

EXPLORANDO A PERCEÇÃO DE RISCO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS COM A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS MULTIVARIADOS

Moacyr Machado Cardoso Jr ¹

Eliseu Zednik Ferreira²

Rodrigo Arnaldo Scarpel ³

Artigo submetido em 07/12/2010.

Aceito para publicação em 28/03/2011.

RESUMO : Este trabalho tem como objetivo principal a avaliação da percepção do risco potencial nas operações aeronáuticas considerando nove dimensões significativas em estudos de percepção: voluntariedade, tempo para manifestação, conhecimento do risco pelo exposto e pela ciência, controlabilidade, novo-antigo, crônico-catastrófico, comum-temido e severidade de suas consequências. O trabalho associa o paradigma psicométrico do risco e as ferramentas de visualização de dados com a finalidade da elaboração do constructo da percepção do risco. A abordagem metodológica é a da pesquisa exploratória, com experimentação por meio da aplicação de questionários fechados a um grupo de pilotos militares iniciantes e outro com experiência na área operacional, não especialistas em segurança, incluindo quesitos atinentes a realidade dos últimos acidentes aeronáuticos ocorridos principalmente no Brasil. Para a análise dos dados, foram utilizadas técnicas de análise da forma, com a utilização do método Procrustes e o escalonamento multidimensional – MDS, com o propósito de reduzir as dimensões de forma a possibilitar a visualização dos dados, e definir regiões, em especial, para o efeito da amplificação do risco e de banalização do risco. Como conclusão deste trabalho, verifica-se que o paradigma psicométrico, em associação com técnicas de visualização de dados, possibilitou a construção do mapa perceptual do risco de acidentes aeronáuticos na visão dos pilotos avaliados, o que contribui para o entendimento da diferença entre o risco real e percebido, facilitando a adoção de medidas de gerenciamento e de comunicação do risco.

Palavras Chave: Acidente Aeronáutico. Escalonamento Multidimensional. Percepção. Procrustes. Risco.

¹ Engenheiro de Segurança do Trabalho com mestrado em Gerenciamento de Riscos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Atualmente chefia a Divisão de Segurança do Trabalho do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA e é aluno de Doutorado do Programa de Engenharia Mecânica Aeronáutica, área Produção moacyr@ita.br

² Bacharel em Ciências Aeronáuticas pela Academia da Força Aérea (2001). Atualmente é mestrando no Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA no Programa de Pós-Graduação em Aplicações Operacionais - PPGAO e é militar da ativa do Comando da Aeronáutica - COMAER, atuando principalmente em AMD - Apoio Multicritério à Decisão. zednikff@ita.br

³ Graduado em engenharia de produção pela Univesidade Federal de São Carlos (UFScar), mestre e doutor na área de produção pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atualmente é professor adjunto do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. rodrigo@ita.br

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de percepção do risco são importantes, pois evidenciam a separação entre o risco real e o percebido.

O mapa perceptual do risco representa em duas dimensões alguns fatores como principais causadores de riscos para operação aérea (incidentes e acidentes aéreos) identificados pelos pilotos. A análise do mapa contribui para conhecer o processo de gerenciamento de riscos ao identificar distorções entre o julgamento do piloto, doravante designado por julgador, e os dados constantes das estatísticas oficiais.

Essas diferenças permitem o planejamento de campanhas, treinamentos e comunicação dos riscos potenciais deste contexto percebido.

O objetivo deste trabalho é construir um mapa perceptual do risco com base na visão de pilotos com experiência e comparar com a de pilotos iniciantes, para identificar quais são estes fatores mais preocupantes. Segundo o paradigma psicométrico, o mapa será representado por dois eixos:

- Eixo do Temor-Comum: são fatores percebidos como geradores de um grande temor e, às vezes, percebidos como de maior risco do que realmente as estatísticas apontam e como aqueles que são considerados comuns e, portanto banalizados; e
- Eixo do Novo-Conhecido: representando riscos novos e, portanto, mais temidos em oposição aos riscos conhecidos, que por fazerem parte do dia a dia são também banalizados.

Para a obtenção do mapa perceptual dos riscos dos grupos, e para compará-los, utilizaram-se ferramentas de análise multivariada, tais como a estatística da forma, análise Procrustes e a redução de dimensões com o Escalonamento Multidimensional.

A principal contribuição deste trabalho é a utilização da ferramenta de análise da forma para estudo de dados ordinais obtidos a partir de questionários fechados, permitindo, desta forma, representar percepções de diferentes

juízos individuais e de grupos, analisando mais profundamente os consensos obtidos desta amostra de julgadores. O estudo da percepção do risco por meio do paradigma psicométrico de acidentes aeronáuticos é inédito, e pode contribuir para o desenvolvimento de uma nova linha de pesquisas.

O presente trabalho está organizado em seis seções, sendo a primeira esta breve introdução; a segunda retrata os aspectos primordiais da percepção do risco e da utilização do paradigma psicométrico; a terceira apresenta as estatísticas oficiais sobre causas e fatores relacionados aos acidentes aeronáuticos; a quarta descreve o método utilizado neste trabalho, o questionário aplicado, as ferramentas de análise; na quinta seção os resultados obtidos; e finalmente a sexta e última seção com as considerações finais.

2 PERCEPÇÃO DO RISCO E O PARADIGMA PSICOMÉTRICO

A percepção do risco é uma avaliação subjetiva da probabilidade de ocorrência de um tipo de acidente e de que forma as pessoas estão preocupadas com suas consequências. (SJOBORG; BJORG-ELIN; RUNDMO, 2004).

