



Inferência Fuzzy na avaliação qualitativa de probabilidade para cálculo de tempo de exposição aceitável em campanha de retificação do produto aeronáutico

Igor Neves Marques da Silva, Leandro Sette Linhares de Azevedo, Moacyr Machado Cardoso Jr.
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP - Brasil

Resumo — A Segurança Operacional é um conceito extremamente importante na aviação. Ao se identificar uma situação de perigo e consequente risco a operação, deve-se buscar atuar na campanha de retificação do problema identificado. Entretanto, muitas vezes o tempo de duração dessa campanha de correção é definido de forma arbitrária. Fazendo uso da inferência fuzzy, este artigo propõe um método para determinar o tempo de exposição aceitável para campanha de retificação nas situações em que pouca informação quantitativa é disponível. Este método se mostrou viável e bem útil para quantificar as variáveis linguísticas de uma análise qualitativa e definir um tempo de exposição aceitável para a campanha de retificação, podendo ser aplicado tanto para a aviação civil quanto a aviação de defesa.

I. INTRODUÇÃO

Na aviação, um campo extremamente importante é a Segurança Operacional, em que se busca reduzir e manter em níveis aceitáveis (ou abaixo desse) o risco de lesões a pessoas ou danos a bens, utilizando-se, para isto, um processo contínuo de identificação de perigo e gerenciamento dos riscos.

Segundo o anexo 19 da ICAO (Safety Management) e por sua vez o SGSO (Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional) da ANAC, temos como um dos pilares fundamentais do sistema, o processo de gerenciamento dos riscos. Este proporciona a alta direção uma ferramenta para alocação equilibrada de seus recursos, de forma que ela possa priorizar os gastos com aqueles riscos considerados prioritários para as ações de mitigação. Este processo torna-se essencial em qualquer organização, uma vez que esta vive constantemente no dilema gerencial proteção x produção. De um lado, se pensarmos os recursos excessivamente no lado da proteção apenas, obviamente teremos produtos mais seguros, mas iremos na direção da falência da organização com pouca produção. Por outro lado, se pensarmos excessivamente os recursos para o lado da produção apenas, os produtos serão mais inseguros, indo, portanto, na direção da catástrofe.

A Fig.1 mostra exatamente essa relação, em que a organização busca constantemente se manter dentro da área de segurança, através de processo de gerenciamento de risco e gestão financeira. Uma das etapas desse processo de gerenciamento de risco consiste na análise de risco (combinação severidade x probabilidade). Podemos ressaltar que esta combinação segue uma relação inversamente proporcional, em que quanto maior a severidade, menor a probabilidade de ocorrer determinada condição de falha. Cruzando as informações de severidade x probabilidade com uma linha de referência de prazos, é possível estabelecer o tempo de exposição aceitável, isto é, quanto tempo é aceitável conviver com determinado problema para que seja feita a campanha de retificação.

O material guia AMC & GM Part 21 - GM 21.A.3B(d)(4) da EASA auxilia na definição do tempo de exposição aceitável para uma determinada campanha de retificação de um produto aeronáutico. Entretanto, esse guia é altamente dependente de valores quantitativos de probabilidade por hora de voo da condição de falha em questão. A Fig.2 traz um exemplo de uma curva que correlaciona valores quantitativos de probabilidade por hora de voo com tempo de exposição aceitável para uma aeronave individual com vida útil de 60.000 horas de voo.

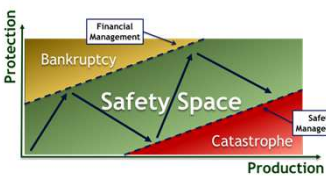


Fig. 1. Dilema gerencial [1].

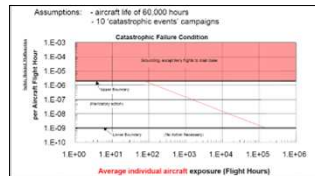


Fig. 2. Gráfico tempo de exposição aceitável [2].

Entretanto, nem sempre é possível obter dados históricos, eventos de campo que propiciem o levantamento de valores de probabilidade quantitativos. Muitas vezes é necessário seguir uma avaliação qualitativa de probabilidade, com variáveis linguísticas acarretando no aumento da incerteza e dificuldade em obter uma convergência nos debates.

