

3°/10° GAV

ESQUADRÃO CENTAURO

Centauro #237

Ejeção em alta velocidade na FAB: os perigos do *windblast* e a importância do equipamento de voo



SANTA MARIA – RIO GRANDE DO SUL

2014

Centauro #237

Ejeção em alta velocidade na FAB: os perigos do *windblast* e a importância do equipamento de voo

Trabalho apresentado na conclusão do Programa de Formação Operacional (PFO) do Esquadrão Centauro.

SANTA MARIA – RIO GRANDE DO SUL
2014

“A coisa mais difícil é a decisão de agir, o resto é apenas tenacidade”
AMELIA EARHART (tradução nossa)

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é evidenciar a importância da utilização do correto equipamento de voo para a proteção dos tripulantes durante uma ejeção em alta velocidade. Por meio de pesquisa bibliográfica, levantaram-se as principais lesões sofridas por pilotos ejetados e qual a relação destas com a velocidade no momento da ejeção, dando ênfase aos ferimentos causados pelo *windblast*. Inicialmente, realizou-se um resumo histórico do desenvolvimento dos sistemas de assento ejetável até o início dos anos oitenta e o surgimento da 3ª geração de assentos. A seguir, discorreu-se sobre estudos e estatísticas relativos aos problemas causados pelo *windblast*, analisando como o mesmo tornou-se um dos principais motivos de lesões graves durante ejeções em alta velocidade. Ainda, apresentou-se os sistemas e equipamentos utilizados para proteger os tripulantes contra o *windblast*, desde o assento russo K-36D até os equipamentos em uso pela FAB e, por fim, analisou-se algumas possibilidades de melhoria percebidas em relação à proteção dos nossos pilotos. Além de sugerir estudos futuros na área, concluiu-se com propostas visando a utilização do correto equipamento de voo pelos pilotos brasileiros aumentando, assim, a proteção durante ejeções em alta velocidade.

Palavras-chave: Ejeção, *windblast*, equipamento de voo, Força Aérea Brasileira.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Pressão do ar em Newtons/m² X Velocidade indicada em kt
- Figura 2 – Porcentagem de lesões por oscilação (*Flail*) X Velocidade de ejeção
- Figura 3 – Velocidades de ejeção durante missões de treinamento X missões de combate
- Figura 4 – Comparação entre os envelopes dos assentos ACES II e K-36D
- Figura 5 – Teste de *Sled Rocket* com assentos K36D-3.5
- Figura 6 – Assento K-36D-5
- Figura 7 – Capacete que faz parte do equipamento padrão não pressurizado russo KKO-15
- Figura 8 – Quantidade de lesões graves e/ou fatais em pilotos que tiveram os capacetes perdidos durante a ejeção X lesões em pilotos que mantiveram seus capacetes (1989-1995)
- Figura 9 – Capacete HGU-55/P e máscaras MBU-12/P e HA/LP (MBU-20)
- Figura 10 – Viseira *Step-in*
- Figura 11 – Capacete HGU-55/GTX

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação da quantidade de lesões sofridas em ejeções realizadas durante missões de treinamento (non-combat) e por pilotos capturados em combate- POW

Tabela 2 – Condições dos testes de alta velocidade realizados durante o K-36D FCT

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACES II - *Advanced Concept Ejection Seat*

AFA - Academia da Força Aérea

AGARD – *Advisory Group for Aerospace Research and Development*

EUA - Estados Unidos da América

FAB - Força Aérea Brasileira

FCT - *Foreign Comparative Testing*

JSF - *Joint Strike Fighter*

KEAS - *Knots Equivalent Airspeed*

LUFTWAFFE - Força Aérea Alemã

NVG - *Night Vision Goggles*

OTAN – Organização do Tratado do Atlântico Norte

POW – *Prisoner of War*

SILOMS – Sistema Integrado de Logística de Material e de Serviços

TGP – *Targeting Pod*

U.S NFSM - *United States Naval Flight Surgeon's Manual*

USAF - *United States Air Force*

USN - *United States Navy*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 DESENVOLVIMENTO	9
2.1 O PERIGO DO <i>WINDBLAST</i>	9
2.2 K-36D: A SOLUÇÃO RUSSA	12
2.3 A INFLUÊNCIA DO EQUIPAMENTO DE VOO	17
2.4 O EQUIPAMENTO EM USO NA FAB	19
3 CONCLUSÃO	23
4 REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da performance das aeronaves de caça percebeu-se que o abandono em caso de emergência ficou praticamente impossível por vários motivos, entre eles, a velocidade do vento relativo que, além de dificultar o abandono pela tripulação, poderia causar a abertura prematura do paraquedas e danificá-lo. Além disso, muitas vezes a aeronave poderia estar tão descontrolada que impediria a ação do tripulante devido à carga G.

No final dos anos 30 e início dos anos 40, Suécia e Alemanha começaram a desenvolver os sistemas de assentos ejetáveis para aumentar as chances de sobrevivência dos tripulantes nas suas aeronaves de maior performance.

