

A LÓGICA FUZZY E A EFICÁCIA EM UMA EMPRESA AÉREA- O USO DE UMA NOVA FERRAMENTA

RESUMO

O propósito deste trabalho é um estudo sobre os dados de vôo de uma aeronave, durante a fase final para o pouso, e na implantação desses dados, com a finalidade de determinar a eficácia de uma empresa aérea. Foram analisados arquivos contendo dados de vôo de um tipo de aeronave. Inicialmente, se usou a regressão linear determinando o perfil de vôo da empresa. As variáveis escolhidas foram analisadas que definiram as regras com os dados dos registradores de vôo. Com o uso combinado da lógica Fuzzy pôde-se chegar ao cálculo da eficácia da empresa aérea.

Palavras-Chaves: Lógica Fuzzy, Eficácia, Empresa Aérea.

1 INTRODUÇÃO

Os tempos modernos trouxeram à tona algumas peculiaridades, até então exclusivas dos envolvidos em um acidente aeronáutico. Perguntas, tais como: Quem vai indenizar a aeronave acidentada? Quem vai investigar o acidente? Quem vai indenizar os familiares das vítimas, entre outras. As empresas aéreas acordaram então, para a prevenção dos acidentes aeronáuticos. Os custos dos acidentes aeronáuticos, mesmo amortizado pelas empresas seguradoras, não trazem vantagem para a empresa aérea. Uma ferramenta importante na investigação do acidente é a leitura dos gravadores de vôo. Conhecido como “caixa preta”, possui informações gravadas de um vôo de uma aeronave, por um período determinado, aproximadamente 25 horas. Os gravadores de vôo possuem informações de voz oriundas da cabine de comando e as trocadas entre os tripulantes, quando fazem uso de microfones. Tais informações auxiliam na busca de saber o que poderia estar ocorrendo com a aeronave e com os tripulantes. Os gravadores de vôo possuem um grande número de informações e continuam sendo utilizados em certas categorias de aeronaves.

Atualmente, os diversos e sofisticados sistemas eletrônicos instalados em modernas aeronaves comerciais possuem dados, que lidos e copiados em discos ópticos permitem a sua análise de uma forma rápida. A implementação do programa trouxe consideráveis resultados, indicando uma redução nos índices de acidentes nos EUA. Em dezembro de 2004 o Departamento de Aviação Civil do Brasil (DAC), emitiu uma instrução normativa, determinando a implantação de um programa de monitoramento nas empresas aéreas de dados até o mês de janeiro de 2006.

A implementação desse programa irá criar uma nova visão no cenário da aviação brasileira. A definição e o acompanhamento de parâmetros que propiciem e facilitem a prevenção e a investigação de acidentes irá incidir diretamente na saúde financeira da empresa aérea podendo determinar a sua sobrevivência no mercado. A Garantia de Qualidade Operacional do Vôo (Flight Operational Quality Assurance, FOQA) se originou com o uso, pelas

aeronaves, de gravadores (registradores) de dados do vôo conforme a exigência da administração civil da aeronáutica em 1958, nos EUA. Inicialmente, os registradores de dados gravavam os parâmetros de tempo, de velocidade, de direção, de altura e de aceleração. Esses dados gravados constituíam uma ferramenta valiosa na investigação dos fatos que antecedem aos acidentes.

Em 1960, destacando a importância do monitoramento dos dados, a empresa British Airways lançou um programa de acompanhamento de dados de vôo. Em estudo elaborado em 1992, pelo Federal Aviation Administration (FAA), a Flight Safety Foundation (FSF) estabeleceu um programa de obtenção e de análise dos dados gravados em vôo, objetivando a melhoria da performance de vôo das tripulações, dos treinamentos das empresas e dos procedimentos operacionais. Em 1997, a agência espacial americana NASA (National Aeronautics and Space Administration) recebeu recursos financeiros na ordem de US\$ 2.9 milhões com a finalidade de desenvolver um Sistema de Medição do Desempenho da Aviação. De acordo com as estimativas do FAA órgão ligado à agência de transporte norte-americano a aplicação do FOQA, pelas empresas aéreas, resultaria em significativas economias anuais (em dólares), conforme demonstrado nas tabelas abaixo.

TABELA I – Economia anual

| | <u>15 Aeronaves</u> | <u>50 Aeronaves</u> | <u>100 Aeronaves</u> |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Economia de Combustível | <u>\$145,800</u> | <u>\$486,000</u> | <u>\$972,000</u> |
| Economia com manutenção de Motores | <u>300,000</u> | <u>1,000,000</u> | <u>2,000,000</u> |
| Redução de custos com Acidentes | <u>49,500</u> | <u>165,000</u> | <u>330,000</u> |

Fonte: Federal Aviation Administration

TABELA II – Economia anual

| | <u>15 Aeronaves</u> | <u>50 Aeronaves</u> | <u>100 Aeronaves</u> |
|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Total de Custos Anual | \$483,500 | \$759,000 | \$1,267,000 |
| Total de Economia Anual | 495,300 | 1.651,000 | 3,302,000 |
| Economia anual líquida | \$11,800 | \$892,000 | \$2,035,000 |

Fonte: Federal Aviation Administration

Os programas de FOQA, analisando os dados adicionais, dos sistemas da aeronave e das condições do motor, as linhas aéreas podem conseguir reduzir o consumo de combustível e evitar uma manutenção desnecessária do motor. As tabelas I e II representam as economias anuais estimadas para frotas com 15, 50, e 100 aeronaves. As economias de combustível e do motor são baseadas em estimativas de uma redução 0.5% no consumo de combustível e de uma redução 1% em custos de manutenção do motor. A economia em segurança de vôo é baseada em uma redução 1% hipotética nos custos anuais incorridos dos acidentes. O FAA baseou o seu cálculo em uma taxa atual considerando a perda de 2 aeronaves por milhão de decolagens e em um custo de US\$150 milhões para cada perda.

