APLICAÇÃO DE LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO DE RISCO OPERACIONAL EM TRANSPORTE AÉREO: UM MODELO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Luiz Fernando do Nascimento
LABFUZZY/COPPE - UFRJ, Brazil
Tel.: (21) 3938-7049| e-mail: lfn@pep.ufrj.br

Fabio Krykhtine
LABFUZZY/COPPE - UFRJ, Brazil
Tel.: (21) 3938-8234| e-mail: krykhtine@labfuzzy.coppe.ufrj.br

Carlos Alberto Nunes Cosenza
LABFUZZY/COPPE - UFRJ, Brazil
Tel.: (21) 3938-8238| e-mail: cosenzacoppe@gmail.com

RESUMO:

A complexidade e o custo de determinadas atividades nas operações de transporte aéreo demandam um processo de gerenciamento de risco individual, que tem avaliação associada à caracterização de um elenco de fatores, por vezes críticos, e uma necessidade de resposta em tempo adequado à realização destas atividades operacionais. Este trabalho apresenta um modelo preditivo para classificação de risco em algumas das atividades complexas em transporte aéreo, onde os atributos das tarefas são elencados como fatores no processo de avaliação e mensurados em seus diferentes níveis, visando a obtenção de níveis gerais de exposição ao risco. Para isto, um algoritmo baseado em Lógica Fuzzy é proposto, como forma de abordar as diferentes entradas de informações e seus níveis de incerteza e apresentar como resultado medidas de níveis de risco capazes de orientar a tomada de decisão e a necessidade de realização de mudanças em procedimentos inicialmente estabelecidos, a fim de reduzir o nível de exposição ao risco na operação

Palavras Chave: Risco Operacional, Transporte Aéreo, Lógica Fuzzy, Segurança de Aviação

1. INTRODUÇÃO

Na segurança de aviação, risco operacional é a avaliação, em termos de probabilidade prevista e severidade, das conseqüências de um perigo, levando-se em conta a pior situação previsível (ICAO, 2009). Isto é, o potencial de ocorrência de um evento multiplicado pela estimativa da intensidade ou extensão das perdas que podem resultar da exposição a um perigo. Na busca da avaliação objetiva do risco, tornam-se apropriadas a identificação de perigos e a condução de processos de gerenciamento de risco, que incluem, além da identificação: a estimativa, a análise, a avaliação e a comunicação de perigos.

Abordagens de gerenciamento de risco, após a identificação de perigos, realizam uma ordenação de riscos de acordo com critérios que utilizam a pior conseqüência possível que poderia resultar daqueles perigos e a probabilidade da ocorrência do dano. Serão encontrados, desta forma, todos os componentes do risco, que estarão sujeitos a medidas de controle estabelecidas pela organização.

A complexidade e o custo de determinadas atividades nas operações de transporte aéreo demandam um processo de gerenciamento de risco individual, que tem avaliação associada à caracterização de um elenco de fatores, por vezes críticos, e uma necessidade de resposta em tempo adequado à realização destas atividades operacionais.

Este trabalho apresenta um modelo preditivo para classificação de risco em algumas atividades complexas em transporte aéreo, onde os atributos das tarefas são elencados como fatores no processo de avaliação e mensurados em seus diferentes níveis, visando a obtenção de níveis gerais de exposição ao risco através da associação com números fuzzy.

Para isto, deve-se identificar os fatores de risco presentes nas atividades, a fim de encontrar, reconhecer e registrar os riscos envolvidos que possam ser um obstáculo a realização das atividades. Esta avaliação foi previamente realizada e os níveis de variação destes fatores também são predefinidos. Através de um *checklist* rápido, são dadas entradas quanto à característica da operação para uma mensuração de níveis de risco em um processador com utilização de um sistema utilizando Lógica Fuzzy.