Os suecos da SAAB passaram a utilizar operacionalmente seus assentos, entre 1945 e 1946. A Alemanha já havia equipado seus protótipos do caça à jato *Heinkel He 280* com assentos ejetáveis, em 1940. Segundo informações, os pilotos da *LUFTWAFFE* teriam realizado aproximadamente 60 ejeções ainda durante a Segunda Guerra Mundial, mas não há registros de quantas dessas ejeções teriam sido bem sucedidas.

Com o tempo, começaram a surgir estudos sobre as lesões e traumas, que os sistemas de ejeção poderiam causar ao corpo humano, com intuito de diminuir os riscos aos tripulantes e aumentar as capacidades dos assentos para que, cada vez mais situações pudessem ser englobadas em seus envelopes operacionais. Os primeiros sistemas trabalhavam com ar-comprimido para tirar os assentos das aeronaves, depois, optou-se por utilizar explosivos, para que o assento fosse retirado mais rápido e houvesse uma maior separação entre o tripulante e a fuselagem.

Após o conjunto homem/assento ser retirado da aeronave e ter uma separação segura da mesma é necessário um tempo/altura para que o velame do paraquedas possa inflar e desacelerar o tripulante para um pouso seguro. Obviamente, quanto maior a distância que o conjunto conseguisse estar da aeronave, menor seria a altura necessária para garantir a sobrevivência do piloto.

Buscando aumentar a altura que o assento seria lançado, os desenvolvedores encontraram uma limitação importante: a coluna vertebral do tripulante. A aceleração necessária, para gerar uma separação capaz de garantir uma ejeção segura com aeronave no

solo, não seria suportada pela coluna do piloto sem sofrer lesões importantes. A solução encontrada foi a utilização de um motor foguete, para que o sistema pudesse manter a velocidade gerada pela carga inicial por mais tempo, gerando assim uma separação suficiente para o abandono da aeronave em segurança, mesmo no solo, sem que o assento causasse grandes traumas à coluna da tripulação. Surgiram assim, os assentos de 2ª geração, que aumentaram muito a probabilidade de sobrevivência da tripulação, em ejeções com baixa velocidade e à baixa altura, possibilitando até a operação dos mesmos no solo (zero-zero).

Com o aumento das capacidades operacionais de suas aeronaves, os Estados Unidos começaram a desenvolver, no final da década de 60, o projeto de um assento ejetável de 3ª geração, o *Advanced Concept Ejection Seat* (ACES II). Além de ter a utilização do motor foguete e a capacidade zero-zero, o assento é capaz de ajustar os tempos de abertura do paraquedas, de acordo com a velocidade e altura da aeronave no momento da ejeção. O ACES II começou a ser usado operacionalmente pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) em 1978 e passou a equipar as principais aeronaves de combate daquela Força. Com poucas variações, esse sistema equipa, até hoje, algumas das mais modernas aeronaves de combate ocidentais como os A-10, F-15, F-16, B-2 e F-22.

Mesmo tendo conseguido grandes avanços em relação aos problemas e lesões causados pela aceleração vertical do assento ejetável, a sociedade aeronáutica se deparou com um problema, que se tornava mais perigoso à medida que aumentavam as velocidades das aeronaves de caça: o *Windblast*.

2 DESENVOLVIMENTO

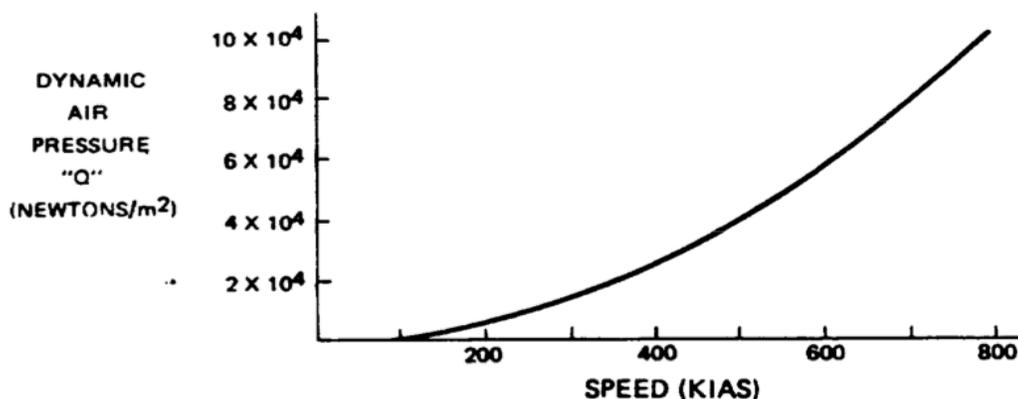
2.1 O PERIGO DO WINDBLAST

Windblast é a expressão em inglês que define o impacto da massa de ar, nesse caso, o impacto do vento relativo encontrado pelo conjunto homem/assento, durante a ejeção.

Com a entrada em operação de aeronaves capazes de atingir velocidades maiores que, duas vezes a do som, os tripulantes se depararam com condições cada vez mais perigosas para uma ejeção segura.