2 A Lógica Difusa

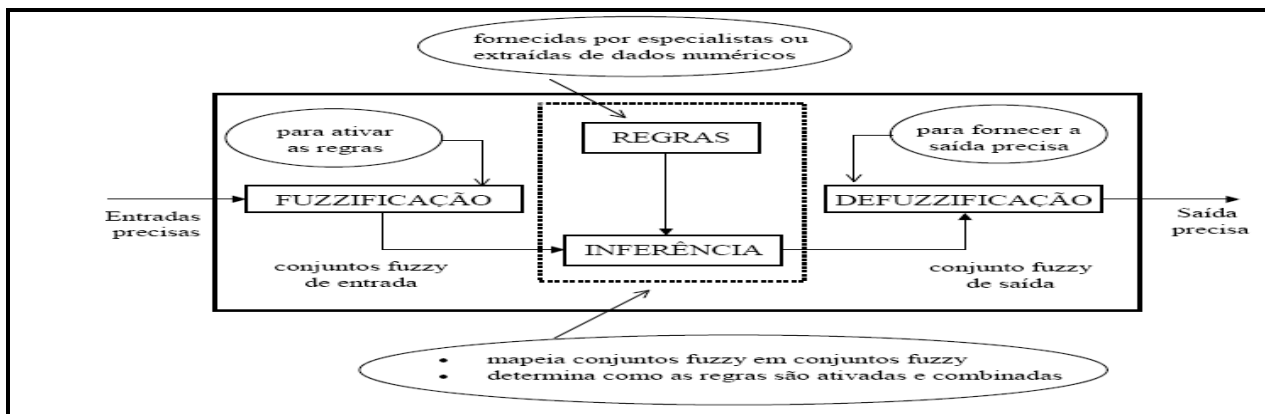
Hime Aguiar (1999) destaca que a lógica difusa é um conjunto de métodos baseados no conceito de conjunto difuso (Fuzzy set) e de operações difusas, que possibilita o modelamento realista e flexível de sistemas. Acrescenta ainda, que o aspecto mais notável dessa metodologia é a possibilidade de se capturar, em um modelo matemático conceitos intuitivos como graus de satisfação, conforto, adequação, etc. O conjunto difuso é a distribuição de possibilidades, a teoria é formulada por meio de conceitos da teoria dos conjuntos de Cantor e se mostra como importante ferramenta no tratamento de sistemas estocásticos, aliada ao conhecimento já estabelecido nos modelos estatísticos.

Ricardo Tanscheit em Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy (1995) comenta que na década de 60, Zadeh proporcionou mais uma ferramenta, formalizou a Teoria de Conjuntos Fuzzy, que visava ao tratamento de informações de caráter impreciso ou vago. Acrescenta que a Lógica Fuzzy foi construída a partir dos conceitos já estabelecidos de lógica clássica, operadores foram definidos à semelhança dos tradicionalmente utilizados e outros foram introduzidos ao longo do tempo, muitas vezes por necessidades de caráter eminentemente prático.

Leonardo Pontes dos Reis, em Análise de Desempenho de Redes Neurais Artificiais na Predição de Indicadores do Mercado Financeiro (2003), descreve as terminologias e definições básicas como se X é uma coleção de objetos denotados genericamente por x , então um conjunto *Fuzzy* A em X é definido como um conjunto de pares ordenados: $A = \{(x, \mu(x)) \mid x \in X\}$ onde $\mu(x)$ é chamada de função pertinência ou MF (membership function) para o conjunto *Fuzzy*. A MF mapeia cada elemento de X para um grau de pertinência (ou valor de pertinência) entre 0 e 1. O suporte de um conjunto *Fuzzy* A é o conjunto de todos os pontos x em X tal que $\mu(x) > 0$. A especialidade de um conjunto *Fuzzy* A é o conjunto de todos os pontos x em X tal que $\mu(x) = 1$. Um conjunto *Fuzzy* é normal se sua especialidade é não-vazia. Em outras palavras, pode-se sempre encontrar um ponto $x \in X$ tal $\mu(x) = 1$. Um conjunto *Fuzzy* é completamente caracterizado pela sua MF. Uma maneira concisa e eficiente de definir uma MF é expressá-la matematicamente, em vez de listar todos os pares que a definem. Nesse estudo é utilizado a MF Gaussianas, onde é especificada por dois parâmetros $\{c, \sigma\}$: gaussiana $(x; c; \sigma) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-c}{\sigma})^2}$. As regras podem ser fornecidas por especialistas, em forma de

sentenças lingüísticas, e se constituem em um aspecto fundamental no desempenho de um sistema de inferência Fuzzy. Novamente, tomando o exemplo de um controlador Fuzzy, este só terá um bom desempenho se as regras que definem a estratégia de controle forem consistentes, complementa Leonardo Pontes. Facilitando a compreensão, Ricardo Tanscheit em Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy (1995) comenta que o sistema de inferência Fuzzy pode ser mostrado conforme a Figura 1.

Figura 1- Sistema de inferência fuzzy



Fonte: Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy

3 OS DADOS DE VÔO

A administração dos dados, pertinentes às aeronaves, implica em várias condições e que devem ser rigorosamente observadas pelas partes envolvidas. Robert L. Helmreich, Ph.D. da University of Texas Aerospace Crew Research Project, durante o seminário de fatores humanos da IATA, em 12 de agosto de 1998 destacou, que antes mesmo da organização instituir uma cultura de “ safety ”, a gerência da empresa deve observar se está preparada para tomar as ações necessárias, incluindo as de custo elevado.

O FAA enfatiza por meio de uma circular que:

“... Custos e benefícios a percorrer. Justificar o investimento em um programa de FOQA é uma tarefa contínua. Os custos iniciais da aquisição têm retorno direto, como de todas as categorias os custos são identificados. Seguir os benefícios menos tangíveis é muito mais difícil. Os benefícios de um programa, das economias conseguidas e dos custos de FOQA, são espalhados através de muitos departamentos. O departamento de segurança é um beneficiário óbvio. O departamento do treinamento beneficia-se de um treinamento mais eficaz O departamento da manutenção beneficia-se de FOQA por causa do monitoramento e dos problemas da manutenção, disponibilizando os dados para a pesquisa de defeitos oportunamente...” (AC No: 120-82, 2004, p.18, Tradução Livre).

Em 18 de abril de 2005 a página eletrônica da Intelog ressaltou que:

“Os sindicatos e associações que representam o setor de aviação estão pedindo mudança na política de preços do querosene. Responsável por 30% do custo operacional das empresas, o combustível foi reajustado em 27,6% somente este ano. Os aumentos são definidos pela Petrobras a cada 15 dias. Desde 1999, o querosene foi reajustado em 896,9%, enquanto a gasolina subiu 267%, o óleo diesel 426,8% e o gás de cozinha, 442%. Assim não temos mesmo como a Varig se salvar.”

