

## **ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE RISCOS NA MANUTENÇÃO AERONÁUTICA USANDO REDES BAYESIANAS: UM ESTUDO DE CASO**

Joel Tzaschel Alves Meira

Bacharelando em Engenharia de Produção – UFF

joel.meira@ge.com

Lucas Cavalcanti Figueiredo

Bacharelando em Engenharia de Produção – UFF

lucas.figueiredo@ge.com

José Cristiano Pereira

Professor Doutor, em Engenharia de Produção – UCP

josec.pereira@ge.com

### **SINOPSE**

Durante o processo de manutenção aeronáutica, motores oriundos de linhas aéreas são desmontados a nível de peça, o que resulta em milhares de componentes que devem ser limpos, inspecionados, reparados e remontados no motor de origem. Considerando que uma grande quantidade de motores de diferentes clientes é processada simultaneamente e que as peças passam por diversos processos específicos e de alta complexidade, as consequências de uma possível falha existem. O estudo busca demonstrar a aplicação de redes bayesianas na análise dos riscos presentes em todos os processos que fazem parte da manutenção aeronáutica. Como abordagem metodológica, o processo de manutenção foi mapeado, a base de riscos disponível foi avaliada e os riscos identificados foram distribuídos em diferentes etapas do processo de manutenção. Para isto utilizou-se um software específico de análise probabilística de redes bayesianas. Utilizando este software, foi possível combinar riscos levantados por diferentes ferramentas de coleta/análise (PFMEA, Análises Sistêmicas Preditivas e Relatos Voluntários), conectar os mesmos às diferentes etapas da operação, realizar análises de sensibilidade, identificar quais atividades dentro dos diversos processos têm um maior impacto durante as atividades de manutenção e estimar a probabilidade global de falha durante o processo de revisão, o que permite identificar quais riscos poderiam gerar os maiores custos, a fim de priorizá-los e alocar recursos para a solução dos mesmos. Os benefícios da técnica são evidentes e têm implicações práticas para especialistas que lidam com a identificação de fatores de riscos e análise quantitativa dos mesmos.

### **1. INTRODUÇÃO**

À medida que a tecnologia avança durante os anos, sua complexidade aumenta em um ritmo semelhante. Esses avanços trazem novas fronteiras de desempenho, eficiência e sustentabilidade e, com isso, novos riscos são identificados na produção dessas tecnologias. O sistema de transporte aéreo é reconhecido como uma das áreas que mais crescem no setor de transporte, dentro desse crescimento temos novas aeronaves e, consequentemente, novas turbinas [1].

Diferentemente de grande parte dos setores produtivos, o setor de manutenção de motores aeronáuticos tem uma responsabilidade ainda maior de identificar e mitigar esses riscos, já que uma falha no motor em meio durante um voo apresenta uma grande chance de perda de vidas. Essa realidade faz com que seja essencial o monitoramento e identificação de riscos durante a manutenção de um motor aeronáutico, assim como a priorização dos mesmos.

Para análise de riscos operacionais no SGSO são utilizadas variadas ferramentas, tais como: Process of Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA), Análises Sistêmicas Preditivas e Relatos Voluntários. Devido ao elevado número de riscos apontados no sistema, a priorização dos riscos torna-se essencial e complexa.

Este estudo se propõe a responder 2 perguntas de pesquisa muito importantes que são:

- 1- Como combinar riscos gerados pelo PFMEA, Análises Sistêmicas Preditivas e RV em um único modelo para estimar a pontuação de risco global da operação de manutenção de motores aeronáuticos?
- 2- Como utilizar redes bayesianas para auxiliar na priorização da tomada de ações referentes aos riscos que afetam esse tipo de operação?

Este estudo de caso apresenta um método que permite combinar riscos gerados de diferentes fontes visando e prioriza-los para auxílio na tomada de decisão.

## 2. DESCRIÇÃO

### 2.1 Redes Bayesianas

As redes bayesianas são uma forma de modelo gráfico probabilístico, onde os “nós” representam variáveis aleatórias e as ligações representam relações de dependência entre as variáveis [2].

Cada nó está associado a uma função de probabilidade que recebe, como entrada, um conjunto específico de valores para as variáveis “pai” do nó e fornece a probabilidade ou distribuição de probabilidade, se aplicável, da variável representada pelo nó. Nós que não estão conectados representam variáveis que são condicionalmente independentes entre si. A rede bayesiana pode ser considerada um mecanismo para aplicar automaticamente o teorema de Bayes  $P(A|B) = (P(B | A) * P(A)) / (P(B))$ , onde  $P(A|B)$  e  $P(B|A)$  são probabilidades condicionais: a probabilidade de um evento ocorrer, uma vez que o outro é verdadeiro e  $P(A)$  e  $P(B)$  são as probabilidades de observar A e B independentemente um do outro, também conhecido como probabilidade marginal.