Durante o processo de ejeção, após sair da proteção criada pelo para-brisas da aeronave, o tripulante fica exposto à força do vento relativo. Essa força (*Q-force*) varia em função do quadrado da velocidade, ou seja, a força a 300 kt (Knots) será aproximadamente 9 vezes maior que a 100 kt. O gráfico abaixo demonstra o aumento da força causada pelo *Windblast* em função da velocidade indicada.

Figura 1: Pressão do ar em Newtons/m² X Velocidade indicada em kt



Fonte: BRINKLEY; NOYES; RING, 1975

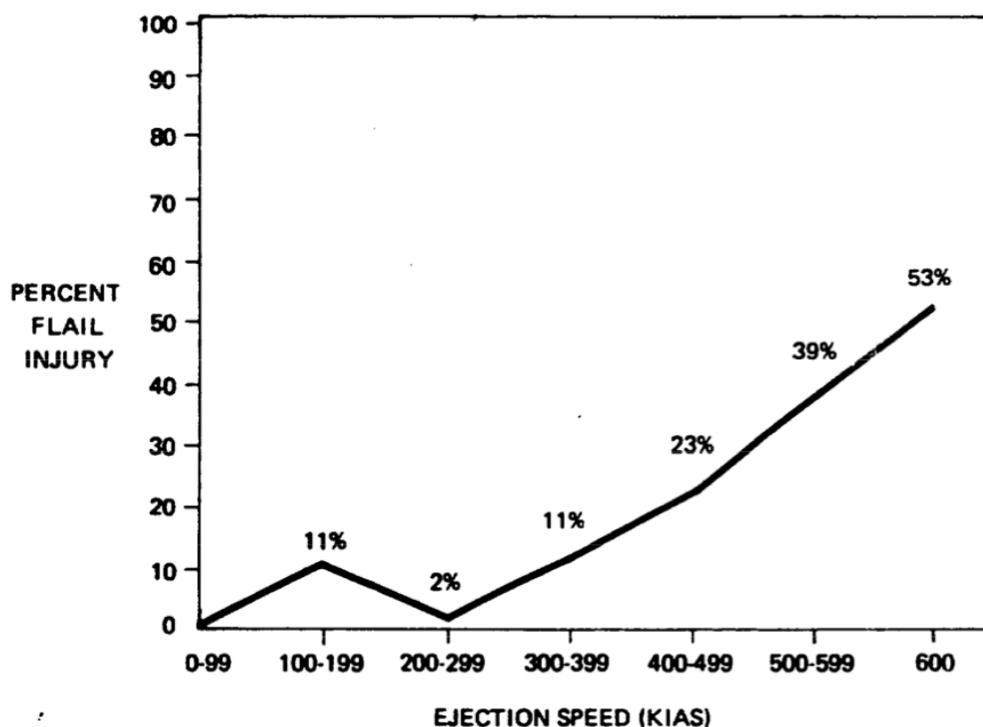
Considerando a tabela, podemos perceber que, com uma velocidade de 600 kt, um tripulante irá encontrar uma pressão de aproximadamente 6×10^4 N/m² ou 6,11 ton/m². Utilizando uma medida de 6 pés quadrados para a área frontal do tripulante sentado no assento, sugerida pelo United States Naval Flight Surgeon's Manual (U.S NFSM), chegamos a um valor acima de 3 toneladas.

Este impacto pode causar grandes danos ao tripulante e seu equipamento. Roupas podem ser rasgadas, calçados arrancados dos pés, viseiras quebradas ou perdidas juntamente com os capacetes, além de liberação prematura do paraquedas.

Apesar de ser uma força extremamente violenta, somente o impacto do vento relativo não causaria lesões fatais. O grande problema gerado pelo vento relativo são as lesões por oscilações (*flail injury*) devido à diferente desaceleração das extremidades do corpo em relação ao torso ou ao assento. Essas oscilações, somadas às grandes forças envolvidas, podem causar danos graves aos membros superiores e inferiores ocasionando fraturas ou deslocando juntas, além de lesões à coluna vertebral, ao pescoço e à cabeça que podem deixar o tripulante inconsciente.

A influência da velocidade nas lesões causadas por essas oscilações podem ser vistas claramente no gráfico apresentado por EVERY (1977):