A Associação de Transporte Aéreo norte-americana (ATA), na página eletrônica do dia 14 de novembro de 2005 quantificou, de uma maneira geral, os gastos envolvidos em combustível (galão), no custo operacional de uma empresa aérea, estes custos se situam em 21,9%, sendo superado apenas pelos trabalhistas, que é da ordem de 26%. Finalizando, o DAC por meio de uma Portaria decidiu que:

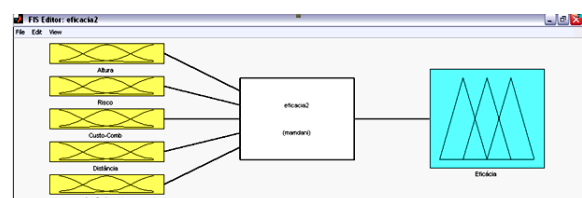
“Considerando que a OACI passou a requerer um sistema de acompanhamento de dados de voo (Flight Data Monitoring – FDM) a partir de janeiro de 2005, O DAC decidiu dar início à implantação desse sistema a partir do início de 2005, devendo estar em pleno funcionamento em janeiro de 2006, como estabelecido no RBHA 119, seção 119.74.” (IAC, 2004, p.V.).

4 METODOLOGIA E AMOSTRA

A metodologia é de natureza quantitativa, baseada no levantamento real do monitoramento de dados dos vôos das aeronaves realizados por uma empresa aérea brasileira. O modelo desenvolvido baseado na lógica Fuzzy apresenta na sua composição um conjunto de regras, variáveis linguísticas, funções de pertinência, método de defuzzificação, agregação e implicação. O sistema de inferência Fuzzy (FIS) escolhido foi o do tipo Mandani. Utilizou-se a toolbox Fuzzy logic do MATLAB. Esta ferramenta dispõe de diversos gráficos úteis para uma boa compreensão do assunto, os quais estão apresentados, resumidamente, nas figuras a seguir.

A Figura 2 apresenta as variáveis de entrada definidas como sendo a altura, o risco, o custo de combustível (custo operacional), a distância para a cabeceira da pista e a razão de descida empregada pela aeronave.

Figura 2 – Variáveis de entrada



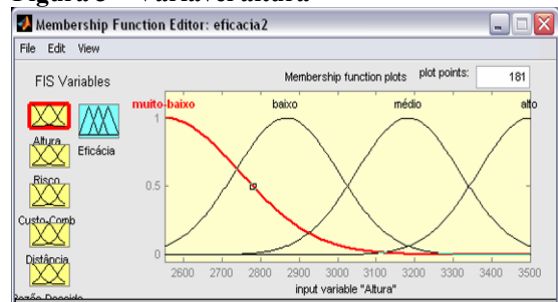
A Figura 3 até a Figura 7 apresentam isoladamente as MF de cada variável selecionada. Em seguida, são apresentadas as Figuras 8 e 9 onde mostram resumidamente as regras utilizadas. A seleção inicial de regras apontou para um número inicial de 2000, mas após a análise individual da pertinência, algumas regras foram descartadas e a quantidade de regras a serem utilizadas mudou, sendo estabelecida o número de 1309. As Figuras 11 e 12 exemplificam o panorama final com valores aleatórios das variáveis de entrada resultando em uma eficácia. Dentre os diferentes enfoques para indicar o termo eficácia em uma empresa

aérea verifica-se que o custo do combustível contribui com uma parcela significativa. Não obstante a existência de um custo de combustível, a possibilidade da ocorrência de um acidente aeronáutico também contribui. Ao se considerar os diversos dados de voo da aeronave, disponíveis para consulta, observam-se que o perfil desenvolvido, pela aeronave durante o voo, contribui para a análise de risco e aponta para a eficácia na empresa aérea. A seleção do subconjunto de indicadores, na elaboração deste modelo, a participação de especialistas permeou a pesquisa da literatura pertinente à área de administração e de ciências aeronáuticas.

Portanto, as variáveis de entrada definidas a serem tratadas com o uso do sistema de inferência Fuzzy são:

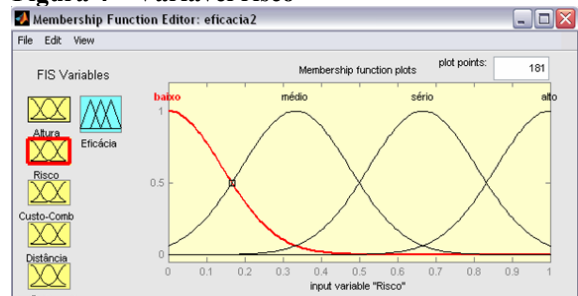
- **Altura**, definida como: a altura em que a aeronave se encontra durante a fase de aproximação para o pouso denominada como Alto, Médio, Baixo e Muito Baixo. A altura inicial é de 3600 pés e a altura para o pouso é de 2600 pés, (Figura 3).

Figura 3 – Variável altura



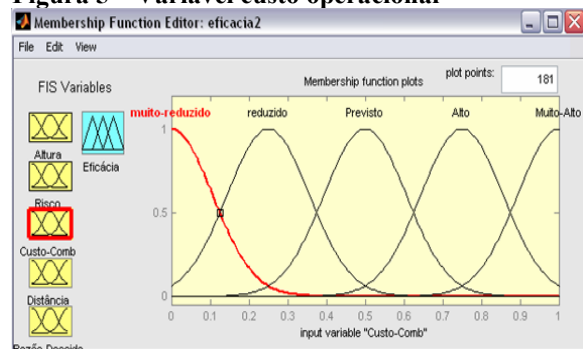
- **Risco**, definido como: a situação em que a aeronave se encontra levando em consideração o perfil de voo, a altura e a distância. Foi denominado como Alto, Sério, Médio e Baixo. A variação denominada abrangeu de 100% a 0(zero) %, (Figura 4).

Figura 4 – Variável risco



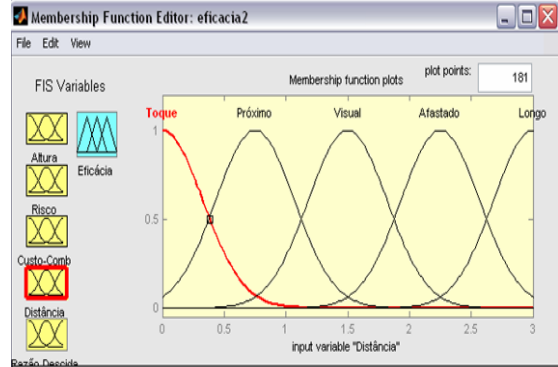
- **Custo Operacional**, definido como: a interferência do consumo de combustível em cada altura voada e denominado como Muito Reduzido, Reduzido, Previsto, Alto, Muito Alto. A variação denominada abrangeu de 100% a 0 (zero)%, sendo que o previsto se localiza em 50%, (Figura 5).