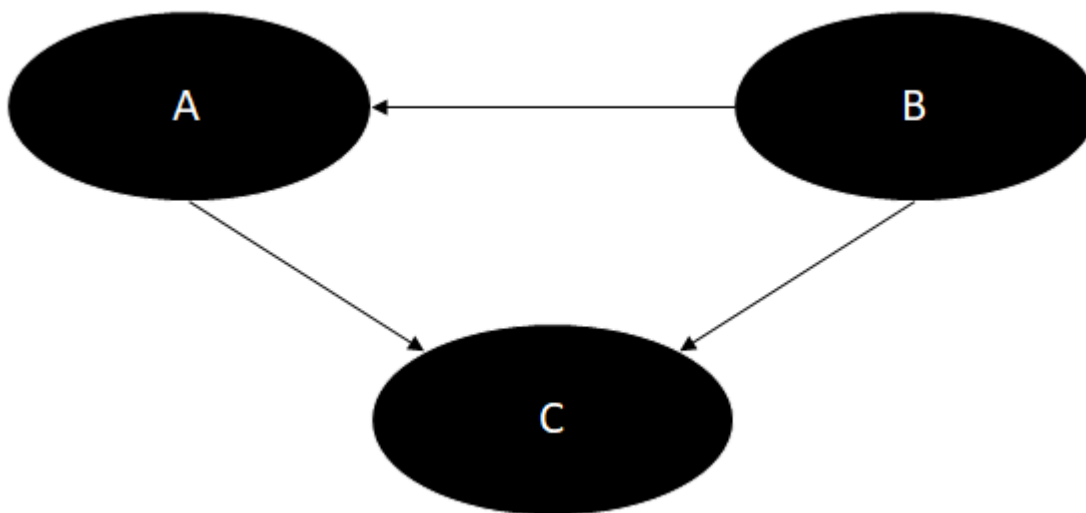


Figura 1 – Exemplo de Rede Bayesiana

Na Figura 1 é explicitado um exemplo hipotético de rede bayesiana, onde o Nó B influencia a ocorrência do nó A e os dois influenciam o nó C. Essa situação pode ser modelada com uma rede bayesiana, onde cada variável possui dois valores possíveis, V (para verdadeiro) e F (para falso). A função de probabilidade conjunta é:  $P(A,B,C) = P(C | A,B) * P(A | B) * P(B)$ , onde  $P(C | A,B)$  representa a probabilidade do evento C acontecer dado que os eventos A e B são verdadeiros ou falsos.

### 2.2 Análise de Riscos na Aviação

Uma avaliação de risco probabilístico corretamente aplicada e adequada aos processos realizados dentro de um respectivo negócio, pode ser a base para a tomada de decisão [3]. Um modelo causal para a segurança da

aviação deve ser desenvolvido e aplicado para avaliar o risco e avaliar o efeito das alterações operacionais e gerenciais (decisões, medidas etc.) sobre o nível de segurança.[4]

### 2.3 Ferramentas de análise de risco

As ferramentas utilizadas pela empresa estudada para análise e priorização de riscos foram: PFMEA, Análises Sistêmicas Preditivas e Reportes Voluntários. Juntos, essas três ferramentas compõem o sistema de SGSO

PFMEA é uma sigla em inglês para a expressão Análise de Modo e Efeitos de Falha de um processo, sua função é identificar possíveis falhas, avaliar causas e efeitos dessas falhas e propor soluções para evitar essas falhas em potencial, com o objetivo final é um produto sem falhas no processo de produção.

o tema PFMEA tem sido discutido significativamente na literatura e, principalmente, destaca-se uma característica comum: quando o método da PFMEA é realizado de forma adequada, resulta em uma quantidade significativa de peças informações e conhecimento sobre os processos de uma organização e, portanto, é uma fonte valiosa que pode fornecer suporte técnico à detecção antecipada de pontos fracos em um design de processo, redução de custos ao longo do ciclo de vida do produto e níveis mais baixos de modificações durante a produção[5].

A Análise Sistêmica Preditiva é uma abordagem investigativa direcionada para identificar riscos em um site. revisar as operações normais do dia-a-dia, concentrando-se na cultura do local, no gerenciamento de mudanças e nas operações, descobrindo áreas de alto risco e mitigando esses riscos, eliminando futuros problemas de qualidade.