No sistema proposto nesta modelagem a classificação, ordenação e cardinalidade são utilizadas para obtenção de resultados. A presente modelagem pode assumir melhoria com a integração de opiniões de profissionais experientes em avaliação destes tipos de operações, gerando um refinamento posterior do sistema quanto à absorção de conhecimento de informantes especialistas e permitindo a adaptação do método a outras fases e características de operação envolvendo risco. Neste primeiro momento, o que se deseja demonstrar é a composição de relacionamentos em um cálculo relativamente leve do panorama computacional, mas com capacidade de oferecer como saída uma resposta com precisão suficiente para apoio na tomada de decisão (Bellman e Zadeh, 1970).

Neste contexto, a mitigação do risco pode ser realizada por decisões em tempo e esforço computacional suficientes para prevenção de ocorrências que podem ter impactos variados, mas quase sempre de grande custo final, seja com a perda integral ou parcial de aeronaves, danos a estruturas do campo de pouso ou, irreparáveis perdas de vidas humanas.

2. METODOLOGIA

A matemática tradicional desenvolve suas bases em lógicas binárias em termos verdadeiros ou falsos, sim ou não, zero ou um. Como exemplo, pode-se citar a teoria dos conjuntos apresentada por Cantor onde determinado elemento pertence ou não a determinado grupo. Esta abordagem clássica da teoria dos conjuntos vem sendo aplicada e disseminada há muito tempo e são bases para muitos dos desenvolvimentos da matemática, incluído a matemática Euclidiana. Estas medidas e relações de pertencimentos fazem com que os sistemas de modelagens não assumam características ligadas a traduções de incerteza. Sobre este ponto, matemáticos e filósofos tais como Bertrand Russel (1923) e Max Black (1937) ainda no início do século XX apresentavam suas insatisfações quanto às

condições teóricas de tratamento da imprecisão. A incorporação da incerteza por sistemas de tratamento de dados vagos, incertos, ambíguos ou imprecisos encontrava como saída o tratamento alternativo onde, ou aplica-se constantes, ou a atribuição de valores para a realização de cálculos com aplicação de variáveis discretas. Quando necessária a tomada de decisão em que os elementos de entrada são lingüísticos, oriundos de informações de comunicações de rádio, com percepção relacionada ao emissor e ao receptor da mensagem, o dado pode variar entre um valor completamente verdadeiro e um completamente falso, o que nos leva a uma verdade parcial no ambiente de tomada de decisão.

Além disso, em momento de estresse e urgência em que a tomada de decisão deve ser feita, dado o pequeno lapso de tempo para a avaliação, as partes envolvidas podem não traduzir as informações de entrada de maneira extremamente correta, o que limita um sistema binário à entrada de alguma informação, que pode ser bastante divergente da realidade em tela.

Lotfy Zadeh (1965) formaliza a teoria dos conjuntos nebulosos e oferece uma opção alternativa ao tratamento matemático clássico e a teoria de conjuntos de Cantor. Zadeh propõe a introdução de uma matemática capaz de associar por relacionamento, graus de pertencimento de um elemento para diferentes conjuntos.

Dada característica e necessidade de hierarquização de níveis de risco, alternativamente aos métodos propostos, o presente trabalho demonstra a aplicação de lógica nebulosa, tendo como base modelos de formação de índices apresentado por Cosenza (1981) como alternativa para computação de um nível de risco para operações.

2.1- CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS DA AVALIAÇÃO, VARIÁVEIS E NÍVEIS DE IMPORTÂNCIA RELATIVOS

A modelagem exemplo deste trabalho em desenvolvimento está aplicada à fase anterior a decolagem, considerando as variáveis descritas na tabela 1. As descrições e graus de cada uma das variáveis têm como base o estudo anteriormente desenvolvido por Nascimento e Belderrein (2012).