Figura 5 – Variável custo operacional



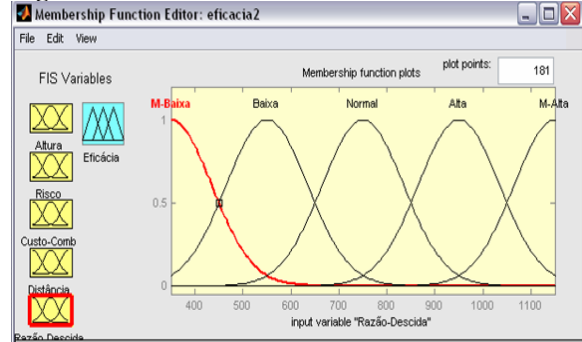
- Distância, definida como: a distância em que a aeronave se encontra em relação à pista de pouso, denominada como Longo, Afastado, Visual, Próximo e Toque. A distância reduz de 3 milhas náuticas até zero - pista de pouso, (Figura 6).

Figura 6 – Variável distância



- Razão de Descida, definida como: a razão em pés/minutos empregada pela aeronave, denominada como Muito Alta, Alta, Normal, Baixa, Muito Baixa. A razão varia de 1150 pés/min até 350 pés/min, (Figura 7).

Figura 7 – Variável razão de descida



- A seleção inicial de regras apontou para um número inicial de 2000, mas após a análise individual da pertinência, algumas regras foram descartadas e a quantidade de regras a serem utilizadas mudou, sendo estabelecida o número de 1309, (Figura 8).

Figura 8 – Regras utilizadas

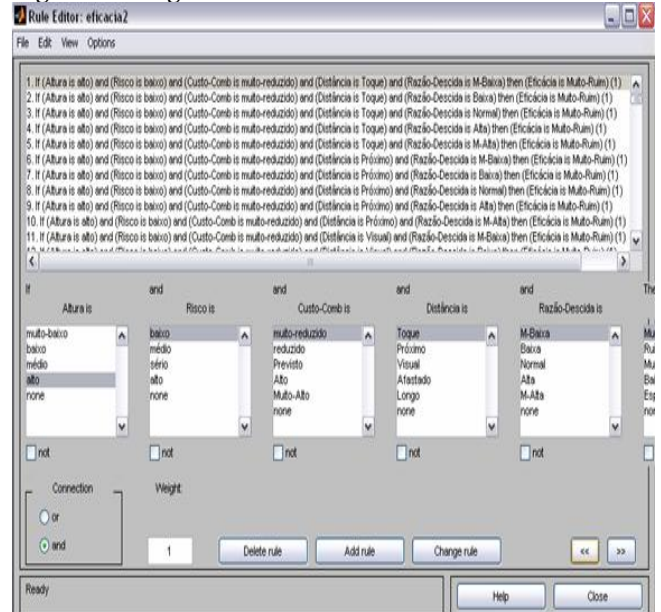
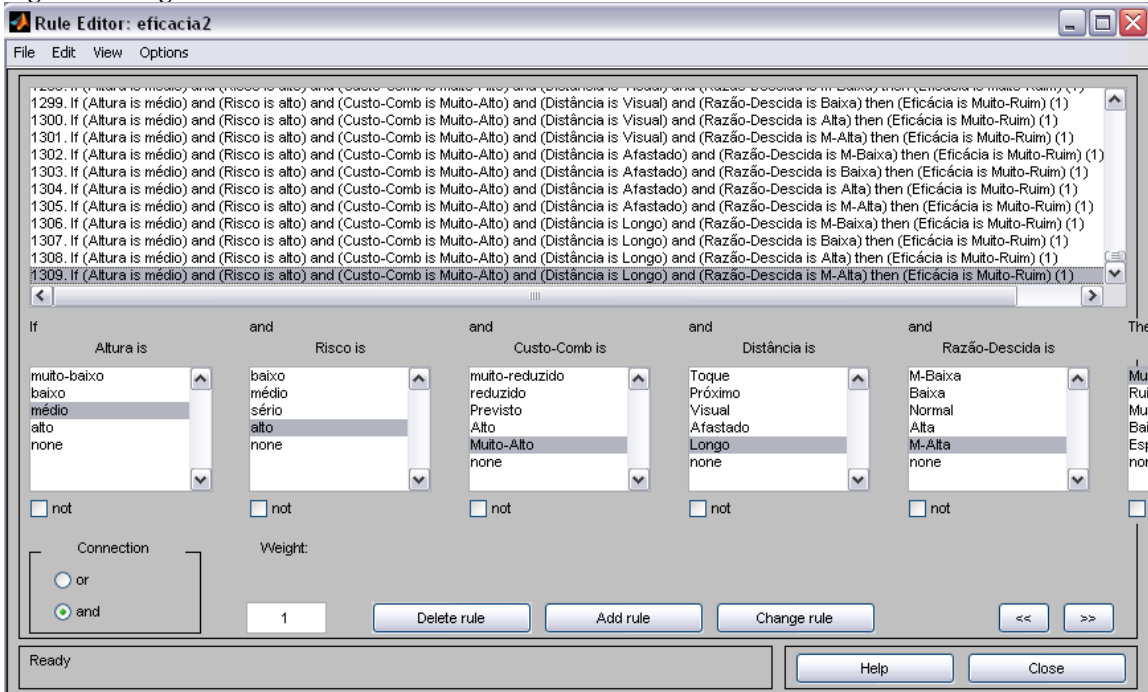


Figura 9 – Regras utilizadas



A variável de saída para o sistema foi denominada de Eficácia e foi definida em porcentagem, sendo que cresce com a graduação de 0 (zero) % Muito Ruim, Ruim, Muito Baixa, Baixa e Esperada com 100%, conforme a figura 10.