Dois teorias distintas dominam as pesquisas de percepção do risco, o paradigma psicométrico que está calcado nos conhecimentos das disciplinas de psicologia e ciência da decisão, e a teoria cultural desenvolvida por sociólogos e antropólogos. O paradigma psicométrico assume que o risco é subjetivo e que o mesmo depende do pensamento e da cultura das pessoas (SLOVIC, 1992).

A estratégia mais usual para o estudo da percepção do risco emprega o paradigma psicométrico, segundo Sjoborg, Bjorg-Elin e Rundmo (2004), e usa escalas psicofísicas e técnicas de análise multivariada para produzir representações quantitativas, ou também conhecidas como mapas cognitivos de atitudes e percepções. No contexto do paradigma psicométrico, as pessoas fazem juízos acerca do risco atual e desejado de diversos perigos e nível desejado de regulamentação de cada um dos riscos. Estes juízos são então relacionados a juízos acerca de outras propriedades, tais como:

voluntariedade, temor, conhecimento, controle, benefícios para a sociedade, número de mortes ocorridas em um ano, número de mortes em decorrência de um ano desastroso. (SLOVIC, 1987 e 2001).

Vários autores identificaram os fatores comportamentais que afetam a percepção do risco. Alguns fatores descritos são: risco natural ou antropogênico; voluntariedade; se gera medo; se é familiar ou novo; se podem gerar efeitos crônicos, (i.e. “os danos são pequenos, mas constantes em contraste com efeitos catastróficos, muitas mortes instantaneamente”), se a pessoa tem controle sobre os mesmos; ou ainda situações memoráveis, devido a experiências pessoais, familiares, ou situações muito divulgadas na mídia. (McCRARY; BAUMGARTEN, 2004).

Segundo Sojberg, Bjorg-Elin e Rundmo (2004), o trabalho de Fischhoff, Slovic, Lichtenstein, Read e Combs (1978), reproduzido em Slovic (2001) foi um marco da teoria psicométrica. Os autores compilaram nove dimensões da literatura referente a estudos de percepção. A primeira refere-se à exposição do risco ser voluntário ou involuntário; a segunda referente ao imediatismo ou não das consequências; a terceira avalia a extensão na qual o risco é conhecido pela pessoa que está exposta; a quarta refere-se ao potencial crônico ou catastrófico do risco, isto é, crônicos são aqueles riscos que causam danos (mortes) pequenos no tempo, e catastróficos causam muitos danos (mortes) instantaneamente. A quinta dimensão envolve decidir se o risco é comum, já assimilado pelas pessoas ou se causa um temor muito grande. A sexta dimensão refere-se à severidade das consequências impostas pelo risco; a sétima, a extensão na qual o risco é conhecido pela ciência; a oitava avalia o nível de controle da pessoa sobre o risco; e a última avalia se o risco é novo para a sociedade, ou não.

Várias pesquisas foram realizadas sobre um grande número de atividades (fumar, uso de corantes em alimentos, energia nuclear, cirurgias, veículos, esqui, dentre outros) nas nove dimensões descritas. Os dados foram submetidos à análise

fatorial, e os autores identificaram dois fatores principais que explicam a maior parte da variância dos dados, que são: Temor e Novidade do Risco.

McDaniels *et al* (1995) citado por Sjoberg, Bjorg-Elin e Rundmo (2004) definiram o paradigma psicométrico como uma aproximação na identificação das características que influenciam a percepção do risco. A aproximação assume que o risco é multidimensional, com muitas outras características além do julgamento individual da probabilidade de causar danos à saúde ou à vida. A aplicação do método em estudos de percepção do risco à saúde humana inclui: desenvolver uma lista de perigos baseada em eventos, tecnologias e práticas que incluam um largo espectro dos perigos potenciais; desenvolver um número de escalas psicométricas que reflitam características dos riscos que são importantes para mapear a percepção humana em resposta aos riscos; solicitar aos julgadores para avaliar cada item da lista de perigos em cada uma das nove dimensões; e utilizar métodos de estatística multivariada para identificar e interpretar um conjunto de fatores latentes que captam as variações das respostas dos indivíduos e do grupo.

Sjoberg, (2000 e 2002) e Marris, Langford e O'Riordan (1998), citam que algumas análises levam em consideração até 18 dimensões, mas que usualmente 80% da variância é explicada por até três dimensões pela análise fatorial, e que os fatores que mais têm sido reportado em estudos de percepção são Novo-Antigo, Temido-Comum e Número de expostos. Sjoberg, (2000 e 2002) também apresenta algumas críticas ao paradigma psicométrico no que se refere ao pequeno número de dimensões avaliadas (9 a 18), e ao fato de não incluir uma dimensão importante que é referente ao risco ser natural ou não, e, finalmente, que as análises são baseadas em médias e não em todos os dados colhidos.

Apesar dessas críticas, o paradigma psicométrico tornou-se a maior referência aos estudos de percepção do risco, e Sjoberg, Bjorg-Elin e Rundmo (2004) cita os motivos para tal: Modelo simples produz respostas politicamente desejáveis, proporciona uma explicação adequada e permite que os dados sejam reproduzidos.

3 FATORES CAUSAIS DE ACIDENTES AERONÁUTICOS

Segundo o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos - CENIPA (BRASIL, 2009) -, os principais fatores contribuintes dos acidentes da aviação civil no Brasil no período compreendido entre 1999 e 2008 foram: Julgamento com 47,3%, Supervisão, 43,2%, Aspectos Psicológicos, 39,7%, Planejamento, 37,2%, Indisciplina de Voo, 22,8%, Aplicação de Comandos, 21,1%, Manutenção, 18,7%, Instrução, 16,8% e Pouca Experiência de Voo, 16,5%.