VARIÁVES	ID
PERÍODO E DURAÇÃO PREVISTA PARA O VÔO	V1
EXPERIÊNCIA DOS PILOTOS	V2
TIPO DE TAREFA X CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	V3
DEGRADAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	V4
BINGO	V5
TETO X VISIBILIDADE	V6
LUA X COBERTURA DO CÉU	V7
ESTADO DO MAR	V8
JORNADA DE ATIVIDADE AÉREA	V9

Tabela 1: Variáveis para realização da avaliação

Estas variáveis são componentes de grupos que associam a três características distintas, a saber: humanas, ambientais e relacionadas aos equipamentos, de acordo com a tabela 2:

FATORES HUMANOS	**ID**
PERÍODO E DURAÇÃO PREVISTA PARA O VÔO	V1
EXPERIÊNCIA DOS PILOTOS	V2
JORNADA DE ATIVIDADE AÉREA	V9
FATORES AMBIENTAIS	**ID**
TIPO DE TAREFA X CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	V3
TETO X VISIBILIDADE	V6
LUA X COBERTURA DO CÉU	V7
ESTADO DO MAR	V8
FATORES RELACIONADOS AOS EQUIPAMENTOS	**ID**
DEGRADAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	V4
BINGO	V5

Tabela2: Divisão das Variáveis em Fatores

Os fatores são descritos por grupos de variáveis com escalas apropriadas, associadas em termos de classificação linguística a cada situação do cenário e classificados em níveis de importância relativos entre si na composição de um índice do fator.

FATORES HUMANOS (FH)

V1 - PERÍODO E DURAÇÃO PREVISTA PARA O VÔO:

As atividades realizadas no período noturno são envolvidas de prejuízo quanto ao nível de atenção do ser humano. Associado a isso, a duração do vôo torna a tarefa a ser realizada com potencial de risco em virtude

do efeito de fadiga, comprometendo aspectos cognitivos do operador.

Nível de Importância: ALTA

(1) Adestramento diurno
(2) Vôo Tático diurno
(3) Adestramento noturno
(4) Vôo Tático noturno

V2 - EXPERIÊNCIA DOS PILOTOS:

Pilotos mais experientes tem capacidade de julgamento de situações de exposição ao risco e a capacidade de tomar decisões mais rápidas e apropriadas do que os pilotos de baixa experiência.

Nível de Importância: ALTA

(1) Piloto com 500h a 1000h de vôo no modelo mais de 750h no geral
(2) Piloto com 500h a 1000h de vôo no modelo menos de 750h no geral
(3) Piloto com mais de 1000h de vôo no modelo mais de 1000h no geral
(4) Piloto com menos de 500h de vôo no modelo mais de 500h no geral
(5) Piloto com menos de 500h de vôo no modelo menos de 500h no geral

V9 - JORNADA DE ATIVIDADE AÉREA:

A jornada de atividade aérea é o tempo que o aeronavegante passa engajado nas atividades relativas ao trabalho após o cumprimento do descanso apropriado. Uma jornada maior que doze horas e descanso menor que oito, trará prejuízos em virtude da fadiga, perda da capacidade de atenção, percepção e julgamento.

Nível de Importância: MODERADA

(1) Jornada de atividade aérea menor que 6h e descanso maior que 8h
(2) Jornada de atividade aérea maior que 6h e menor que 12h e descanso maior que 8h
(3) Jornada de atividade aérea menor que 6h e descanso maior que 6h
(4) Jornada de atividade aérea menor que 6h e descanso menor que 6h
(5) Jornada de atividade aérea maior que 6h e menor que 12h e descanso menor que 8h
(6) Jornada de atividade aérea maior que 12h e descanso menor que 8h

FATORES AMBIENTAIS (FA)

V3 - TIPO DE TAREFA X CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS:

As condições meteorológicas são importantes componentes do risco. A condição meteorológica de vôo por instrumentos (IMC – Instrumental Meteorological Conditions) apresenta um aumento na carga de trabalho do piloto em relação a condição meteorológica de vôo visual (VMC – Visual Meteorological Conditions). Associado ao tipo de tarefa, obtemos situações de risco com diversos precedentes conhecidos.