Figura 2: Porcentagem de lesões por oscilação (Flail) X Velocidade de ejeção



Fonte: EVERY, 1977

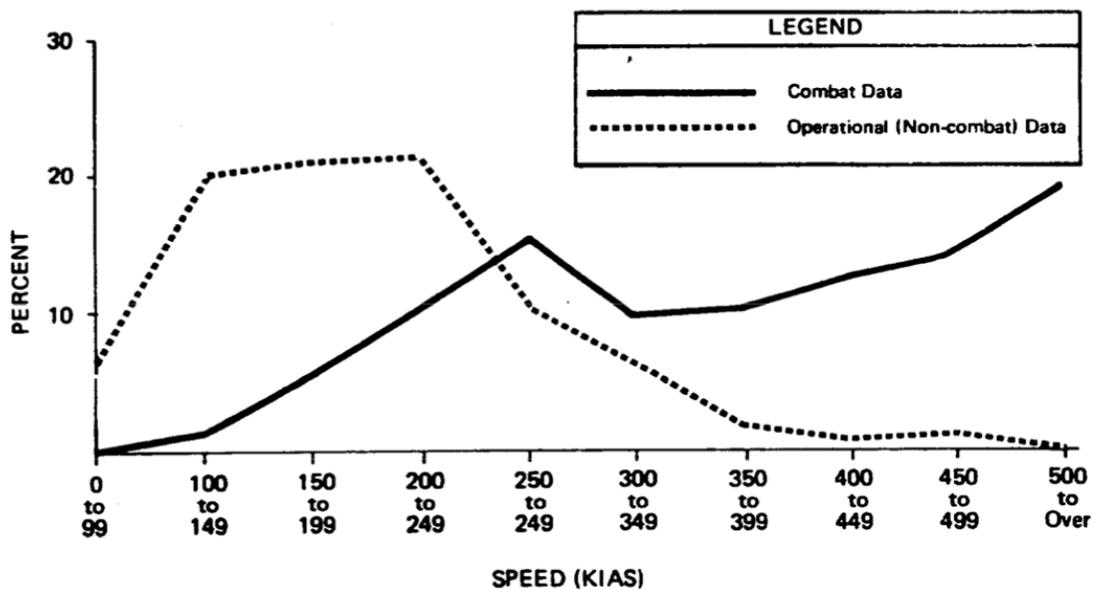
Em 6 de Maio de 1975, foi realizada uma conferência de medicina aeroespacial pela AGARD (órgão subordinado à OTAN) sobre a Resposta Biodinâmica ao *Windblast*. Nela

foram apresentados trabalhos com dados de forças aéreas de 5 países, considerando o problema do *windblast* e seus efeitos sobre o corpo humano, comparando as lesões entre pilotos ejetados durante as missões de treinamento e missões reais.

Por motivos óbvios, durante as missões de combate os pilotos utilizam todo o envelope que sua aeronave lhe proporciona. Com isso, ficou nítido o aumento da velocidade média de ejeção em missões reais, quando comparadas com as ejeções em treinamentos.

Segundo a avaliação de GLAISTER (1975), os números apresentados mostram que, em tempo de paz, a velocidade média nas ejeções tende a ser mais baixa (entre 200 e 250 kt), com isso a incidência de maiores lesões causadas pelo vento é de apenas 5%. Durante missões de combate, a velocidade média durante as ejeções é mais alta (388kt na USAF e 438kt na USN), causando lesões por *windblast* à quase um terço dos tripulantes da marinha americana.

Figura 3: Velocidades de ejeção durante missões de treinamento X missões de combate .



Fonte: EVERY, 1977

Tabela 1: Comparação da quantidade de lesões sofridas em ejeções realizadas durante missões de treinamento (non-combat) e por pilotos capturados em combate- POW

	USAF (Non-combat)	USAF (POW)	USN (POW)
Data Base	567	162	97
Ejections > 300kt	20%	72%	83%
Ejections > 500kt	1%	33%	29%
Flail Injury	7%	12%	30%
Major Flail	4%	9%	25%
Major Flail > 300kt	22%	13%	-