O CENIPA divulgou ainda no mesmo relatório as contribuições em porcentagens referentes aos tipos de ocorrência, em que se destaca falha de motor em voo com 28,9%, colisão em voo com obstáculo, 24,4% e perda de controle em voo, 15,3%.

O *National Transportation Safety Board* – NTSB divulga estatísticas de causas de acidentes determinados por fases de voo e de acordo com alguns procedimentos de operação. Assim, 26% dos acidentes ocorrem na fase de manobras, 26% durante fase de cruzeiro, 16% durante a aproximação e 15% na decolagem. Os fatores contribuintes de maior relevância foram: Piloto com 90%, condições meteorológicas com 29%, iluminação com 12%, e controle de propulsão com 14%, observando que ocorre sobreposição de fatores, e, portanto soma dos fatores é maior do que 100%. (NTSB, 2001)

Segundo *PlaneCrashInfo* (2010), uma análise de 1.843 acidentes aéreos ocorridos entre 1950 até 2006 determinou as seguintes causas e percentuais: erro do piloto representa 53%; Falhas estruturais 21%; Clima/tempo 11%; outros erros humanos (erro do controle de tráfego aéreo, imperícia no carregamento, imperícia na manutenção, contaminação de combustível, erro de comunicação, dentre outros) 8%; sabotagem (bombas, sequestros, abatimentos) 6% e outras causas 1%, excluindo as ocorrências militares, voos privados e voos charters.

A Companhia *Boeing* (2010) determinou as causas principais dos acidentes com perda total de aviões comerciais, desde 1958 até 2008, como sendo: erro da

tripulação 55%; Aeronave 17%; Clima/tempo 13%; Outros 7%; Controle de tráfego aéreo 5%; e Manutenção 3%.

O estudo da *Boeing* incluiu 183 acidentes, com causas conhecidas para 134 deles. Nos 49 restantes as causas são desconhecidas ou estão em fase final de determinação.

Resumindo algumas causas de acidentes aéreos comuns incluem: Erro do piloto; Más condições climáticas; Falha dos motores; Colisão em voo; Manutenção negligente; Falha de instrumentos; Granizo; Erro do controle de tráfego; Imperícia no carregamento; Equipamento *onboard* com defeito; e Explosão do tanque de combustível.

4 MATERIAL E MÉTODO

Neste trabalho aplicou-se um questionário baseado no paradigma psicométrico. No questionário foram relacionados 30 objetos, divididos em três conjuntos distintos:

- Hardware: motor, tanque de combustível, instrumentos, vazamento, manutenção, pneu, equipamentos *onboard* e trem de pouso;
- Fatores Operacionais: facilidades do aeroporto, colisão, controle de propulsão, incêndio, manutenção, controle de tráfego, pouso e decolagem, cruzeiro, manobras, controle de voo, condições de pista, instrução de voo; condições ambientais: granizo, aves e pássaros, vento e iluminação,
- Fatores Humanos: julgamento, supervisão, planejamento, indisciplina, experiência de voo, aspecto psicológico, fatores causais mais usuais conforme relatado por CENIPA (BRASIL, 2009) e NTSB (2001).

Para cada objeto, os julgadores tiveram que atribuir notas em uma escala tipo *Likert* de 1 a 7 em nove dimensões, conforme Figura 1.

Os questionários fornecidos aos julgadores continham os objetos de pesquisa ordenados de forma aleatória, visando eliminar qualquer possibilidade de erro sistêmico de coleta dos dados.

Aos julgadores somente foram fornecidas instruções sobre o preenchimento, utilização da escala de *Likert*, sem nenhuma explicação sobre o significado de cada objeto. O questionário foi aplicado em 5 pilotos militares experientes e 5 aspirantes, doravante denominados de não experientes.

| Dimensões | Escala | | | | | | |
|---|---------------|---|---|---------------|---|---|---|
| Voluntariedade do risco. As pessoas "tomam" este risco voluntariamente | Voluntário | | | Involuntário | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Tempo para Efeito. Em que extensão existe risco de morte imediata ou o risco de morte é tardio. | Imediato | | | Tardio | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Conhecimento do Risco. - Exposto Em que grau o risco é conhecido pelas pessoas que estão expostas a ele. | Conhecido | | | Não conhecido | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Conhecimento do Risco. - Ciência Em que grau o risco é conhecido pela ciência. | Conhecido | | | Não conhecido | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Controle sobre o Risco. Se você está exposto ao risco, em que grau você pode, devido suas habilidades, evitar a morte enquanto está engajado na atividade | Incontrolável | | | Controlável | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Novo. Este risco é novo ou antigo, familiar | Novo | | | Antigo | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Crônico-Catastrófico. Este risco mata uma pessoa por vez (crônico) ou o risco mata um grande número de pessoas de uma única vez (catastrófico) | Crônico | | | Catastrófico | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Comum-Temido. As pessoas aprenderam a conviver com este risco e podem decidir tranquilamente sobre o mesmo, ou é um risco para o qual as pessoas apresentam um grande temor | Comum | | | Temor | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Severidade das Consequências. Qual a probabilidade de que a consequência deste risco seja fatal. | Não é Fatal | | | Fatal | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

FIGURA 1. Dimensões da percepção do risco e respectivas escalas tipo Likert.

