P(a_{k*})$ referente ao índice de atrito que prevê a porcentagem dos a_{k-1} alunos que passarão para a missão seguinte, de índice k . Este fator é dado pelo valor médio de períodos passados, através de:

$$P(a_{k*}) = \frac{a_{k*}}{a_{(k-1)*}} \quad (2)$$

de forma que a quantidade prevista corrigida de alunos a que deverão iniciar a missão k é dada por:

$$a_k = a_{(k-1)*} \frac{a_{k*}}{a_{(k-1)*}} \quad (3)$$

Quando $P(a_{k*})$ for desconhecido, consideramos $P(a_{k*}) = 1$, ou seja, não há decaimento. Estabeleceu-se, ainda, a variável x_{kp} , que se refere à quantidade de esforço aéreo x previsto para a missão de índice k e a variável X_{kt} que se refere à quantidade de esforço aéreo real total consumido para a k ésima missão, incluindo horas extras e de missões abortadas e deficientes. O fator P_{xk*} é um índice de correção do esforço aéreo e representa a porcentagem de acréscimo de hora na k ésima missão, dado por:

$$P(x_{k*}) = \frac{X_{kt*} - X_{kp*}}{a_{k*}} \quad (4)$$

de forma que o esforço aéreo total x_k previsto e corrigido pelo modelo para cada missão k é dado por:

$$x_k = x_{kp} + P(x_{k*}) \quad (5)$$

Na terceira etapa, foi feita a modelagem matemática, integrando a abordagem determinística e probabilística. O modelo probabilístico foi inserido como fator de correção do modelo determinístico, através da inserção de (3) e (5) em (1) gerando o modelo final, dado por:

$$X_T = \sum_{i=1}^k (a_{k-1} \frac{a_{k*}}{a_{(k-1)*}}) (x_{kp} + \frac{X_{kt*} - X_{kp*}}{a_{k*}}) \quad (6)$$

IV. RESULTADOS

O modelo é alimentado automaticamente pelo sistema de controle de esforço aéreo já existente, ou seja, todo o processo de levantamento de dados, tabulação, análises e cálculos é transparente ao tomador de decisão e são realizados de forma automática pelo algoritmo.

O tempo de processamento do algoritmo foi inferior a 1 segundo, a partir do momento da inserção do único dado de entrada necessário e demandado pelo modelo, ou seja, da quantidade de alunos que iniciariam o curso.

O processo de planejamento de previsão de esforço aéreo, com o uso do modelo proposto, consumiu 0,1 H/H (um militar trabalhando por 6 minutos) de força de trabalho. Este período refere-se ao tempo de inicialização da máquina, do *software*, da inserção dos dados de entrada e apresentação dos resultados e gráficos.

Um dos resultados encontrados foi o gráfico relativo à quantidade de alunos que iniciaram cada missão, conforme observado no gráfico da Fig. 1.

Os dados de esforço aéreo, ou seja, o que realmente foi consumido, em média, por aluno, para cada missão, pode ser observado no gráfico da Fig. 2.

A linha amarela representa o esforço aéreo previsto em cada OI e as demais representam a média do esforço aéreo consumido, levando-se em consideração todas as abortivas e missões extras (por OI), associadas à quantidade total de alunos que iniciaram determinada missão.

O consumo de 0:00h em 2007, para a missão 31, ocorreu em virtude de a missão ter sido excluída do programa, naquele ano.

O modelo matemático proposto, detalhado na Seção III, apresentou como resultado a previsão de demanda de 7.332:17h de esforço aéreo, para a formação dos 170 alunos que iniciariam o curso em 2009. Como informação secundária, previu que dos 170 alunos, 128 concluiriam o programa de formação.

O erro de previsão, em relação ao que consumo real em 2009, foi de apenas 119:47h a mais, ante às 7.212:30 consumidas, e de 4 alunos a mais, ante aos 124 que realmente concluíram o programa. Os resultados podem ser observados no gráfico da Fig. 3, onde os dados estimados (F) estão representados por linha verdes e os reais por linha vermelhas, pontilhadas para horas de voo e tracejadas para quantidade de alunos.