Nível de Importância: MODERADA

(1) Vôo diurno em VMC realizando qualquer tarefa exceto reabastecimento em vôo
(2) Vôo diurno em VMC realizando reabastecimento em vôo
(3) Vôo noturno em VMC realizando qualquer tarefa exceto reabastecimento em vôo
(4) Vôo em IMC realizando esclarecimento
(5) Vôo em IMC realizando qualquer tarefa exceto esclarecimento

V6 - TETO X VISIBILIDADE:

Restrições de visibilidade tornam a navegação visual mais complicada e aumentam o risco de colisões.

Nível de Importância: ALTA

(1) Vôo diurno com teto em 1000 pés e visibilidade de 3 milhas náuticas
(2) Vôo noturno com teto em 1000 pés e visibilidade de 3 milhas náuticas
(3) Vôo diurno com teto em 400 pés e visibilidade de 1 milha náutica
(4) Vôo noturno com teto em 400 pés e visibilidade de 1 milha náutica

(5) Vôo diurno com teto em 200 pés e visibilidade de 0,5 milha náutica
(6) Vôo noturno com teto em 200 pés e visibilidade de 0,5 milha náutica

V7 - LUA X COBERTURA DO CÉU:

A luz da lua é um auxílio aos vôos visuais noturnos. A falta de luminosidade aumenta a possibilidade de colisão com obstáculos. A incidência de nuvens é outro fator que, combinado com a falta de luminosidade, aumenta os riscos da missão.

Nível de Importância: ALTA

(1) Lua cheia/cobertura do céu pouco nublado ou nublado
(2) Lua cheia/cobertura muito nublada
(3) Lua minguante ou crescente/cobertura do céu pouco nublada ou nublada
(4) Lua nova/cobertura do céu pouco nublado ou nublado
(5) Lua nova/cobertura do céu encoberta
(6) Lua cheia/cobertura do céu encoberta
(7) Lua minguante ou crescente/cobertura do céu encoberta
(8) Lua nova/cobertura do céu encoberta

V8 - ESTADO DO MAR:

Grande parte das ocorrências aeronáuticas com helicópteros embarcados ocorre no momento do pouso ou da decolagem. Como o navio é uma plataforma de pouso em movimento, o estado do mar influencia diretamente no risco da missão.

Nível de Importância: ALTA

(1) Vôo diurno com mar calmo (0 a 3 na Escala BEAUFORT)
(2) Vôo noturno com mar calmo (0 a 3 na Escala BEAUFORT)
(3) Vôo diurno com mar moderado (4 a 5 na Escala BEAUFORT)
(4) Vôo noturno com mar moderado (4 a 5 na Escala BEAUFORT)
(5) Vôo diurno com mar agitado (6 ou mais na Escala BEAUFORT)
(6) Vôo noturno com mar agitado (6 ou mais na Escala BEAUFORT)

FATORES RELACIONADOS AOS EQUIPAMENTOS (FRE)

V4– DEGRADAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

Equipamentos de vôo são imprescindíveis para operações seguras com aeronaves. A dependência aumenta em vôos noturnos e sob IMC. Equipamentos de comunicações confiáveis são importantes para o controle da aeronave pelo navio e em aéreas de tráfego aéreo intenso.

Nível de Importância: ALTA

(1) Vôo com todos os equipamentos disponíveis
(2) Vôo em VMC com perda de comunicações
(3) Vôo em VMC com perda de NDB/radar/radar final
(4) Vôo em VMC com perda de indicador rádio altímetro/GPS/Detector automático de direção (ADF)
(5) Vôo em IMC ou à noite sem comunicações
(6) Vôo em IMC à noite com perda de Non-Directional Beacon (NDB)/radar/radar final
(7) Vôo em IMC à noite com perda de indicador rádio altímetro /GPS/ADF

V5 – BINGO:

Distância para terra ou navio de superfície com capacidade de recolhimento do modelo da aeronave. Em caso de pane, quanto mais longe de um local para pouso, maior o risco.