Por exemplo, a AC 25.1309 da FAA traz as seguintes definições qualitativas de probabilidade (Fig. 4). Nota-se que essas definições qualitativas possuem uma incerteza linguística (subjetividade) dada pelos termos: "Vários aviões", "várias vezes", "poucas vezes", "mais vezes", etc.

Dada a subjetividade dessas variáveis linguísticas, este artigo tem por objetivo propor um método que permita trabalhar com essa subjetividade buscando quantificar essas variáveis em valores que auxiliem na tomada de decisão. Para isso, é proposto a utilização da inferência fuzzy para encontrar um valor "nítido" a ser usado de probabilidade quantitativa para o cálculo do tempo de exposição aceitável.

II. METODOLOGIA

A inferência fuzzy é um método que quantifica valores com grau de incerteza. Usando a teoria dos conjuntos fuzzy para quantificar uma variável linguística é possível trabalhar com a subjetividade dessas variáveis criando funções de pertinência que auxiliem uma melhor tomada de decisão.

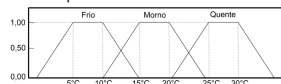


Fig. 3. Exemplo de funções pertinência [11].

Para montarmos o sistema de inferência fuzzy, algumas etapas devem ser seguidas. Primeiro deve-se criar as funções de pertinência baseadas em dados, sejam eles elicitados, dados de histórico ou teóricos. Depois deve-se criar regras de implicação, que vão definir a interação entre as funções de pertinência. Em seguida faz-se a "defuzzificação", obtendo um valor "nítido" utilizando, por exemplo, o método do centroide.

As funções de pertinência podem ser obtidas através de uma elicitación, onde utiliza-se a experiência de especialistas para obter uma faixa de valores para cada variável linguística. Também pode ser obtida por dados extraídos durante a vida da aeronave. A criação das regras faz-se por meio similar à lógica booleana, com o objetivo de integrar as funções de pertinência.

O processo de "defuzzificação" através do método do centroide extrai um valor único de referência do resultado da aplicação das regras nas funções de pertinência, e a partir disso pode ser utilizado no material guia da EASA, para se obter uma melhor tomada de decisão.

III. DESENVOLVIMENTO

Sabendo as definições qualitativas de probabilidade extraídas da AC 25.1309, é possível montar uma matriz de referência, correlacionando as variáveis linguísticas de quantidade de aeronaves com as de frequência dos eventos, conforme a Fig.5.

Para adquirir os dados de entrada das funções de pertinência, foi feita uma elicitación com especialistas, em que eles quantificaram as seguintes variáveis linguísticas.

Quantidade de aviões: "Cada avião da frota", "Vários aviões da frota", "Todos os aviões da frota".

Frequência dos eventos: "Não esperado que ocorra o evento", "Pode ocorrer poucas vezes", "Pode ocorrer várias vezes".

Para criar a função de pertinência de saída, foram utilizadas as faixas de probabilidades obtidas a partir da AC 25.1309 da FAA (Fig. 4).

Nível de Probabilidade	Faixa de Probabilidade (por hora)	Descrição Qualitativa
Probable	$> 10^{-4}$	Esperado que ocorra uma ou mais vezes durante toda a vida operacional de cada avião.
Remote	10^{-4} a 10^{-5}	Improável que ocorra durante a vida total de cada uma das aeronaves, mas que pode ocorrer várias vezes durante a vida operacional total de vários aviões de um tipo.
Extremely Remote	10^{-5} a 10^{-6}	Não esperado que ocorra durante a vida total de cada avião, mas que pode ocorrer umas poucas vezes na vida operacional total de todos aviões de um tipo.
Extremely Improbable	$< 10^{-6}$	Não esperado que ocorra durante toda a vida operacional de todos os aviões de um tipo.

Fig. 4. Faixas de probabilidade [5].

Frequência	Quantidade de aviões de referência		
	Todos aviões da frota	Vários aviões	Cada um avião
Não esperado que ocorra	Extremamente Improável	Extremamente Remoto	Extremamente Remoto
Ocorrer poucas vezes	Extremamente Remoto	Remoto	Provável
Ocorrer várias vezes	Remoto	Remoto	Provável

Fig. 5. Matriz de referência.