Estes números representam um erro percentual de 1,66% e 3,23% em termos de esforço aéreo e quantidade de alunos ao final do curso, respectivamente.

No gráfico da Fig. 4 é possível comparar o resultado da previsão (F2009) com o consumo real (2009) de esforço aéreo em nível menor de granularidade, ou seja, o esforço aéreo total para cada missão ou OI. O eixo vertical representa o somatório de horas consumidas para todos os alunos que realizaram cada missão, incluindo extras e repetições.

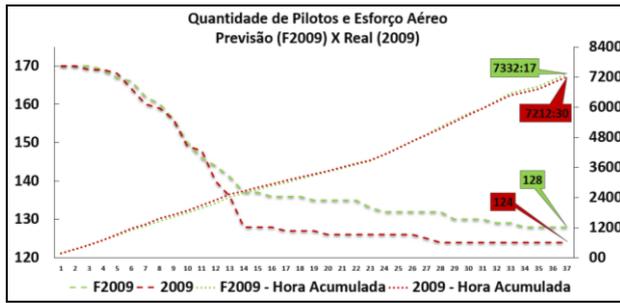


Fig. 3 - Comparação entre a previsão e o evento real considerado.

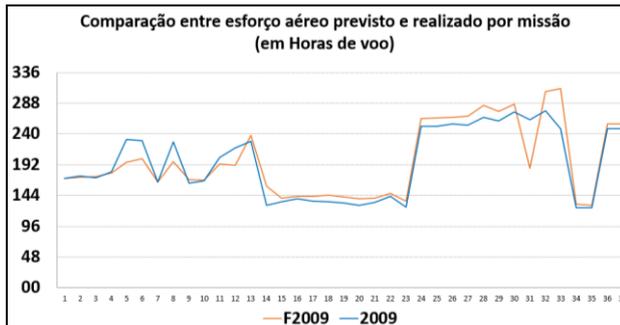


Fig. 4 - Comparação detalhada (por missão) entre esforço aéreo previsto e real.

V. DISCUSSÃO

O método de previsão de dimensionamento de esforço aéreo no contexto de operações aéreas de treinamento consiste em um modelo matemático representativo do programa de formação ou treinamento de pilotos. A previsão do número de alunos formados em um dado ano é baseada em valores médios de anos anteriores para cada ordem de instrução realizada. As estatísticas consideradas incluem porcentagem de alunos aprovados e porcentagem de acréscimo nas horas de voo para cada ordem de instrução.

Do resultado obtido, observa-se que o erro é consideravelmente inferior ao planejamento empírico tradicional, bem como o gasto de H/H na execução da atividade de planejamento.

O modelo apresentado foi fundamentado e devidamente validado, dada a metodologia utilizada e a precisão do resultado, em comparação com o esforço real. É recomendável, no entanto, a replicação do modelo para outros períodos, de maneira a confirmar e homologar a eficiência da previsão, garantindo maior confiabilidade ao modelo e segurança ao tomador de decisão.

A experiência dos recursos humanos envolvidos na atividade aérea de instrução é insubstituível no processo decisório. No entanto, o modelo proposto deve ser utilizado como suporte e material de análise e discussões, de forma a fundamentar cientificamente a decisão tomada.

O maior consumo de força de trabalho no processo de planejamento atual está justamente nas etapas abordadas pelo método proposto, ou seja, levantamento dos dados, tabulação, cálculos e análises quantitativas. Portanto, com a redução significativa de H/H nessas etapas, pode-se

alocar o H/H excedente para as análises qualitativas (doutrinárias, políticas ou estratégicas) do planejamento.

Cita-se como exemplo, neste contexto, a análise do impacto da exclusão ou inclusão de missões do programa de instrução. Apesar de estar fora do escopo deste trabalho e sem entrar no mérito do fator motivador, a exclusão da missão de número 31 do programa, em 2007, foi identificada como ponto de necessidade de análise qualitativa mais profunda por parte dos especialistas em instrução. Aparentemente, tal alteração não implicou em impacto significativo no esforço aéreo total do programa, pois houve o incremento substancial do esforço aéreo das duas missões subsequentes.