Reportes Voluntários representam a participação ativa dos funcionários na identificação de riscos, através de estações físicas ou virtuais, o funcionário pode reportar riscos operacionais identificados dentro da empresa. Esses riscos são então analisados e encaminhados aos responsáveis pelas ações de mitigação.

### 2.4 Analytical Hierarchy Process – AHP

Como contribuição para o desenvolvimento deste estudo foi validada a utilização da metodologia AHP e a identificação de novas metodologias que associadas contribuam para a redução da subjetividade das análises realizadas além de destacar que no contexto da decisão ambiental, os modelos multicritérios desempenham um papel importante. As decisões ambientais são muitas vezes complexas e se baseiam em bases de conhecimento multidisciplinar que incorporam ciências sociais físicas, físicas, políticas e éticas [6].

Este estudo apresenta a contribuição para o processo de identificação dos fatores de risco, assim como a apresentação detalhada do processo de aplicação da metodologia AHP, a adaptação da matriz de pesos de Saaty e a validação da consistência das respostas dos especialistas.

## 3. METODOLOGIA

Realizou-se um estudo de caso em uma empresa de manutenção de motores aeronáuticos na qual se utilizou uma combinação das pesquisas quantitativas e qualitativas. A partir da pesquisa qualitativa realizada com especialistas, e observações, foi possível desenvolver o método. Já a partir da pesquisa quantitativa, através da coleta de dados numéricos, foi possível quantificar o problema por meio destes.

Quanto ao método utilizado na pesquisa, foi um estudo de caso, uma vez que envolve o estudo profundo a fim de um detalhado conhecimento. De acordo com [7], existem muitos desafios no estudo de caso, pois consome muito tempo, necessita de pesquisadores habilidosos e tem que ter muito cuidado na generalização, porém os resultados têm forte impacto e podem levar a novas percepções. Existem três tipos de estudo de caso, que variam de acordo com os objetivos: exploratório, explanatório e descritivo [8].

Para a coleta de dados foram utilizados os três princípios [8], onde o primeiro princípio é utilizar várias fontes de evidências, o segundo princípio é a criação de um banco de dados para o estudo de caso e o terceiro princípio é manter o encadeamento das evidências.

Neste caso, primeiramente foi utilizado uma entrevista, que funcionou como ponto chave, baseando-se em conceitos primordiais para uma melhor análise. A observação foi outra técnica importante, que tornou possível

uma identificação de forma mais minuciosa dos processos e características da empresa. A parte documental do trabalho foi feita através de interpretações das informações e documentos disponibilizados pela empresa.

#### 4. RESULTADOS

No estudo de caso os processos referentes a cada modelo de motor foram mapeados em conjunto com especialistas na área acarretando em 21 macroprocessos, cada um desses processos foi ramificado em subprocesso referentes a cada parte do motor, em seguida foi extraído de um banco de dados 291 riscos referentes aos processos, e identificados um a um em conjunto com um especialista qual era o processo e subprocesso afetado por cada risco, em seguida, usando o software Agenarisk foi criada uma rede estruturando os processos e apontando nesses os riscos, para a probabilidade foi utilizado o produto da severidade probabilidade e detectabilidade, cada um desses itens possui uma nota de 1 a 10, sendo 1 desejável e 10 crítico, os riscos com valor do produto, aqui chamado de RPN (Risk Priority Number), acima de 100 foram apontados na rede, os de valor menor que 100 foram desconsiderados dado o grande volume de informações, o valor do RPN então possui uma escala de 1 a 1000 e só foram utilizados os acima de 100, esse valor dividido por 1000 foi a probabilidade usada na rede, com a rede estruturada e os riscos apontados pode se observar que ao fazer a análise de sensibilidade a rede apontava sempre o maior valor, isso ocorreu devido aos processos estarem sendo trabalhados de forma paralela e independente, para solucionar isso foi criada uma matriz usando AHP para priorização dos processos, e definição de quais relações seriam criadas entre processos, dando uma nota de 1,3,5,7 ou 9, como na tabela 1.

Importância	Definição
1	Não é afetado pelo processo acima
3	Pode ser impactado caso ocorra falha no processo acima
5	É impactado caso ocorra falha no processo acima
7	É muito impactado caso ocorra falha no processo acima
9	Irà falhar em caso de falha no processo acima

Tabela 1 – Matriz de Níveis de importância.