Nível de Importância: BAIXA

(1) Bingo a menos de 30 milhas náuticas
(2) Bingo a mais de 30 e menos de 100 milhas náuticas
(3) Bingo a mais de 100 e menos de 150 milhas náuticas
(4) Bingo a mais de 150 milhas náuticas

2.2- COMPOSIÇÃO DA MODELAGEM EM LÓGICA FUZZY

A modelagem tem como abordagem o estabelecimento de três índices para os respectivos Grupos de Fatores: Humanos

(FH), Ambientais (FA) e Relacionados aos Equipamentos (FRE).

Cada Grupo de Fatores é composto por uma agregação de variáveis onde utiliza-se um peso nebuloso como nível de importância (BAIXA, MÉDIA ou ALTA) e uma matriz associada para cada quantidade de alternativas de descrição das variáveis, como apresentado abaixo.

GRUPO	FATOR	IMPORTÂNCIA	ALTERNATIVAS
FH	V1	ALTA	4
FH	V2	ALTA	5
FH	V9	MODERADA	6
FA	V3	MODERADA	5
FA	V6	ALTA	6
FA	V7	ALTA	8
FA	V8	ALTA	6
FRE	V4	ALTA	7
FRE	V5	BAIXA	4

Tabela 3: Divisão das Variáveis emFatores, Pesos e Quantidade de Alternativas de Resposta

Para os pesos (w) (Matriz 1 e Gráfico 1)

$$\begin{matrix} BAIXA \\ MÉDIA \\ ALTA \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0{,}5 \\ 0 & 0{,}5 & 0{,}5 & 1{,}0 \\ 0{,}5 & 1{,}0 & 1{,}0 & 1{,}0 \end{bmatrix}$$

Matriz 1: Representação Matricial dos Números Nebulosos para três níveis de alternativas

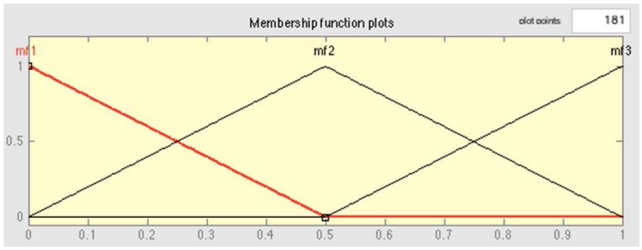


Gráfico 1: Representação Gráfica dos Números Nebulosos para três níveis de alternativas

Para V1 e V5 com 4 alternativas (Matriz 2 e Gráfico 2):

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0{,}33 \\ 0 & 0{,}33 & 0{,}33 & 0{,}66 \\ 0{,}33 & 0{,}66 & 0{,}66 & 1{,}0 \\ 0{,}66 & 1{,}0 & 1{,}0 & 1{,}0 \end{bmatrix}$$

Matriz 2: Representação Matricial dos Números Nebulosos para quatro níveis de alternativas

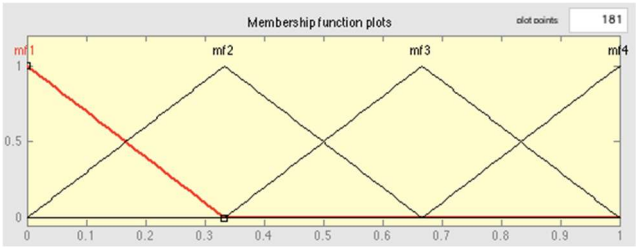


Gráfico 2: Representação Gráfica dos Números Nebulosos para quatro níveis de alternativas

Para V2 e V3 com 5 alternativas (Matriz 3 e Gráfico 3):