4.1 Alinhamento dos Questionários

A análise dos resultados oriundos dos questionários aplicados foi realizada com uma ferramenta da estatística da forma, Análise Procrustes Generalizada - GPA. Brombin e Salmaso (2009) definem o termo forma associando com as propriedades geométricas de uma configuração de pontos que são invariantes a mudanças de translação, rotação e escala. Para esses autores, a análise direta de um conjunto de pontos não é conveniente devido à presença de erros sistêmicos tais como posição, orientação e tamanho, e usualmente para que se possa conduzir uma análise estatística da forma confiável o GPA é utilizado para eliminar os fatores não relativos à forma e para alinhar as configurações para um sistema de coordenadas comum (BROMBIN; SALMASO, 2009).

Stegmann e Gomez (2010) complementam que forma é toda informação geométrica que permanece quando os efeitos de posição, escala e rotação são filtrados dos objetos. Os autores citam a utilização da média Procrustes ou média Fréchet como ideal para analisar um conjunto de configurações com pontos homólogos.

O GPA é uma técnica estatística multivariada empírica na qual três dimensões estão envolvidas: os objetos de estudo, as pessoas que avaliam os objetos e os atributos nos quais os objetos são avaliados. No caso deste estudo, os p atributos, com ($p=1,\dots,9$), representados pelas dimensões da percepção do risco, medidos sobre n objetos, com ($n=1,\dots,30$), que neste caso são os fatores causais e m , com ($m=1,\dots,10$), julgadores representados pelos pilotos. O GPA é um método ideal para analisar dados oriundos de diferentes indivíduos (DIJKSTERHUIS; GOWER, 2010).

Suponha que existam m ($n \times p$) configurações X_1, \dots, X_m e que cada i -ésima linha de X_j ($j=1,\dots,m$) contém as coordenadas $P_i(j)$ no espaço Euclidiano p -dimensional, por exemplo os escores dos atributos de um produto i ($i=1,\dots,n$) pelo avaliador j . Naturalmente considera-se que as m configurações contêm informações sobre os mesmos n objetos nos mesmos p atributos. O objetivo do GPA é

determinar em que extensão as m configurações são concordantes. Esse problema segundo Rodrigue (1999) pode ser descrito como a medida da similaridade entre as m configurações, ou confiabilidade interjulgador.

Do ponto de vista matemático, o ajuste de configurações pode ser obtido utilizando transformações específicas, e para resolver o problema é necessário determinar o tipo de transformação a fim de obter uma configuração de consenso. A segunda questão é o critério para avaliar a qualidade do ajuste obtido a partir das m configurações.

A resposta para estas questões é obtida pela análise Procrustes generalizada (GPA), que é uma extensão da análise Procrustes clássica para $m=2$. O GPA faz parte de uma família de métodos denominados PINDIS, um acrônimo na língua inglesa para Escalonamento Procrustes para Diferenças Individuais. (*Procrustean Individual Differences Scaling*). Nesses métodos algumas transformações lineares são aplicadas às configurações X_j e o critério dos mínimos quadrados é utilizado para avaliar o ajuste entre as configurações transformadas de forma otimizada (COMMANDEUR, 1991; RODRIGUE, 1999).

As transformações permitidas no GPA são translação, rotação/reflexão e escalonamento isotrópico, de forma que as distâncias relativas entre os objetos permaneçam inalterada (RODRIGUE, 1999).

A similaridade pode ser expressa segundo Rodrigue (1999) como uma minimização da soma de quadrados das distâncias entre cada um dos $(m \times n)$ pontos $Q_i(j)$ (configurações individuais transformadas) e sua configuração centroide (soma de todas as configurações), denotada por Z_i . O critério de otimização consiste na minimização das distâncias pela aplicação de transformações adequadas às configurações.

A escolha das transformações possíveis também pode ser justificada pela interpretação que se pode dar a elas. Rodrigue (1999) afirma que a translação, rotação/reflexão e escalonamento isotrópico podem ser examinados como uma forma de identificar as discrepâncias na interpretação do vocabulário. Como

exemplo a autora cita a característica, ou atributo do objeto, utilizada por cada avaliador. A translação é equivalente a utilização de blocos na análise de variância (ANOVA), pois ajusta os efeitos dos julgadores utilizarem diferentes níveis da escala de medida, padronizando a variação de todos os níveis de escore para cada atributo. O escalonamento remove o efeito dos julgadores utilizarem diferentes faixas da escala, remove qualquer diferença no espalhamento da distribuição de escores de cada avaliador. Finalmente a rotação/reflexão ajusta o uso de diferentes atributos ou combinações de atributos para descrever o mesmo objeto.

A formulação matemática do GPA pode ser descrita da seguinte forma, seja T_j uma matriz $n \times p$ com todas n linhas iguais a t_j ($1 \times p$ vetor linha), H_j uma matriz ortogonal $p \times p$ e seja ρ_j escalares ($j=1, \dots, m$). A translação para uma nova origem é dada pela adição do mesmo vetor linha ($1 \times p$) t_j a toda linha de X_j . O escalonamento, rotação e translação podem, portanto serem expressos pela transformação

$$X_j \mapsto \rho_j X_j H_j + T_j$$

A GPA permite ainda analisar o conjunto de dados, visando verificar a similaridade entre julgadores, influência dos fatores causais, utilizando o Procrustes ANOVA, denominado por PANOVA conforme Nestrud e Lawless (2008); Dijksterhuis e Gower (2010) e Gower (2004). A GPA foi realizada com a utilização do Pacote FactoMineR (HUSSON et al, 2009) implementado no *software* R, versão 2.9.2. (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009).