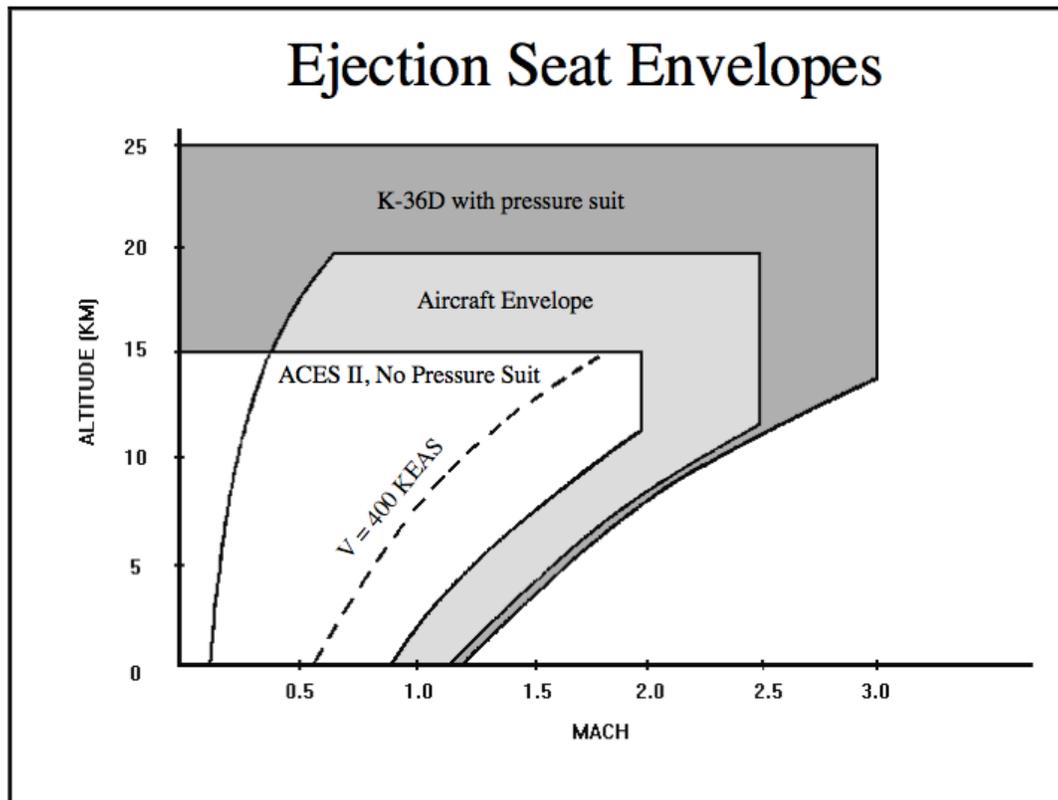
Fonte: BRINKLEY; NOYES; RING, 1975

2.2 K-36D: A SOLUÇÃO RUSSA

Durante uma apresentação no Show Aéreo de Paris, em 1989, um Mig-29 teve problema nos motores, o piloto perdeu o controle e ejetou. No momento da ejeção, o Mig estava aproximadamente a 300ft de altura, com 80^o picados e o paraquedas abriu abaixo de 20ft, o piloto sobreviveu e sofreu apenas alguns ferimentos nas costas, abdômen e um corte no supercílio direito. O mundo havia sido apresentado ao assento K-36D.

Os assentos da “família” K-36 foram desenvolvidos nos anos oitenta pelo *Zvezda Design Bureau* (NPP Zvezda) em Tomilino, Rússia. Foram os primeiros sistemas de assento ejetável soviéticos com capacidade zero-zero e passaram a equipar as aeronaves de alta performance russas. O K-36D apresenta limites operacionais muito acima dos assentos ocidentais, com envelope até 755 KEAS (*Knots Equivalent Airspeed*) e altitudes de 80000ft.

Figura 4: Comparação entre os envelopes dos assentos ACES II e K-36D



Fonte: PLAGA; SPECKER, 1996

Entre as principais características apresentadas pelo K-36D podemos citar:

- **Defletor de vento:** o assento conta com um defletor de *windblast* que é acionado sempre que a ejeção ocorrer acima de 430 KEAS. Localizado na parte frontal da baía do assento, o defletor chega até aproximadamente a altura do peito do tripulante, protegendo o mesmo do impacto direto com a massa de ar.
- **Booms de estabilização:** existem dois *booms* telescópicos posicionados próximos ao topo do assento. Após o conjunto iniciar o movimento vertical, esses equipamentos são acionados e se estendem com ângulos de 15° em relação ao eixo do assento para estabilizá-lo. Os *booms* são acionados e se estendem mesmo antes de o conjunto deixar completamente a nacele, como se pode ver em um dos assentos da figura 5.

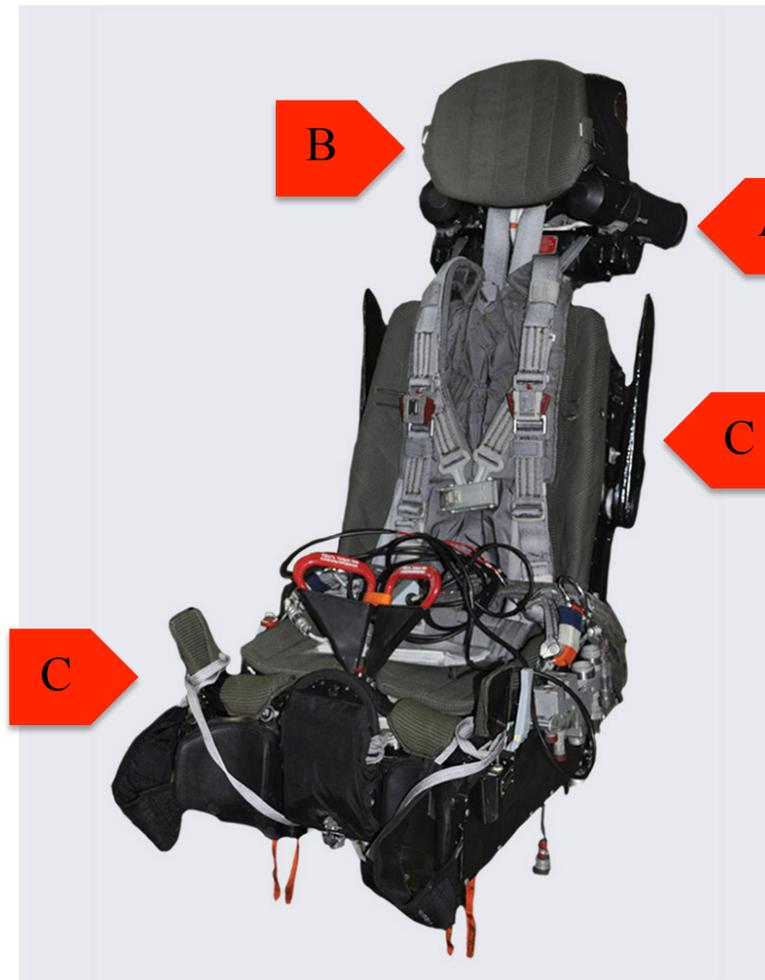
Figura 5: Teste de *Sled Rocket* com assentos K36D-3.5