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0{,}25 \\ 0 & 0{,}25 & 0{,}25 & 0{,}5 \\ 0{,}25 & 0{,}5 & 0{,}5 & 0{,}75 \\ 0{,}5 & 0{,}75 & 0{,}75 & 1{,}0 \\ 0{,}75 & 1{,}0 & 1{,}0 & 1{,}0 \end{bmatrix}$$

Matriz 3: Representação Matricial dos Números Nebulosos para cinco níveis de alternativas

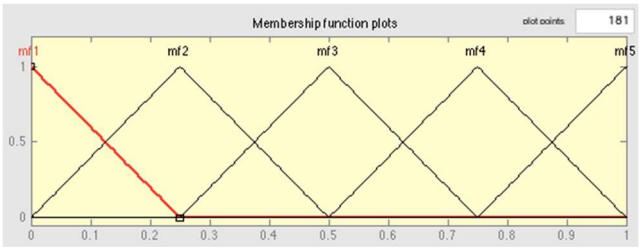


Gráfico 3: Representação Gráfica dos Números Nebulosos para cinco níveis de alternativas

Para V6, V8 e V9 com 6 alternativas (Matriz 4):

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0{,}2 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}4 \\ 0{,}2 & 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}6 \\ 0{,}4 & 0{,}6 & 0{,}6 & 0{,}8 \\ 0{,}6 & 0{,}8 & 0{,}8 & 1{,}0 \\ 0{,}8 & 1{,}0 & 1{,}0 & 1{,}0 \end{bmatrix}$$

Matriz 4: Representação Matricial dos Números Nebulosos para seis níveis de alternativas

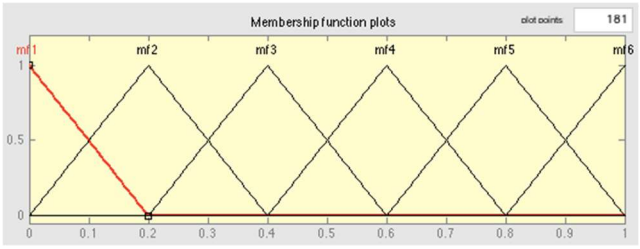


Gráfico 4: Representação Gráfica dos Números Nebulosos para seis níveis de alternativas

Para V4 com 7 alternativas (Matriz 5):

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0{,}16 \\ 0 & 0{,}16 & 0{,}16 & 0{,}33 \\ 0{,}16 & 0{,}33 & 0{,}33 & 0{,}5 \\ 0{,}33 & 0{,}5 & 0{,}5 & 0{,}66 \\ 0{,}5 & 0{,}66 & 0{,}66 & 0{,}83 \\ 0{,}66 & 0{,}83 & 0{,}83 & 1{,}0 \\ 0{,}83 & 1{,}0 & 1{,}0 & 1{,}0 \end{bmatrix}$$

Matriz 5: Representação Matricial dos Números Nebulosos para sete níveis de alternativas

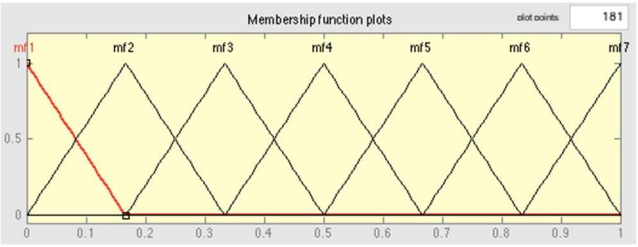


Gráfico 5: Representação Gráfica dos Números Nebulosos para sete níveis de alternativas

Para V7 com 8 alternativas (Matriz 6):