Após o alinhamento das configurações obtidas e a obtenção da matriz de consenso, para os dois grupos Não Experientes e Experientes, utilizou-se uma técnica de redução de dimensões, visando propiciar a visualização dos dados.

4.2 Escalonamento Multidimensional

O método multivariado utilizado para avaliar a percepção do risco foi o Escalonamento Multidimensional não Métrico (NMDS), que é um método ordinal (BORG; GROENEN, 2005).

O NMDS ordinal é o mais importante na prática (COX e COX, 2000). Ele é usado normalmente quando, por exemplo, desejamos obter o julgamento, colocando os objetos em ordem crescente ou decrescente de importância, sob a ótica de um julgador. A aproximação mais comum usada para determinar os elementos d_{ij} e para obter as coordenadas dos objetos x_1, x_2, \dots, x_n é um processo iterativo, implementado no algoritmo de Shepard-Kruskal, com a minimização de uma função denominada de *Stress* (KRUSKAL, 1964) conforme Equação 1.

$$Stress = \left(\frac{\sum_{i < j} (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum_{i < j} d_{ij}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

A função de *Stress* representa e avalia a inadequação (transformação admissível) das proximidades e das correspondentes distâncias. A prática preconizada no NMDS é a avaliação por intermédio de um gráfico com as proximidades no eixo das abscissas contra as distâncias correspondentes no eixo das ordenadas. Tipicamente uma regressão mostra como as proximidades e distâncias aproximadas estão relacionadas. Este gráfico é conhecido como Diagrama de Shepard (BORG; GROENEN, 2005).

Outra forma é determinar a dimensão do espaço a partir da qual não ocorra redução significativa do valor do *Stress*. Resolve-se o NMDS para várias dimensões e os valores de *Stress* são representados no eixo das ordenadas e a dimensão no eixo das abscissas. Este gráfico é conhecido como “*Scree Plot*”. A curva obtida é geralmente monotônica decendente, mas a uma taxa muito baixa, à medida que se aumenta a dimensão (curva convexa). O que se busca é o “cotovelo”, o ponto onde decréscimo no *Stress* é menos pronunciado (BORG; GROENEN, 2005).

Finalmente o julgamento da dimensão para utilização na configuração final dos pontos, conforme Kruskal (1964) citado por Borg e Groenen (2005) utiliza-se o critério da interpretabilidade, (i.e. “se em m dimensões proporciona uma interpretação satisfatória, e $m+1$ em nada melhora a interpretação, faz todo sentido fixar em m -dimensões”).

Desta forma, o valor do *Stress* obtido passa a ser somente uma medida técnica e o NMDS deve ser julgado pelo conhecimento prévio da teoria que explica o comportamento dos dados. No caso específico deste trabalho, admite-se que o paradigma psicométrico é um modelo que retrata adequadamente a percepção de risco com duas dimensões que são Temor e Desconhecido.

A solução do MDS ordinal foi realizada com o auxílio do software R Versão 2.9.2 com a biblioteca MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002) e (R DEVELOPMENT TEAM, 2009).

4.3 Ajuste Final

Com a obtenção final das configurações de consenso definidas pelo GPA, que segundo Brombin e Salmaso (2009) é essencial para análise dos dados, uma vez que retira dos mesmos erros devido à posição, à escala, à orientação e ao tamanho, e, posteriormente, reduzidos a duas dimensões pelo NMDS. Verifica-se novamente o ajuste das duas configurações, utilizando o Procrustes clássico, que visa adequar uma configuração, denominada de Não Experientes à configuração obtida para os pilotos Experientes, sintetizando esta diferença pela estatística Procrustes (DRYDEN, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados representados por um *array* composto por $X_{i,j}$ configurações, ($i=1,2$) e ($j=1,\dots,5$), onde i representa os dois grupos experimentais denominados de Não Experientes e Experientes, e j o número de questionários aplicados a cada grupo, sendo que cada configuração $X_{i,j}$ constitui-se em uma matriz ($n \times p$) ($n=1,\dots,30$) objetos e ($p=1,\dots,9$) atributos.

Por intermédio do GPA, foi obtida a configuração de consenso para o grupo de não Experientes e para o grupo de Experientes. A PANOVA dos atributos para o grupo de pilotos Não Experientes demonstra que a dimensão voluntariedade foi a

que apresentou o maior valor de consenso (29,02) e o menor foi para a severidade (0,95). O mesmo foi confirmado no grupo de pilotos Experientes, porém com valor de consenso menor (12,34) para a dimensão voluntariedade. As outras dimensões foram maiores do que para o grupo de Não Experientes, exceto a dimensão crônico-catastrófico e comum-temido. Os dois grupos apresentaram diferenças também no que se refere à concordância global, o grupo de Experientes apresentou um consenso menor do que o não Experientes, (46,37 e 59,81) respectivamente, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1. Análise de Variância – PANOVA dos atributos.

| Atributo | Grupo Não Experientes | | | Grupo Experientes | | |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|------------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | Consenso | Resíduo | Total (%) | Consenso | Resíduo | Total (%) |
| Voluntariedade | 29,02 | 10,77 | 39,79 | 12,34 | 13,49 | 25,83 |
| Tempo de Exposição | 8,47 | 6,97 | 15,44 | 9,10 | 10,72 | 19,83 |
| Conhecimento Exposto | 5,670 | 4,81 | 10,49 | 6,57 | 7,03 | 13,61 |
| Conhecimento Ciência | 4,59 | 3,64 | 8,23 | 5,38 | 6,70 | 12,09 |
| Controle | 3,44 | 4,10 | 7,55 | 4,68 | 5,42 | 10,10 |
| Novo | 2,83 | 2,95 | 5,78 | 2,97 | 3,24 | 6,22 |
| Crônico-catastrófico | 2,50 | 2,68 | 5,19 | 2,46 | 2,90 | 5,37 |
| Comum-temido | 2,31 | 2,67 | 4,98 | 1,56 | 2,39 | 3,96 |
| Severidade | 0,94 | 1,56 | 2,51 | 1,27 | 1,68 | 2,95 |
| Total | 59,81 | 40,18 | 100,00 | 46,37 | 53,62 | 100,00 |

Na Tabela 2 apresenta-se o resultado da análise da variância intragrupos (entre julgadores), onde se verifica que não houve grande diferença entre o grupo de Não experientes e de Experientes.