Fonte: site *Global Military Review*

- **Restritores dos membros:** o K-36D conta com sistemas de restrição dos movimentos dos braços e pernas, que diminuem as chances de lesões causadas pelo *windblast*.
- **Capacete e encosto de cabeça:** uma das maiores diferenças apresentadas pelo assento ejetável russo é o fato de que o mesmo foi desenvolvido em conjunto com o restante do equipamento de voo, como um sistema único. O capacete abaixa a viseira automaticamente no caso de uma ejeção, protegendo os olhos do tripulante, além de contar com uma série de orifícios no topo, desenvolvidos para modificar o fluxo de ar sobre a cabeça do piloto, diminuindo as forças aerodinâmicas atuando sobre ele (figuras 6 e 7). O encosto de cabeça é moldado de acordo com as dimensões do capacete, mantendo-o estável e diminuindo seus movimentos durante a ejeção.

Figura 6: Assento K-36D-5 com *Booms* telescópicos (A), encosto de cabeça no formato do capacete (B) e sistemas de restrição para os membros (C)



Fonte: site do *NPP-Zvezda* (adaptada pelo autor)

Graças às diferenças de projeto e desempenho entre o K-36D e o ACES II, a USAF e a USN criaram um grupo de trabalho para testar e estudar o assento russo (K-36D *Ejection Seat Foreign Comparative Testing* - FCT). A principal preocupação era a entrada em operação de aeronaves capazes de manter regimes de alta velocidade e altitudes como o F-22 e o projeto *Joint Strike Fighter* (JSF).

Os testes ocorreram nas instalações do *Zvezda Design Bureau* entre agosto e setembro de 1993. Vários especialistas da USAF e da USN, juntamente com técnicos russos, puderam testar o comportamento do K-36D em várias situações. Além de simulações em túnel de vento e outros testes em laboratório, três ejeções foram

realizadas em “trenós” propulsados (*Sled Rocket*) à velocidades de até 729 KEAS e oito partindo de uma aeronave Mig-25 modificada (*Flying Lab*), que chegaram a 56000ft de altitude e Mach 2,5. A tabela 2 mostra as configurações dos testes realizados na Rússia, utilizando-se o equipamento padrão de voo da Força Aérea Russa (KKO-15) e o traje pressurizado (KKO-5).

Figura 7: Capacete do equipamento padrão não pressurizado russo KKO-15 (detalhe para os orifícios no topo).



Fonte: site do NPP-Zvezda

Aparentemente a estabilidade gerada pelos *booms* telescópicos, somada ao protetor de *windblast* e ao equipamento de voo, são essenciais para proteger os ocupantes à velocidades mais altas que as alcançadas pelos sistemas ocidentais. Pelos resultados, as acelerações sofridas pelo tripulante no K-36D com 729 KEAS são bastante similares às encontradas no ACES II com 450 KEAS. “O desenvolvimento integrado do assento, ocupante e equipamento pessoal parece ser a chave para o sucesso da performance do K-36D”. (PLAGA; SPECKER, 1996, p. 64, tradução nossa)

Tabela 2: Condições dos testes de alta velocidade realizados durante o K-36D FCT.

Test Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Test Date	8/18/93	8/25/93	8/27/93	8/27/93	8/30/93	8/31/93	9/3/93	9/9/93	9/9/93	9/14/93	9/16/93
Designation	FL110005	SL1400	FL110005	FL083301	FL105001	SL1050	FL103012	FL103012	FL097516	FL097516	SL1295
Seat Serial Number	822H92670	822H92700	822H92683	822H92694	822H92677	822H92688	822H92695	822H92680	822H92690	822H92675	822H92699
Manikin	SKIF	SKIF	Small ADAM	Large ADAM	Large ADAM	Small ADAM	SKIF	Large ADAM	SKIF	Large ADAM	Large ADAM
KEAS	551	729	545	451	545	532	508	510	483	483	694
Airspeed (km/hr) (ft/sec)	1020 930	1350 1230	1010 920	836 762	1010 920	985 898	940 857	945 861	895 816	895 816	1285 1171
Mach Number	1.16	1.11	1.19	0.71	0.85	0.81	2.09	2.10	2.50	2.50	1.08
Incompressible Dynamic Pressure (psf) (Pa)	1027 49173	1799 86136	1007 48215	690 33037	1007 48215	958 45869	872 41751	881 42182	791 37873	791 37873	1630 78045
Compressible Dynamic Pressure (psf) (Pa)	1419 67942	2428 116253	1419 67942	780 37346	1206 57743	1128 54009	2285 109406	2323 111225	3060 146513	2912 139427	2160 103421
Altitude - Geometric (ft) (m)	17585 5360	656 200	18289 5576	1230 375	1203 367	656 200	45673 13921	45660 13921	55283 16850	55825 17020	656 200
Altitude - Pressure (ft) (m)	17487 5330	699 213	19094 5820	2100 640	1821 555	328 100	46588 14200	46522 14180	56168 17120	56102 17100	778 237
Crewmember Equipment	KKO-15	KKO-5	KKO-15	KKO-15	KKO-15	KKO-15	KKO-15	KKO-15	KKO-5	KKO-5	KKO-15
Ejected Weight (lbs) (kg)	462.2 210.07	463.5 210.70	411.1 186.85	487.4 221.55	488.3 221.95	412.0 187.29	461.6 209.80	492.7 223.95	464.0 210.89	494.5 224.75	490.4 222.90
Weather Conditions	Clear	Clear	Prt Cloudy	Prt Cloudy	Prt Cloudy	Cloudy	Clear	Cloudy	Cloudy	Rain	Cloudy
Temperature (°F) (°C)	3.2 -16.0	59.7 15.4	-9.4 -23.0	51.8 11.0	50.7 11.6	50.7 10.4	-70.6 -57.0	-70.6 -57.0	-70.6 -57	-70.6 -57	44.1 6.7