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0{,}14 \\ 0 & 0{,}14 & 0{,}14 & 0{,}28 \\ 0{,}14 & 0{,}28 & 0{,}28 & 0{,}42 \\ 0{,}28 & 0{,}42 & 0{,}42 & 0{,}57 \\ 0{,}42 & 0{,}57 & 0{,}57 & 0{,}71 \\ 0{,}57 & 0{,}71 & 0{,}71 & 0{,}85 \\ 0{,}71 & 0{,}85 & 0{,}85 & 1{,}0 \\ 0{,}85 & 1{,}0 & 1{,}0 & 1{,}0 \end{bmatrix}$$

Matriz 6: Representação Matricial dos Números Nebulosos para oito níveis de alternativas

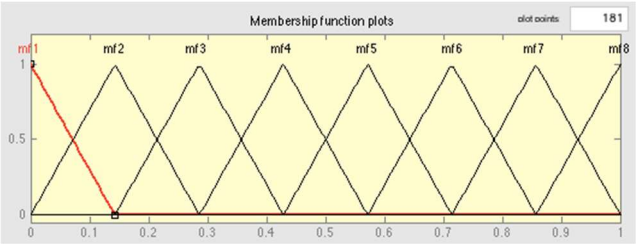


Gráfico 6: Representação Gráfica dos Números Nebulosos para oito níveis de alternativas

Definidas as matrizes para as variáveis, cada matriz passa a receber os pesos através da Matriz 1 conforme Tabela 3. Desta maneira, novas matrizes são formadas a partir da ponderação dos pesos (w) para as alternativas (a) descrevendo as Variáveis (V) como apresentado na Equação 1.

$$\mu(V_i) = \mu(w_i) * \mu(a_i) \qquad (1)$$

Cada Fator *(F)*, então, é composto pela agregação das n variáveis por soma das pertinências dos números fuzzy relativos às alternativas para os grupos de variáveis ponderadas conforme Tabela 3 divididas pela soma dos pesos como apresentado na Equação 2.

$$\mu(F_j) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu(V_i)}{\mu(w_i)} \qquad (2)$$

A pertinência dos Fatores é normalizada através do método MIN-MAX para que a agregação das variáveis componentes do Fator possam ser descritas em forma de um índice de conjuntos nebulosos com variação compreendida e ajustada entre os valores "Zero" e "Um". Para tal, aplica-se a Equação 3.

$$norm\ \mu(F_j) = \frac{\mu(F_j) - MIN\mu(F_j)}{MAX\ \mu(F_j) - MI\quad \mu(F_j)} \qquad (3)$$

O processo final é a defuzzificação para um valor Crisp, no qual o conjunto nebuloso é representado em um valor final entre "Zero" e "Um", comum ponto dentro do intervalo do Índice do Fator desejado. Para tal, utilizou-se o método de Sugeno (1985), também chamado de "Centro de Gravidade", que é obtido pela expressão algébrica clássica abaixo, representada na equação 4.

$$z^* = \frac{\int \mu_C(z) \cdot z dz}{\int \mu_C(z)\, dz} \qquad (4)$$

O sistema de avaliação proposto apresenta 3 Índices associados aos Fatores como forma de apontar aos decisores níveis de risco para cada grupo de fatores. Como opção, a representação pode assumir um gráfico de níveis associados a intervalos nestes indicadores ou interfaces gráficas diversas, facilmente geradas em APIs computacionais. Cabe ressaltar que dado o número de variáveis e alternativas em cada fator, temos diferentes níveis de variação do índice, como apresentado na Tabela 4:

GRUPO	VARIÁVEIS	ALTERNATIVAS
FH	3	120
FA	4	1440
FRE	2	28

Tabela 4: Quantidade de Alternativas de cenários dos Fatores de Risco, gerados pela permutação

O Fator Ambiental, por ser composto por 4 variáveis, cada qual com número elevado de alternativas, tem a permutação de possibilidades de cenários inserindo 1440 possibilidades resultantes destas combinações. O Fator Humano apresenta 120 alternativas de cenários em uma simulação e o Fator Relacionado a Equipamentos, apenas 28.

3. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um primeiro um modelo preditivo para classificar riscos em atividades complexas de transporte aéreo tendo como uma alternativa de mensuração a aplicação de lógica nebulosa. Trata-se de um experimento de modelagem que, embora tenha abordagem por outros métodos, na Lógica Fuzzy encontrou aplicabilidade e utilidade para apoiar a decisão quando, antes do início da decolagem, se tem condições para a avaliação do cenário de incerteza descrito nas condições em que será realizado o vôo, orientado pela visão dos níveis de risco associados aos fatores.

Diversas informações acerca da atividade que está para iniciar são divulgadas, e, muitas das vezes, o decisor não tem uma visão objetiva e clara sob os riscos envolvidos.

Para isto este trabalho utilizou atributos das atividades e os elencou como fatores de risco do processo de avaliação. Tais fatores são mensurados em níveis de risco com o objetivo de serem integrados e apresentar um nível geral de exposição ao risco.

Para a realização da integração, como forma de captar a incerteza nas diferentes entradas, utilizou-se intervalos e funções de pertinências para abordar os conjuntos de variáveis em seus diferentes níveis. Um algoritmo baseado em Lógica Fuzzy foi proposto como um bom candidato para estabelecer correlações de pesos e valores mensuráveis na composição do processo de avaliação para apoio à tomada de decisão (Mora Camino et al., 2016).

Como resultado, apresenta-se uma ferramenta simples e rápida para o cálculo do nível de risco da atividade que está para iniciar, extraída a partir dos fatores de risco da operação que são classificados por suas características como humanos, ambientais ou de equipamentos.

Por último, salienta-se que a presente modelagem pode assumir melhoria com a integração de opiniões de profissionais experientes em avaliação destes tipos de operações, gerando um refinamento posterior do sistema. Estas técnicas envolvem o uso de redes neurais, incorporação de experiência por informantes e algoritmos genéticos como forma de apurar e introduzir a visão de especialistas. Como proposição de continuidade deste estudo, sugere-se a abordagem comparativa da metodologia proposta neste trabalho com outros métodos de forma a estabelecer características quanto ao peso computacional e seus benefícios em um demonstrativo de vantagens e oportunidades.

4. BIBLIOGRAFIA

BELLMAN, R. and ZADEH, L. (1970) Decision making in a fuzzy environment. Manage. Sci., 17, 141 – 164

BLACK, M. “Vagueness. An Exercise in Logical Analysis”.Philosophy of Science 1937 4:4, 427-455.

COSENZA, C. A. N. (1981). An Industrial Location Model.Cambridge, Working paper, Martin Centre for Architectural and Urban Studies Cambridge University.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. DOC 9859-AN/474: safety management manual. 3. ed. Montreal. 2013. 251 p.

MORA-CAMINO, F.; COSENZA, C.A.N.; MOUDANI, W. E.; KRYKHTINE, F. L. P. Introduction to Fuzzy Dual Mathematical Programming. In: Fuzzy Systems and Data Mining 2016, 2016, Macau. Fuzzy Systems and Data Mining II Proceedings of FSDM 2016. Amsterdam: IOS Press, 2016. v. 1. p. 1-637

NASCIMENTO, L.F; BELDERRAIN; M.C.N. Modelomulticritério de apoio à decisão para classificação de risco em operações com aeronaves embarcadas. São José dos Campos. InstitutoTecnológico de Aeronáutica, 2012. 148 f. Dissertação de Mestrado. Engenharia Aeronáutica e Mecânica, área de Produção. São José dos Campos. 2012.

RUSSELL, B.Vagueness, Australasian Journal of Psychology and Philosophy, 1923. 1:2, 84-92.

SUGENO, M. An introductory survey of fuzzy control. Inf. Sci. 1985 , 36, 59 – 83.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. Information and Control, v. 8, n. 3, p. 338–353, jun. 1965.