Ainda em relação ao resultado da previsão de decaimento de alunos no decorrer do programa, ressalta-se que, apesar de secundário, tem impacto significativo no planejamento logístico e de suporte à operação. O efetivo de instrutores, bem como a infraestrutura de apoio aos tripulantes (instalações, material de consumo, recursos de TI *etc*) podem ser melhor dimensionadas e alocadas no decorrer do período de treinamento, já prevendo a redução progressiva significativa de efetivo.

Análises qualitativas relativas ao dimensionamento do quadro de tripulantes, distribuição interna de esforço aéreo e de tripulantes entre esquadrões, capacitação *etc*, são exemplos de outras análises que podem ser melhor fundamentadas com o uso do modelo proposto.

Finalizando a análise dos resultados do presente trabalho, pode-se deduzir que, para o contexto de programas de treinamento de pilotos, o uso de dois ciclos temporais (dois anos) forneceu material suficiente para a modelagem, dentro das abordagens utilizadas, para gerar um modelo de previsão de esforço aéreo com grau de precisão superior a 98%.

VI. CONCLUSÃO

A complexidade e o elevado custo da atividade aérea exigem cada vez mais a antecipação e correto planejamento e dimensionamento de esforço aéreo. O excesso de erro nesse planejamento, tanto para mais quanto para menos, geram impactos operacionais e logísticos significativos.

O planejamento, quando realizado de forma empírica, dificulta a transparência e entendimento pleno dos fatores considerados durante a análise, além de consumir elevado valor de H/H.

Foi proposto um modelo matemático representativo de um programa de treinamento de pilotos para fornecer embasamento científico, agilidade e segurança ao tomador de decisão, dentro do contexto de planejamento de demanda de esforço aéreo para o programa de instrução aérea básica para pilotos de aeronaves.

O modelo foi validado e apresentou erro de 1,66% (119:47h de 7.212:30h) na previsão de esforço aéreo para formação de 170 alunos no ano de 2009, quando comparado ao consumo real. O tempo de processamento foi inferior a 1 segundo, consumindo apenas 0,1 homem/hora para a atividade de planejamento de demanda de esforço aéreo para o período de um ano.

Apesar de estar fora do foco inicial do trabalho, apresentou-se como resultado secundário a previsão de decaimento e da quantidade de concludentes com erro de

3,23% (4 de 124 alunos). O espaço amostral gerado no período de dois anos de operações aéreas forneceu material suficiente para gerar um modelo de previsão de esforço aéreo com grau de precisão superior a 98%.

O trabalho apresentado foi restrito ao programa de formação de alunos. Portanto, para trabalhos futuros, pode-se expandir o modelo para incluir as demais atividades do centro de treinamento, como formação de instrutores de voo, manutenção operacional, missões administrativas e etc.

Pode-se buscar, ainda, a adaptação do modelo aos esquadrões operacionais da FAB, que, apesar de não haver a complexidade probabilística referente ao decaimento de pilotos, possui uma maior complexidade na quantidade de programas de treinamento e seus relacionamentos.