Fonte: PLAGA; SPECKER, 1996

2.3 A INFLUÊNCIA DO EQUIPAMENTO DE VOO

Apesar de maioria dos assentos atuais serem homologados para ejeções de até 600 kt, alguns estudos, já citados, mostraram como a taxa de ferimentos graves aumentava significativamente acima dos 400 Kt. Com isso, além de tentar aumentar a estabilidade de seus assentos e equipá-los com sistemas para restrição dos movimentos dos membros durante a ejeção, os pesquisadores buscaram melhorar o equipamento de voo utilizado pelo tripulante, aumentando a proteção oferecida contra o *windblast*, focando principalmente no pescoço e cabeça (capacete, viseiras e sistemas de oxigênio).

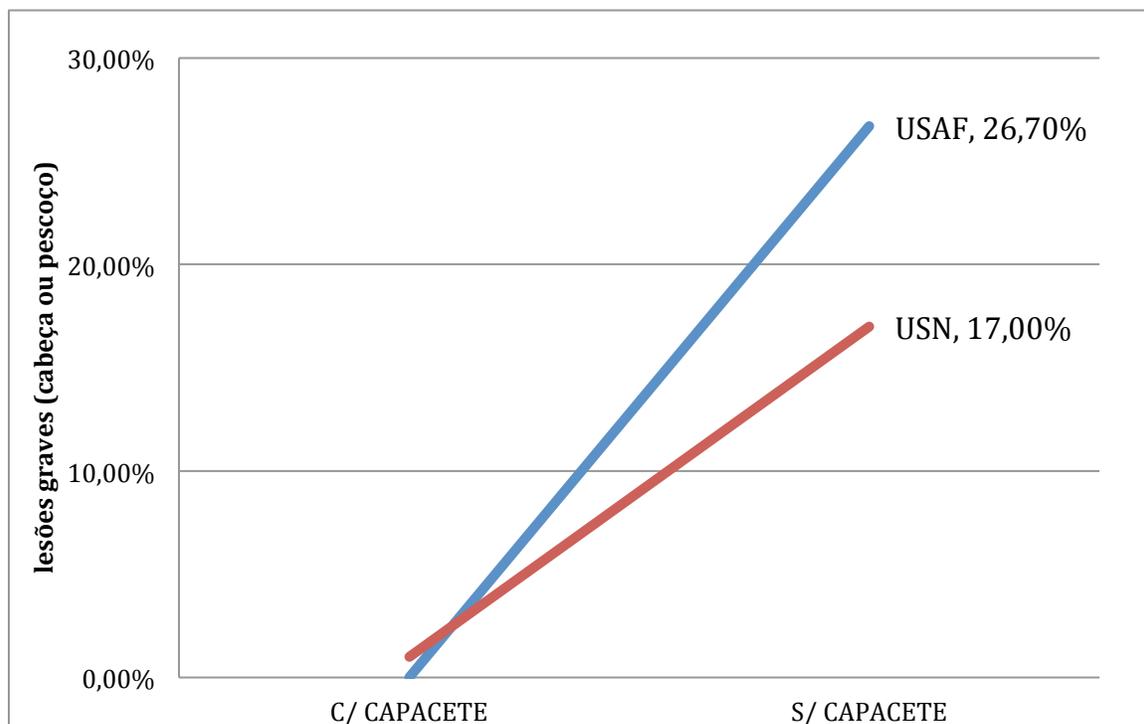
A função primária do capacete, viseira e máscara é proteger contra o fogo, colisão com pássaros e contra detritos ou objetos soltos na nacele. Além disso, durante a ejeção, este conjunto ainda protege contra o vento, chuva, temperaturas extremas, hipóxia, etc. Com todos esses benefícios, fica óbvia a importância do tripulante manter o capacete

durante a ejeção, porém, dependendo da velocidade da aeronave, os mesmos podem ser perdidos devido à carga aerodinâmica causada pelo vento.