TABELA 2. Análise de Variância Procrustes – PANOVA intragrupos Experientes e não Experientes.

| Não Experientes | SS Ajuste | SS Resíduo | SS Total | Experientes | SS Ajuste | SS Resíduo | SS Total |
|------------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| NE1 | 0 | 8,61 | 17,03 | E1 | 0 | 10,92 | 22,77 |
| NE2 | 0 | 8,51 | 17,58 | E2 | 0 | 10,97 | 23,43 |
| NE3 | 0 | 7,43 | 23,09 | E3 | 0 | 10,39 | 15,47 |
| NE4 | 0 | 8,27 | 18,79 | E4 | 0 | 10,70 | 19,75 |
| NE5 | 0 | 7,35 | 23,50 | E5 | 0 | 10,61 | 18,55 |
| Total | 0 | 40,18 | 100,00 | Total | 0 | 53,62 | 100,00 |

A análise PANOVA dos objetos, ou fatores causais de acidentes do grupo Não Experientes, revelou que os piores ajustes foram para os fatores Trem de Pouso e Facilidades do Aeroporto, pois geraram os maiores resíduos, e, em contrapartida, os fatores que apresentaram a menor variação entre os não Experientes foram Equipamentos *onboard* e colisão. Para o grupo Experientes, os piores ajustes foram para controle do tráfego e indisciplina e os melhores iluminação e vento. Na Figura 2, apresentam-se os resultados do grupo Experientes.

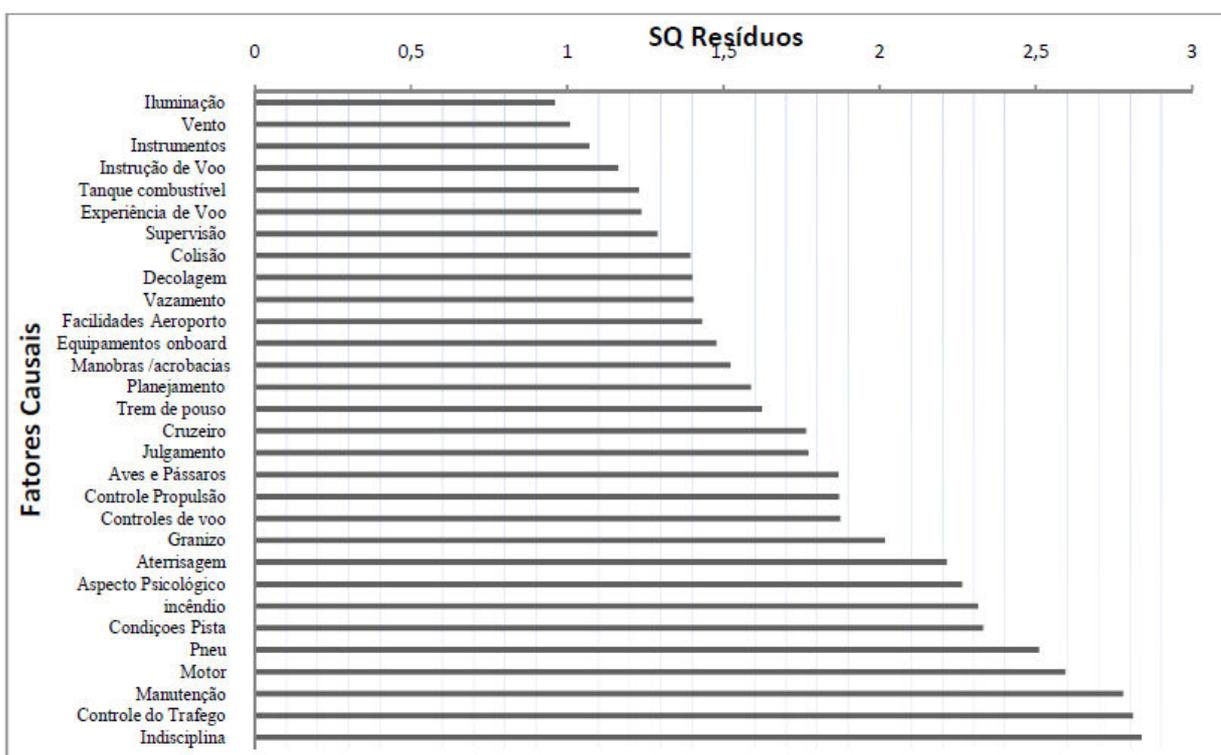


FIGURA 2. PANOVA para fatores causais, mostrando os respectivos ajustes para o grupo Experientes.