REFERÊNCIAS

- [1] B. S. Blanchard and J. E. Blyler, *System Engineering Management*, 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [2] "International guide for the use of the S-Series Integrated Logistic Support (ILS) specifications." *AeroSpace and Defence Industries Association of Europe; Aerospace Industries Association*, Bruxelas, Bélgica, p. 174, 2016.
- [3] D. Schulte, "Estimating Maintenance Reserves," Boeing Aero, Seattle, WA, pp. 4–11, 2013.
- [4] D. J. Berteau, "Product Support Manager Guidebook," no. April. DoD, USA, p. 143, 2016.
- [5] IATA, "Airline maintenance cost executive commentary," Jan. 2017.
- [6] M. Boito, C. R. Cook, and J. C. Graser, *Contractor Logistics Support in the U.S. Air Force*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2009.
- [7] W. L. Winston, *Operations Research: Applications and Algorithms*, 4th ed. Toronto: Brooks/Cole, 2004.
- [8] A. S. Goldeberger and M. D. Godfrey, "Econometric theory," *Nav. Res. Logist. Q.*, vol. 11, no. 2, pp. 230–231, Jun. 1964.
- [9] T. Haavelmo, "The Probability Approach in Econometrics," *Econometrica*, vol. 12, p. 115, Jul. 1944.
- [10] D. N. Gujarati and D. C. Porter, *Econometria básica*, 5th ed. Porto Alegre: McGraw hill, 2011.
- [11] A. Spanos, *Probability Theory and Statistical Inference*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [12] C. Shane Moran, "A Brief History of the Cadet Airmanship Programs." p. 16, 2005.
- [13] L. Kang-Seok, S. Eun-Suk, and S. Young, "Impact of human factors for student pilots in approved flight training organizations in Korea," *Aviat. / Aeronaut. / Aerosp. Int. Res. Conf.*, Jan. 2014.
- [14] S.-J. Hong, K.-S. Lee, E.-S. Seol, and S. Young, "Safety perceptions of training pilots based on training institution and experience," *J. Air Transp. Manag.*, vol. 55, pp. 213–221, Aug. 2016.
- [15] T. Brady, A. Stolzer, B. Muller, D. Schaum, and T. Brady, "A Comparison of the Learning Styles of Aviation and Non-Aviation College Students," *J. Aviat. Educ. Res.*, vol. 11, no. 111, 2001.
- [16] Y. Gao, K. Tai, S. Au, H. J. Kwon, and E. W. Leong, "Learning Styles of Australian Aviation Students: An Assessment of the Impact of Culture."
- [17] A. Plioutsias and N. Karanikas, "Using STPA in the Evaluation of Fighter Pilots Training Programs," *Procedia Eng.*, vol. 128, no. 128, pp. 25–34, 2015.
- [18] C. Hofer, R. Kali, and F. Mendez, "Socio-economic mobility and air passenger demand in the U.S.," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 112, pp. 85–94, Jun. 2018.
- [19] T. Boonekamp, J. Zuidberg, and G. Burghouwt, "Determinants of air travel demand: The role of low-cost carriers, ethnic links and aviation-dependent employment," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 112, pp. 18–28, Jun. 2018.
- [20] W. Cho and M. E. Dresner, "The impact of a baggage fee waiver on airline choice: Evidence from the Washington-Baltimore region," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 112, Pergamon, pp. 4–17, 01-Jun-2018.
- [21] J. Chi and J. Baek, "A dynamic demand analysis of the United States air-passenger service," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 48, no. 4, pp. 755–761, Jul. 2012.
- [22] H. A. Simon, "Prediction and Prescription in Systems Modeling," *Oper. Res.*, vol. 38, no. 1, pp. 7–14, Feb. 1990.
- [23] A. A. B. Pritsker, "Principles of Simulation Modeling," in *Handbook of Simulation*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1998, pp. 31–51.
- [24] W. T. Morris, "On the Art of Modeling," *Manage. Sci.*, vol. 13, no. 12, p. B-707-B-717, Aug. 1967.
- [25] J. R. Evans, *Creative Thinking in the Decision and Management Sciences*. College Division, South-Western Pub. Co, 1991.
- [26] C. Alexopoulos and A. F. Seila, "Output Data Analysis," in *Handbook of Simulation*, no. June, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1998, pp. 225–272.
- [27] A. Abdelghany, K. Abdelghany, and F. Azadian, "Airline flight schedule planning under competition," *Comput. Oper. Res.*, vol. 87, pp. 20–39, Nov. 2017.
- [28] D. Gillen, A. Jacquillat, and A. R. Odoni, "Airport demand management: The operations research and economics perspectives and potential synergies," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 94, pp. 495–513, Dec. 2016.
- [29] E. Salas, C. S. Burke, C. A. Bowers, and K. A. Wilson, "Team Training in the Skies: Does Crew Resource Management (CRM) Training Work?," *J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 43, no. 4, pp. 641–674, Dec. 2001.
- [30] Air Safety Institute, "Accidents During Flight Instruction: A Review," 2014.
- [31] "How Much Does Flight School Cost... Really?," 2018. [Online]. Available: <http://www.aviationschoolsonline.com/faqs/article-how-much-does-flight-training-cost.php>. [Accessed: 20-Apr-2018].