Com a ajuda de especialistas foram definidos pesos para cada item da tabela e a partir dessa matriz a rede foi reestruturada ligando os processos aos processos subsequentes o qual estes afetam, dando um peso se 0.3 0.5 0.7 ou 1 de acordo com os valores presentes na tabela de AHP. A partir dos valores determinados na AHP foram criadas ligações entre os nós da rede representando os valores da tabela. Com a rede estruturada como demonstrado na figura 2.

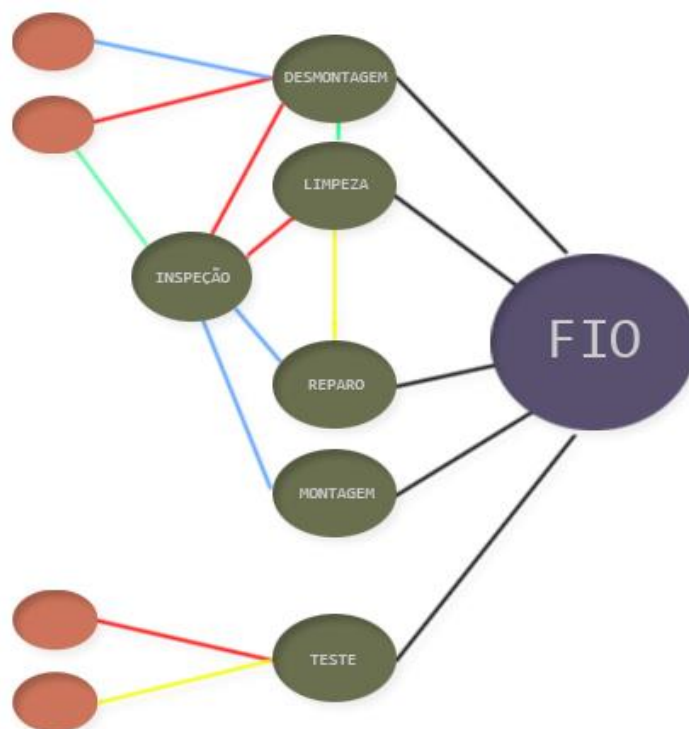


Figura 2 - Esquema demonstrativo da rede bayesiana estruturada.

As cores das ligações desta figura representam as relações entre os eventos e a combinação de todos os eventos no lado direito é o que corresponde ao valor total do risco na operação segundo a escala de utilizada, de 0 a 1000, este item foi chamado de FIO “Failure in Operation”. A partir disso foi possível realizar análises de sensibilidade na rede para determinar qual dos processos mais impactava para a falha na operação e em seguida qual dos riscos mais contribuiu para a probabilidade na falha deste processo.

## 5. CONCLUSÃO

Em resposta a primeira pergunta este artigo apresenta um método para combinar AHP com redes bayesianas para o auxílio na priorização de riscos vindos de diversas fontes.

E em resposta a segunda pergunta este artigo demonstra como estruturar a rede de forma que esta possa ser utilizada para auxiliar a tomada de decisão em cima dos riscos afetando a operação.

O modelo proposto pode servir de referência na criação de modelos para a tomada de decisões em situações de alta complexidade onde existam múltiplas frentes para tomada de ações com um numero limitado e controlado de recursos, tanto em industrias quanto em outros setores

O estudo serve também para engenheiros e gerentes de segurança e operações que precisam priorizar a tomada de ações em cima de riscos críticos a operação na qual são responsáveis

## 6. REFERENCIAS:

[1] NETJASOV, Fedja; JANIC, Milan. A review of research on risk and safety modelling in civil aviation. Journal of Air Transport Management, v. 14, n. 4, p. 213-220, 2008.

[2] GRÊT-REGAMEY, Adrienne; STRAUB, D. Spatially explicit avalanche risk assessment linking Bayesian networks to a GIS. 2006.

[3] ALE, B.J.M. Risk Assessment practices in the Netherlands. Safety Science, v.40, p.105-126, 2002.

- [4] PEREIRA, J. C. Modelo causal para análise probabilística de risco de falhas de motores a jato em situação operacional de fabricação. 2017.
- [5] MIKOSA, W.L., & Ferreira, J.C. Knowledge Sharing and Reuse in Potential Failure Mode and Effects Analysis in the Manufacturing and Assembly Processes (PFMEA) (2007)
- [6] HUANG, I.B., Keisler, J., Linkov, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences (2011)
- [7] VOSS, C.A., Tsikriktsis, N., & Frohlich, M. Case research in operations management (2002).
- [8] Yin, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos (2010).