Os valores obtidos para o escalonamento demonstram que todos os não Experientes julgaram baseados na mesma escala, pois os valores de escalonamento isotrópico determinados para cada configuração foi de 0,9168, 1,0295, 0,929, 1,0943 e 1,0647, muito próximos de 1, e muito próximas uma das outras. O mesmo foi constatado no grupo Experientes, com valores 0,94, 1,14, 0,93, 1,05 e 0,94. Os fatores de escalonamento dos julgadores segundo Rodrigue (1999) representam a quantidade de dilatação ou encolhimento que foi aplicada nas configurações individuais. Fatores de escalonamento muito grandes correspondem a uma concentração maior dos dados quando comparada a configuração de consenso e valores pequenos correspondem a valores mais dispersos. Também podem dar uma idéia da formação de agrupamentos de julgadores.

O coeficiente R_v é uma estatística multivariada que pode variar entre 0 e 1 (0 representa total discordância, ortogonalidade e 1 perfeita concordância). Conforme Cartier *et.al.* (2006); Nestrud e Lawless (2008), valores de R_v acima de 0,7 são aceitos como um bom nível de concordância entre as configurações, e no caso do grupo de Não Experientes valores acima de 0,7 foi obtido somente entre os julgadores NE3 e NE5. No caso do grupo Experientes, os valores são muito baixos, demonstrando discordância significativa entre os integrantes do grupo. Os valores do Coeficiente de Concordância R_v de ambos os grupos estão demonstrados na Tabela 3.

TABELA 3. Coeficiente de Concordância R_v para o Grupo de Não Experientes e Experientes.

| | Não Experientes | | | | | | Experientes | | | | |
|-----|-----------------|------|------|------|-------------|----|-------------|------|------|------|------|
| | NE1 | NE2 | NE3 | NE4 | NE5 | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
| NE1 | 1,00 | 0,33 | 0,27 | 0,31 | 0,22 | E1 | 1,00 | 0,31 | 0,08 | 0,12 | 0,13 |
| NE2 | 0,33 | 1,00 | 0,28 | 0,40 | 0,28 | E2 | 0,31 | 1,00 | 0,13 | 0,09 | 0,14 |
| NE3 | 0,27 | 0,28 | 1,00 | 0,32 | 0,79 | E3 | 0,08 | 0,13 | 1,00 | 0,13 | 0,10 |
| NE4 | 0,31 | 0,40 | 0,32 | 1,00 | 0,28 | E4 | 0,12 | 0,09 | 0,13 | 1,00 | 0,11 |
| NE5 | 0,22 | 0,28 | 0,79 | 0,28 | 1,00 | E5 | 0,13 | 0,14 | 0,10 | 0,12 | 1,00 |

consciência situacional com bastante profundidade, o que está além do objetivo deste trabalho.

O eixo da Dimensão 2, para o grupo Não Experientes, mostra valores altos para o fator Julgamento que implica no conhecimento dos fatores contribuintes para os riscos envolvidos. Assim, o grupo Não Experientes intuitivamente tem maior certeza neste aspecto e na tomada de decisão, pois relacionam julgamento como fator conhecido, por exemplo, no momento de o piloto realizar o pouso final é feita uma verificação visual das condições de pouso na pista, assim este Julgamento torna-se previsível. À medida que se mecanizam os procedimentos, o não Experiente confia que a situação será sempre estável e sem intervenientes.

Isto também contribui para algumas observações de caráter operacional que exija novos Julgamentos em situações complexas e conflitantes, como, por exemplo, a dinâmica do tráfego aéreo. Com isso, recomenda-se a geração de um alerta positivo no excesso de confiança dos Não Experientes para evitar novas ocorrências aéreas.

Já o eixo da Dimensão 1, para o grupo de Experientes, ocorreu consenso do fator Julgamento que intuitivamente é visto como intrínseco à atividade aérea não representando temor ao grupo, que por apresentar maior adaptação e tempo de exposição a atividade aérea possui capacidade mais acentuada no gerenciamento dos riscos envolvidos. Analogamente, também possui um temor menor nos fatores Instrução de Voo provavelmente devido ao seu grau de conhecimento e ao padrão no treinamento a ser transmitido. No entanto, existe um maior temor quanto ao fator Supervisão, pois neste caso o acompanhamento das atividades requer maior esforço em suas operações, podendo representar uma preocupação à técnica de ensino.

O ajuste Procrustes final das duas configurações foi de 0,4349, o que revela uma baixa concordância entre os dois grupos, demonstrando que a percepção dos riscos dos grupos diferem entre si.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho, produzir um mapa perceptual dos riscos de acidentes aeronáuticos foi atingido, sendo possível verificar a baixa concordância na percepção dos dois grupos estudados.

Como se trata de um estudo exploratório inicial, novos estudos devem ser conduzidos para validar as configurações obtidas.

A análise GPA auxiliou na obtenção da configuração de consenso, embora tenha demonstrado que a variabilidade dos dados é grande, e que sua utilização deve ser utilizada com critério, pois os mapas gerados a partir de configurações individuais podem apresentar grandes diferenças.

A representação da configuração pela média dos dados deve ser evitada, pois grandes distorções são introduzidas na análise.

A principal conclusão sobre os mapas perceptuais de ambos os grupos é que pilotos Experientes consideram os fatores humanos como importantes (i.e. Aspectos psicológicos, supervisão, indisciplina e supervisão) e o grupo de não Experientes dá maior importância aos aspectos técnicos e materiais. O grande desafio para ações de treinamento é a de como transmitir essa percepção diferenciada aos mais novos.

Como sugestão de novos trabalhos, os autores incentivam a utilização de novos fatores, utilização de um número maior de categorias de experiência e a repetição com uma amostragem maior do que a realizada neste estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a participação dos Aspirantes e Oficiais que de forma anônima participaram desta pesquisa. Assim como as valiosas contribuições dos revisores desta revista.