Foi utilizado o software R como ferramenta para elaboração e cálculo do sistema de inferência fuzzy. Com as funções de pertinência definidas, são criadas as regras correlacionando essas variáveis de acordo com a matriz de referência da Fig.5.

Com as funções de pertinência definidas e as regras executadas, fazemos a transformação dos valores fuzzy de saída em um valor "nítido", através da "defuzzificação", utilizando o método do centroide.

Para validação do método, foi utilizado como exemplo uma quantidade de aviões de 85% da frota com uma frequência de 15 eventos ao longo da vida operacional da frota, o que gerou um número "crispy" de saída com probabilidade de $10^{6.77}$ (1,7x10⁷).

Cruzando esse valor com o material guia da EASA, obtemos um tempo de exposição aceitável de aproximadamente 900 horas de voo para cada aeronave durante a campanha de retificação.

IV. CONCLUSÃO

O resultado da avaliação de probabilidade é usado para que, ao final, obtenha-se o tempo de exposição aceitável para determinada campanha de retificação de um problema na frota em operação, propiciando a melhor tomada de decisão de assuntos envolvendo aspectos de Segurança Operacional. Este trabalho propõe um método que tem como principal vantagem permitir correlacionar o gráfico de tempo de exposição aceitável de AMC&GM Part 21 da EASA com avaliações de probabilidades (mesmo que qualitativas, com variáveis linguísticas de entrada e saída) em que sem um valor numérico seria inviável. Este método pode ser empregado não apenas para aviação civil, mas também para a aviação de defesa, bastando apenas utilizar os parâmetros de referência da aviação militar como por exemplo aqueles usados na ICA 57-23 ou outro similar conforme proposto pelo EMAR 21 AMC&GM - GM 21.A.3B(d)(4) da agência europeia de defesa [8].

Como próximos desenvolvimentos, pode-se buscar robustecer ainda mais os valores das funções de pertinência de entrada. Neste artigo, foi feita elicitación com 4 especialistas no ramo aeronáutico, entretanto um estudo mais aprofundado pode ser elaborado. Em cada assunto em questão, em que é feita uma análise qualitativa de probabilidade, pode-se discutir quais seriam as funções de pertinência consideradas de entrada. Com a discussão de vários assuntos, poderia ser criada uma base de dados sólida que permitiria a definição das funções de pertinência e seu sistema de inferência fuzzy ainda mais realista.

Por fim, concluímos que a aplicação da inferência fuzzy para determinação de tempo de exposição aceitável durante campanha de retificação é totalmente viável e muito útil no trato da subjetividade de variáveis linguísticas de uma avaliação qualitativa, podendo ser empregada em todo produto aeronáutico, tanto comercial quanto de defesa.

REFERÊNCIAS

- ANAC, Curso de Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), 2016.
- EASA, AMC and GM to Part 21, Issue 2 – Acceptable Means of Compliance and Guidance Material for the airworthiness and environmental certification of aircraft and related products, parts and appliances, as well as for the certification of design and production organizations, 2012.
- FAA, AC 23.1309-1E - System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes, 2011.
- FAA, AC 25.1309-1A - System Design and Analysis, 1988.
- FAA, AC 25.1309 Arsenal draft - System Design and Analysis, 2002.
- FAA, AC 39-8 - Continued Airworthiness Assessments of Powerplant and Auxiliary Power Unit Installations of Transport Category Airplane, 2003.
- ICAO, Annex 19 Second edition - Safety Management, 2016.
- EDA, EMAR 21 AMC & GM – acceptable means of compliance and guidance material for the certification of military aircraft and related products.
- DCTA/IFI, ICA 57-23 Metodologia de Análise de Risco para Aeronaves em Serviço, 2019.
- Chen, C.Y., Liu, B.D. (2003). Linguistic Hedges and Fuzzy Rule Based Systems. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37058-1_8
- Blog 2 Engenheiros, <http://2engenheiros.com/2016/12/17/logica-difusa/>, acessado em 28 de Junho de 2022.