Figura 10 – Variável eficácia

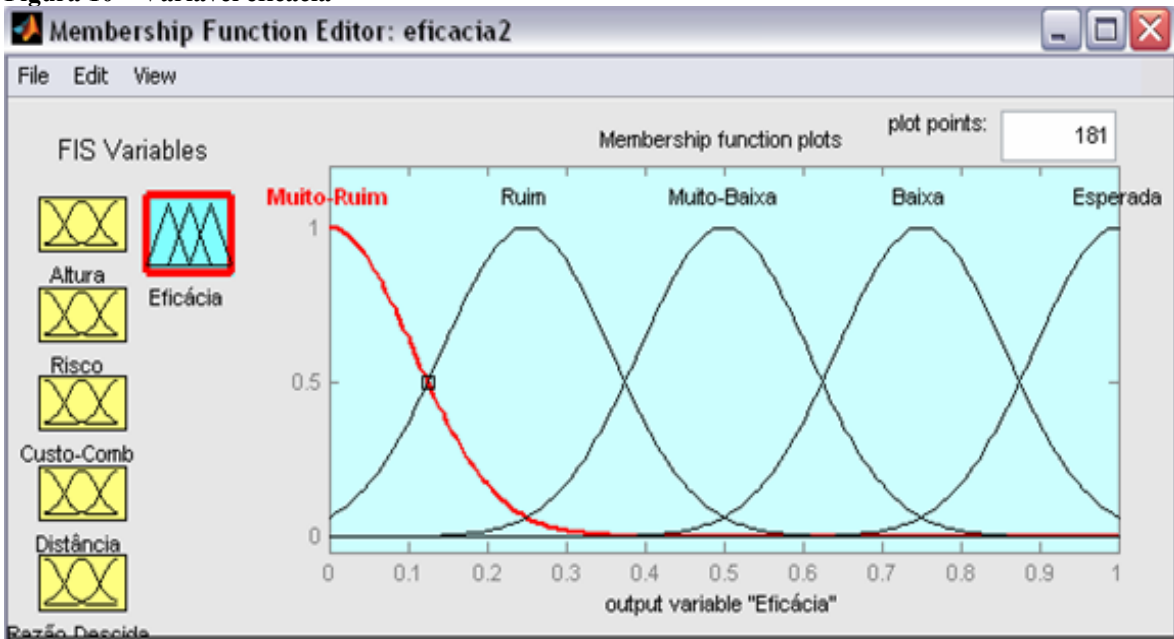


Figura 8 – Cálculo da eficácia

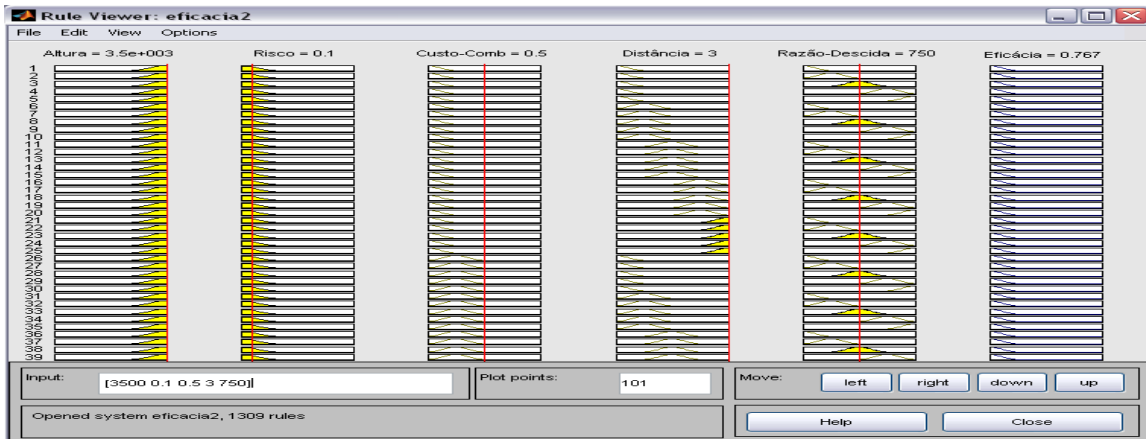
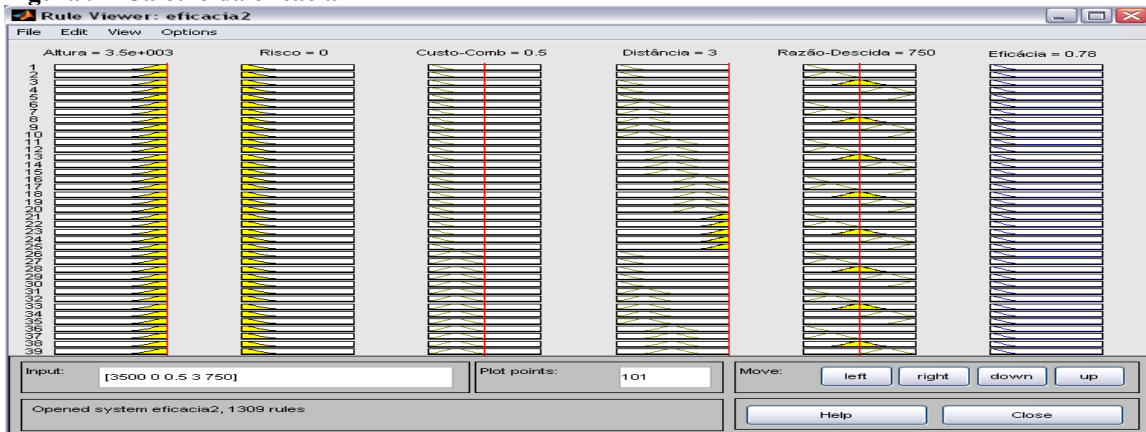


Figura 9 - Cálculo da eficácia



O procedimento deste modelo Fuzzy consiste em calcular o grau de pertinência em todos os conjuntos Fuzzy das variáveis de entrada, a partir das entradas correspondentes a cada dado obtido após a leitura dos gravadores de vôo da aeronave. Após isto, o indicador de eficácia da empresa aérea é determinado pelo processo de inferência Fuzzy, o qual utiliza o conjunto de regras estabelecido e posterior defuzzificação da saída Fuzzy. O método de defuzzificação proposto foi o centro de gravidade.

A amostra é composta de dados oriundos da fase final de descida de uma aeronave, quando em configuração para o pouso. Esses dados constituem um conjunto de informações essenciais a formar um perfil que caracteriza um padrão de vôo de uma específica empresa aérea.

No relatório de monitoramento dos dados de vôo foram contemplados os seguintes parâmetros: a Razão de descida da aeronave expressa em pés por minuto, o Consumo de combustível dos motores da aeronave, a Altura da aeronave durante a fase de descida, a Distância da aeronave relativa à pista de pouso.

Por razões de confidencialidade não serão apresentados o nome da empresa aérea, o tipo da aeronave utilizada e a data em que os vôos foram realizados. As informações obtidas e utilizadas, nesse trabalho, visam a atender os objetivos acadêmicos.

Os dados amostrais apresentados em planilhas “Excel”, totalizando um número de 150 arquivos. Os arquivos apresentam a fase final de vôo, tecnicamente, chamada de “Final Approach”, conforme exemplificado nos QUADROS 1 e 2.