REFERÊNCIAS

BOEING. **Statistical summary of commercial Jet airplanes accidents 1958-2008**. Disponível em: <<http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2010.

BORG, I.; GROENEN, P. J. **Modern Multidimensional Scaling: theory and applications**. New York: Springer, 2005.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira para 1999 a 2008**. Brasília: CENIPA, 2009.

BROMBIN, C.; SALMASO, L. Multi-aspect permutation tests in shape analysis with small sample size. **Computational statistics and data analysis**. v. 53, p. 3921-3931, 2009.

CARTIER, R., et al. Sorting procedure as an alternative to a product sensory map. **Food quality and preference**, v. 17, p. 562-571, 2006.

COMMANDEUR, J. J. F. **Matching configurations**. Leiden: DSWO press, 1991.

COX, T. F.; COX, M. A. **Multidimensional Scaling**. 2. ed. London : Chapman & Hall/CRC, 2000.

DIJKSTERHUIS, G. B.; GOWER, J. G. **The interpretations of generalized Procrustes analysis and allied methods**. Urtecht: Oliemans Punter and Partners, 2010.

DEKKER, S. W. A. **Ten Questions about Human Error**. New York: CRC Press, 2005.

DRYDEN, I. **Shapes: Statistical shape analysis**. R package. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=shapes>>. Acesso em: 11 Nov. 2009.

GOWER, J. G. Procrustes Analysis. In: SMELSER, N. J.; BALTES, P. B. **International Encyclopedia of Social and Behavioral Sciences**. Oxford: Elsevier, 2004.

HUSSON, F. et al. **FactoMineR: Factor Analysis and Data Mining with R. R package version 1.12**. 2009. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

KRUSKAL, J. B. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. **Psychometrika**, v.29, n.2, p.115-129, 1964.

MARRIS, C., LANGFORD, I. H., O'RIORDAN, T. A quantitative test of the cultural theory of risk perceptions: comparison with the psychometric paradigm. **Risk Analysis**, v.18 n.5, p.635-47, 1998.

McCRARY, F.; BAUMGARTEN, M. **The Young Epidemiology Scholars Program (YES)**. Disponível em: <www.collegeboard.com/prod_downloads/yes/risk_perception.pdf> , 2004. Acesso em: 16 abr. 2010.

NESTRUD, M.; LAWLESS, H.T. Perceptual mapping of citrus juices using projective mapping and profiling data from culinary professionals and consumers. **Food quality and preference**. , v. 19, p.431-438, 2008.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (Estados Unidos). **Safety Study** (NTSB/SS-01/01). Washington: NTSB, 2001. Disponível em:< www.nts.gov/publicctn/2001/SS0101.pdf>. Acesso em: 10 Mar. 2010.

PLANECRASHINFO. **Statistics**. Disponível em:<[http://www .planecrashinfo.com/](http://www.planecrashinfo.com/)>. Acesso em: 15 abr. 2010.

R DEVELOPMENT TEAM. **A language and environment for statistical computing**. Vienna : R. Foundation for Statistical Computing, 2006.

RODRIGUE, N. **A Comparison of the Performance of Generalized Procrustes Analysis and the Intraclass Coefficient of Correlation to Estimate Interrater Reliability**. Montreal : McGill University, 1999.

SJOBORG, L. Are received risk perception model alive and well? . **Risk Analysis**. v. 20, n.1, pp. 665-669, 2002.

_____. Factor in Risk Perception. **Risk Analysis**. v. 22, n.4, p.1-11, 2000.

SJOBORG, L., BJORG-ELIN, M.; RUNDMO, T. **Explaining risk perception An evaluation of the psychometric paradigm in risk perception research**. Trondheim, Norway : Rotunde, 2004.

SLOVIC, P. **Risk Perception**. London: Earthscan, 2001.

_____. Perception of Risk. **Science**. p. 280-285, 1987.

_____. Perceptions of risk: reflections on the psychometric paradigm. In: KRIMSKY, S.;GOLDING, D. **Social theories of risk**. Westport: Praeger, 1992.

STEGMANN, M. B.; GOMEZ, D. D. **A brief introduction to statistical shape analysis**. Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark. 2002. Disponível em: <http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/publication_details.php?id=403>. Acesso em: 15 maio 2010.

VENABLES, A. C; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S**. New York: Springer, 2002.

EXPLORING THE PERCEPTION OF AIRCRAFT ACCIDENTS RISK THROUGH THE USE OF MULTIVARIATE METHODS

ABSTRACT: Risk perception is crucial to the risk management process, as it reveals the differences between real risk and perceived risk. Knowledge of the different views concerning risk can subsidize coherent campaign, training and writing issues. This paper aims to assess aircraft accident risk perception considering nine significant dimensions in studies of perception. The paper associates the psychometric paradigm with data visualization tools, in order to elaborate the risk perception *construct*. The methodology adopted is the exploratory survey, with experimentation by means of closed questionnaires applied to a group of novice military jet pilots and to a group of pilots experienced in the operational area, but who are not safety specialists. The results were analyzed by means of multidimensional scaling - MDS, in order to shorten the dimensions so as to permit data visualization, and to define regions capable of reflecting both ripple effect and quotidian risk. The results show that the psychometric paradigm associated with data visualization techniques enabled the construction of an aircraft accident perceptual map for the jet pilots assessed, which contributes to the understanding of real risk and perceived risk, thus facilitating the adoption of risk management and risk communication measures.

Keywords: Aircraft Accident. Multidimensional Scaling. Perception. Procrustes Analysis. Risk.