5 TESTES E ANÁLISES

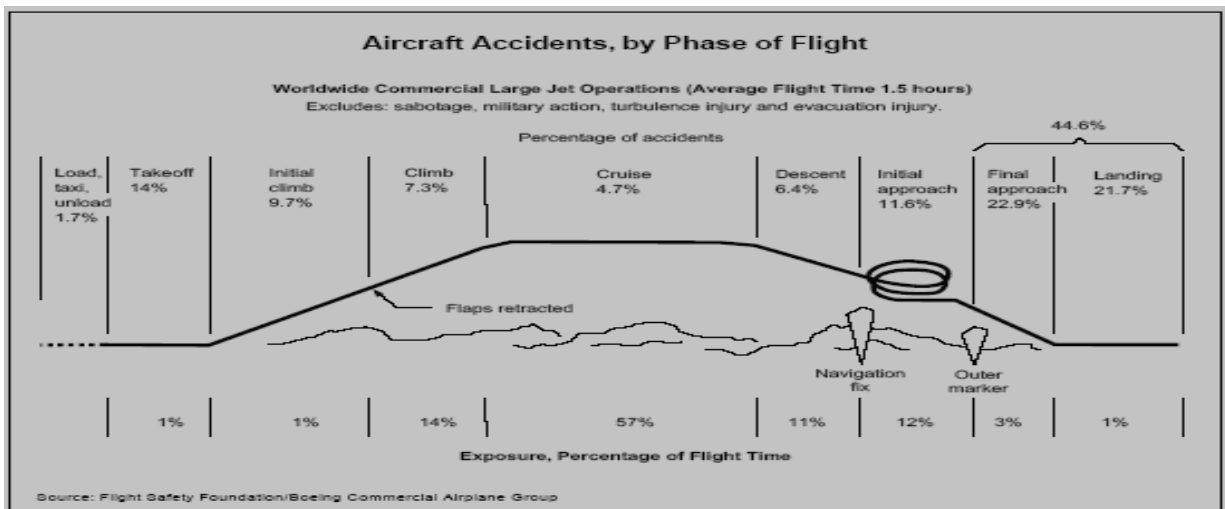
Os dados foram analisados inicialmente, de forma a se identificar o padrão de vôo de uma Empresa Aérea. No período em que os vôos foram realizados alguns requisitos básicos foram respeitados. A qualificação da tripulação representou uma parcela do conjunto de pilotos da Empresa Aérea, em que a habilidade dos pilotos era a requerida para efetuar o vôo nas condições reinantes. Os dados analisados corresponderam a vôos efetuados em um período estabelecido onde transcorreram sem que alguma anormalidade ou irregularidade fosse verificada. Os perfis de vôo analisados foram os estabelecidos pelas regras de tráfego aéreo vigentes e pelas rotinas preconizadas pela empresa aérea. O peso de decolagem da aeronave não teve influência significativa no consumo de combustível no trecho analisado. A altitude considerada foi apresentada em pés (ft). O consumo de combustível foi apresentado em libras/hora por cada motor, a aeronave opera com dois motores. A velocidade foi apresentada em milhas/hora (kt). As seleções, para a análise, das alturas iniciais e finais obedeceram ao mesmo critério para todas as planilhas. A quantidade de linhas analisadas, nas planilhas, relativas às alturas voadas pela aeronave e ao consumo de combustível, foram as mesmas para cada vôo. A altura inicial selecionada representa a primeira informação de “FINAL APPROACH”, obtida pela leitura e registrada no gravador de vôo. A altura mais baixa selecionada é a altura registrada, a mais próxima da pista, utilizada para a análise, onde a aeronave efetuou o pouso. Todas as aproximações para pouso analisadas se referem à mesma pista de pouso. As aproximações não rotineiras foram excluídas da análise.

O caminho escolhido para atingir o objetivo proposto se iniciou em utilizar os dados reais da amostra. Sendo a amostra considerada significativa, o primeiro passo foi estabelecer o padrão de vôo que a empresa aérea estava operando. Cabe ressaltar, que nesse momento não existe a preocupação em definir se o padrão é eficaz ou não. O fato é que esse foi o padrão realizado e adotado pela empresa aérea. O padrão de vôo da empresa aérea pode ser identificado de diferentes formas. O desenvolvimento se baseou nos dados da amostra para desenvolver um conceito. O conceito proposto englobou fatores de análises da fase de vôo, da altura, da razão de descida, da distância em relação à pista de pouso, do risco e do custo operacional envolvidos na fase. A participação desses fatores irá influenciar e apontar para a eficácia da empresa aérea. Uma vez desenvolvido o conceito de que é possível utilizar os

dados procedentes dos registradores de voo e com eles influenciar na eficácia da empresa aérea, o objetivo estará atingido.

Ao observar o perfil de uma aeronave, na aproximação para pouso, constata-se que estão presentes nessa fase de voo, com relação ao padrão estabelecido pela empresa aérea, pequenas variações de altura, razão de descida, velocidade e conseqüentemente de consumo de combustível da aeronave. Essas variações, oriundas de distração ou falta de experiência entre outras, podem resultar em uma catástrofe para a Empresa Aérea. A fase final para o pouso é apontada, conforme a Flight Safety Digest (p.8,1997), apresentada na Figura 13, como sendo a fase que incorpora o maior índice de acidentes, atingindo um valor de 22,9%, que corresponde a 3% do total de horas voadas no voo. Apesar do pouco tempo de voo exposto ao risco, essa fase torna-se um componente importante na análise da eficácia da Empresa Aérea. Portanto, está presente assim uma relação muito forte entre o perfil de voo adotado e o risco exposto de um acidente com a aeronave.

Figura 13 - Índices de acidentes – Flight safety Digest



Naturalmente, as condições ambientais exercem um fator adicional na avaliação do risco na fase final do voo. Esse fator adicional não faz parte do escopo desse estudo.

Inicialmente, os dados amostrais disponíveis foram analisados utilizando dois programas, o “Excel” e o “SPSS”. Essa fase da análise objetivou em analisar as informações pertinentes à altura e as de consumo de combustível, na fase de “Final Approach”. Os dados foram tratados e disponibilizados de forma a se obter uma compatibilidade de uso com os dois programas. Foram inseridos em colunas distintas, sendo que para o consumo de combustível foi criada uma terceira coluna, que representou a soma do combustível naquele momento conforme a exemplo da QUADRO 1. O número de linhas somou 6283 que se apresenta de forma resumida na QUADRO 2.

QUADRO 1 – Apresentação dos dados

| | A | B | C |
|----|---------|-------------|---|
| 1 | ALTURA | COMBUSTÍVEL | |
| 2 | 3535.72 | 1018 | |
| 3 | 3519.72 | 1078 | |
| 4 | 3503.72 | 1088 | |
| 5 | 3491.72 | 1040 | |
| 6 | 3479.72 | 1016 | |
| 7 | 3463.72 | 1014 | |
| 8 | 3447.72 | 1054 | |
| 9 | 3423.72 | 1057 | |
| 10 | 3407.72 | 1034 | |
| 11 | 3391.72 | 1018 | |
| 12 | 3375.72 | 1021 | |
| 13 | 3359.72 | 1043 | |
| 14 | 3347.72 | 1180 | |
| 15 | 3335.72 | 1458 | |
| 16 | 3319.72 | 1727 | |

QUADRO 2 - Apresentação dos dados

| | A | B | C |
|------|---------|------|---|
| 6264 | 2841.79 | 2273 | |
| 6265 | 2825.79 | 2105 | |
| 6266 | 2813.79 | 1958 | |
| 6267 | 2797.79 | 1882 | |
| 6268 | 2785.79 | 1853 | |
| 6269 | 2777.79 | 1907 | |
| 6270 | 2769.79 | 2023 | |
| 6271 | 2761.79 | 2248 | |
| 6272 | 2745.79 | 2514 | |
| 6273 | 2729.79 | 2428 | |
| 6274 | 2713.79 | 2188 | |
| 6275 | 2701.79 | 2132 | |
| 6276 | 2693.79 | 2128 | |
| 6277 | 2681.79 | 2101 | |
| 6278 | 2669.79 | 2030 | |
| 6279 | 2657.79 | 1948 | |
| 6280 | 2645.79 | 1925 | |
| 6281 | 2633.79 | 2023 | |
| 6282 | 2613.79 | 2127 | |
| 6283 | 2601.79 | 2153 | |
| 6284 | | | |

O principal foco dessa análise é estabelecer uma função em que se definirá um padrão de vôo da Empresa Aérea durante essa fase de vôo. Esse padrão de vôo encontrado irá compor as informações de razão de descida, de distância em relação à pista de pouso, de custo operacional e de risco onde, consolidados, apontarão para a eficácia da Empresa Aérea identificando os pontos de controle. A opção escolhida, após o tratamento dos dados, foi o uso de uma regressão linear onde determina também a margem de tolerância representada pelo grau de confiança, que as aeronaves poderiam voar com o custo e o risco planejados (limites superior e inferior de altura, bem como o consumo de combustível). A tolerância se faz importante na medida em que o custo e o risco estabelecidos seriam identificados em seus limites como fatores de planejamento. A fase de vôo analisada impõe que a aeronave se encontre próximo ao solo (aproximadamente a 330 metros de altura) e descendo com uma configuração de pouso estabilizada (trem de pouso e “flaps” baixados). Para um entendimento melhor da fase de aproximação a figura 14 auxilia na visualização.

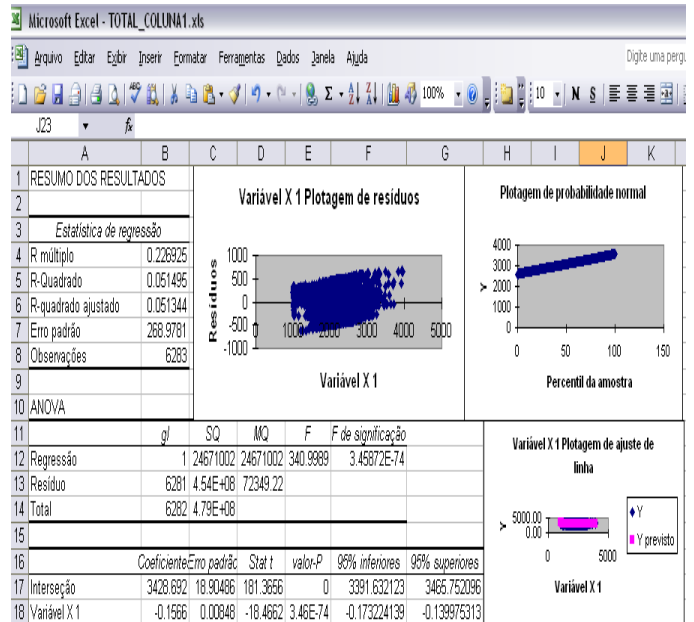
Figura - 14



QUADRO 3– Resumo estatístico no excel

| | A | B | C | D |
|----|----------------------|--------------|----------------------|-------------|
| 1 | Coluna1 | | Coluna2 | |
| 2 | | | | |
| 3 | Média | 3085.262007 | Média | 2193.04409 |
| 4 | Erro padrão | 3.484006721 | Erro padrão | 5.04858762 |
| 5 | Mediana | 3081.1 | Mediana | 2190 |
| 6 | Modo | 3285.1 | Modo | 2014 |
| 7 | Desvio padrão | 276.1611064 | Desvio padrão | 400.178201 |
| 8 | Variância da amostra | 76264.95671 | Variância da amostra | 160142.593 |
| 9 | Curtose | -1.171521921 | Curtose | 1.34297115 |
| 10 | Assimetria | 0.024398914 | Assimetria | -0.23123993 |
| 11 | Intervalo | 992.69 | Intervalo | 2951 |
| 12 | Mínimo | 2600.41 | Mínimo | 993 |
| 13 | Máximo | 3593.1 | Máximo | 3944 |
| 14 | Soma | 19384701.19 | Soma | 13778896 |
| 15 | Contagem | 6283 | Contagem | 6283 |

QUADRO 4– Resumo estatístico no excel



Desses resultados observa-se na TABELA III que:

TABELA IIIII – Resumo da regressão linear

| R Quadrado | Fator de Significação | Valor P - Interseção | Variável X | Grau de Confiança | Interseção |
|------------|-----------------------|----------------------|------------|-------------------|------------------|
| 0,052 | 3,46E-74 | ZERO | 3,46E-74 | 95% | Inferior-3391,64 |
| | | | | | Superior-3465,76 |

Ao se considerar que o foco é a determinação de uma função que possa representar o padrão de vôo da empresa aérea, pode-se entender que as informações obtidas são coerentes e atendem ao objetivo. Portanto, a resultante é:

$$Y = -0,1566X + 3428,7$$

Com o objetivo de validar a proposta foi utilizado um espaço amostral não pertencente ao anterior e aplicado ao modelo Fuzzy. As informações foram consistentes conforme as Figuras 11 e 12.

6 CONCLUSÃO

O progresso da humanidade não teria sentido se o seu bem-estar não fosse um objetivo dos pesquisadores. Os dados de vôo de uma aeronave quando analisados, promovem a possibilidade de fornecer um avanço no campo da administração da empresa aérea e no da segurança de vôo e, por conseguinte o desenvolvimento da população.

O desempenho comercial de uma empresa aérea implica na sua sobrevivência no mercado da aviação regional, nacional ou internacional. A definição e a análise do perfil de vôo das aeronaves, na empresa aérea, foram apresentadas com o uso da regressão linear. A empresa aérea, ao ter o perfil de vôo estipulado, permite ao administrador uma clara condição de identificar e diagnosticar qual é o melhor procedimento a adotar frente aos pontos a serem observados de um vôo.

O passo seguinte apresentado combinou variáveis que apontam para um resultado, identificando a participação do vôo na eficácia da empresa aérea. O uso da lógica Fuzzy permitiu combinar informações não numéricas, oriundas da experiência de especialistas, com dados provenientes da leitura dos gravadores de vôo da aeronave.

Observa-se, que uma vez estipulado o perfil de vôo a ser adotado e os limites considerados pela definição das variáveis, o administrador passa a ter a informação sobre o desempenho do vôo observado instantaneamente. A interferência das variáveis, em um determinado vôo é facilmente identificada no sistema apresentado. O administrador, ao diagnosticar que um determinado vôo não atingiu o esperado, efetua a leitura nos gráficos das variáveis e identifica qual influenciou negativamente.

A implicação desse trabalho na segurança de vôo é imediata, quando da identificação de uma eficácia não favorável. A variável que influenciou deve ser verificada isoladamente, em um setor específico da empresa aérea. Um vôo em que o perfil desenvolvido, pela aeronave, apresenta uma altura incompatível com a distância em relação à pista, pode determinar um padrão de vôo inadequado realizado pela tripulação, aumentando o risco de um acidente aeronáutico, por exemplo. O ponto inovador é que para a segurança de vôo, o trabalho apresentado se preocupa com a prevenção, indicando a tendência ao erro e não apenas informando que o acidente (erro) já aconteceu. Essa situação permite que se incremente o treinamento de uma tripulação, ao identificar a tendência de realizar um vôo próximo da margem estipulada.

A administração da empresa aérea é fortemente facilitada. A identificação dos desvios é apresentada de uma forma imediata e não ao final do semestre ou no balanço anual.

A correção pode ser realizada de imediato, contribuindo na redução dos custos. A visualização, por exemplo, de um consumo excessivo em uma determinada aproximação de uma pista de pouso pode influenciar na mudança de um procedimento adotado, ou até mesmo implicar que os limites estabelecidos pela empresa sejam revistos.

Finalmente, o resultado desse trabalho disponibiliza ao administrador de uma empresa aérea os métodos de como implantar um sistema de acompanhamento e de análise de dados de vôo. Algumas vantagens associadas ao modelo Fuzzy apresentado neste trabalho são sua simplicidade e o reduzido custo computacional. A versatilidade e a flexibilidade do avaliador Fuzzy apresentado, permite que seja adaptado a novos padrões, por meio da modificação dos parâmetros que definem o Sistema de Inferência Fuzzy, ou seja, as formas das funções de pertinência e seus parâmetros, regras e seus pesos, método de implicação, agregação e defuzzificação. Na busca da determinação da eficácia de uma empresa aérea, bem como da prevenção de acidentes aeronáuticos, tem-se como visão prospectiva a constante pesquisa desses dois métodos: a regressão linear e a lógica Fuzzy.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Sistema de Aproximação por Instrumentos Categoria II= ICA100-16**. Rio de Janeiro, RJ, 2002.

DOW JONES NEWS SERVICE. Aerospace and Defense Industry. Set. 2003. Disponível em: <<http://www.designnews.com/index.asp?layout=article&articleid=NEd0911041.5jo&industry=Aerospace+and+Defense&industryid=2017&cfid=1>>.

FAA. **APO Bulletin: Aviation Accident Investigation Costs**. Ago, 2000. Disponível em: <<http://apo.faa.gov/arcc/Research%20Reports/APO%20Bulletin%20on%20Accident%20Costs.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2006.

Flight Safety Foundation, Ago, 2000 <http://www.flightsafety.org/alar/alar_bn6-1-goaroundprep.pdf >. Acesso em: 28 out2005

GIBSON, P. **Plan to cut air accident costs**. In: CASA Media Release. Abr, 2002. Disponível em: <<http://www.casa.gov.au/media/2002/02-04-22.htm>>. Acesso em: 5 mar. 2006.

HELMREICH, R.L., (1999). **Building safety on the three cultures of aviation**. In **Proceedings of the IATA Human Factors Seminar (pp. 39-43)**. Bangkok, Thailand, August 12, 1998.

OLIVEIRA, H.A. **Lógica Difusa: aspectos práticos e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1999. 192 p.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. Anexo 13 à Convenção de Aviação Civil Internacional. **Investigação de Acidentes e de Incidentes Aeronáuticos**. 9ª Edição. Canadá, 2001.

8 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANDERSON, D.R., DENNIS, J.S., THOMAS, A.W. **Estatística Aplicada à Administração e Economia**. 1. ed. São Paulo: Thomson, 2005. 642 p.

AVIAÇÃO COMERCIAL. Tam é condenada a indenizar familiares de vítima. Disponível em: <http://www.geocities.com/away_logos/Noticias/Noticias4.htm>. Acesso em: 5 mar. 2006.

BBC. **Air crash crew demand payout**. Disponível em: <<http://www.accident-compensation-people-uk.co.uk/Personal%20Injury%20News.asp?id=90>>. Acesso em: 5 mar. 2006.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 7.565**. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. Brasília, DF, 19 de dezembro de 1986. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7565.htm>.

BRASIL. Congresso Nacional. **Decreto Lei nº87.249**. Dispõe Sobre o Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos e dá outras providências. Brasília, DF, 07 de junho de 1982.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. **Investigação de Acidente e de Incidente Aeronáutico = NSMA 3-6**. Brasília, DF, 1996.

CONSTANCE, P. **Países da América Central decidem tornar o transporte aéreo mais seguro**. In: BID América. Mar, 2001. Disponível em: <<http://www.iadb.org/idbamerica/Portuguese/FEB01P/feb01p1.html>>. Acesso em: 5 mar. 2006.

HELMREICH, R.L., WILHELM, J.A., KLINECT, J.R., & MERRITT, A.C. (2001). **Culture, error and Crew Resource Management**. In E. salas, C. A. Bowers, & E. Edens (Eds), **Improving Teamwork in Organizations (pp. 305-331)**. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

PASSOS, R.M., NOGAMI, O. **Princípios de Economia**. 4. ed. São Paulo: Thomson, 2003. 632 p.

PREVENÇÃO EM AVIAÇÃO. **Prevenção de Acidentes**. Disponível em: <http://safety4aviation.com/safety_002.htm>.

ROSA, A. M.. **Afinal, quanto custa prevenir acidentes aeronáuticos?** In: Segurança de Vôo. Disponível em: <<http://www.seguranca devoo.com.br/show.php?not=168&titulo=1.>>.

WAGNER III, J. A. e HOLLENBECK, J. R. **Comportamento organizacional: criando vantagem competitiva**. 1. ed. São paulo : Saraiva, 1999. 496 p.

Rahman, J. M. B. **O uso de uma nova ferramenta na leitura dos dados de vôo**. Disponível em: <http://www.dac.gov.br/seguranca/foqa.asp>. Acesso em: 5 mar. 2006.