Entre as ejeções da USN ocorridas de 1949 a 1989, apenas 5% dos capacetes foram perdidos à baixa velocidade (100-200 KEAS), porém este número chegou a 50% nas ejeções a 500 KEAS. De todos os pilotos que perderam os capacetes, mais de 21% apresentaram lesões no pescoço, contra apenas 10,8% dos que não perderam (GUILL; HERD 1989 apud QUARTUCCIO; WHITLEY, 1998).

Já segundo PASSMORE (1996 apud QUARTUCCIO; WHITLEY, 1998), com dados das ejeções ocorridas entre 1989 e 1995, 10,56% dos pilotos ejetados da USAF perderam seus capacetes, entre eles, 26,7% sofreram traumas graves ou fatais à cabeça, enquanto que, nenhum dos pilotos que mantiveram os capacetes apresentou esse tipo de trauma. Já na USN, 18,65% dos tripulantes perderam o capacete, entre estes, 17% sofreram lesões graves ou fatais à cabeça. Estas lesões foram encontradas em apenas 1% dos pilotos da marinha americana que não tiveram seus capacetes arrancados durante a ejeção.

Figura 8: Quantidade de lesões graves e/ou fatais em pilotos que tiveram os capacetes perdidos durante a ejeção X lesões em pilotos que mantiveram seus capacetes (1989-1995)



Fonte: PASSMORE, 1996 (apud QUARTUCCIO; WHITLEY, 1998)

A força aerodinâmica atuando no capacete a 600 kt chega a 460 lb, aproximadamente 208 kg (EULER; HAWKER, 1975). Em um teste realizado nas instalações do NPP Svezda, na Rússia, foram testados os capacetes HGU-68/P e HGU-55/P. Nestes os valores chegaram a tensões entre 2890 e 3115N (708 KEAS), nessas condições o HGU-55/P não resistiu e foi arrancado, enquanto o HGU-68/P (utilizado pela USN) aguentou a força e permaneceu em posição. (REH, G. 1994 apud QUARTUCCIO; WHITLEY, 1998).

2.4 O EQUIPAMENTO EM USO NA FAB

Atualmente a FAB utiliza equipamentos de voo fornecidos pela GENTEX CORP, empresa norte-americana fornecedora de diversos tipos de equipamentos para muitas forças aéreas no mundo. Entre os equipamentos de proteção, utilizados em nossas aeronaves providas de assento ejetável temos:

- Capacetes HGU-55/P;
- Máscaras de oxigênio MBU-12/P e HA/LP (MBU-20); e
- viseiras claras e escuras para MBU-12

Analisando o atual equipamento, percebe-se a tendência de se utilizar os itens padronizados pela USAF, o que é compreensível, tendo em vista os altos padrões exigidos pelas Forças Armadas Norte-Americanas, porém podemos perceber que a utilização de alguns equipamentos podem ser melhoradas ou até mesmo ser substituídos.

Os capacetes HGU-55/P são capacetes leves, confortáveis e versáteis que foram projetados de acordo com especificações de 1983 (MIL-H-87174). Apesar de ter uma especificação antiga, continua sendo muito utilizado em aeronaves de alta performance, porém deve ser dada especial atenção para os acessórios que serão utilizados no mesmo.

Apesar de ter sido projetado para velocidades de até 450 ± 20 Kt, a GENTEX CORP, após algumas modificações, conseguiu homologá-lo para ejeções com até 600 Kt. O requisito básico para que o HGU-55/P passe a ter essa capacidade é a utilização do correto conjunto máscara/ viseira. A viseira de alta velocidade (*high-speed visor kit*), além de uma maior resistência, conta com algumas modificações para gerar mais atrito com a borda do capacete e evitar que seja perdida pela força do *windblast*, o que, conseqüentemente, aumentaria a força aerodinâmica sobre o capacete e a chance de perdê-lo.

As viseiras são cortadas no formato exato de cada modelo de máscara para diminuir os espaços pelos quais o vento poderia entrar e forçar a viseira para cima, além de aumentar a proteção contra fragmentos ou objetos soltos.

Todas as viseiras utilizadas com os HGU-55 no Brasil são cortadas para a máscara MBU-12 (PN 81D5189-3, *Clear* e 81D5189-4, *Neutral*), não havendo diferenciação entre as máscaras utilizadas. Vale ressaltar que viseiras *high-speed* são fabricadas apenas no formato das máscaras da família MBU-20, pois a MBU-12 é homologada apenas até 425kt, o que nos leva à discutir a própria utilização da máscara de oxigênio.

A FAB utiliza basicamente dois modelos de máscaras de oxigênio: A MBU-12/P e a MBU-20/P ou HA/LP (variante da classe MBU-20). Desenvolvida na mesma época dos HGU-55, a máscara MBU-12 é de fácil manutenção, considerada mais confortável por muitos pilotos e mais barata que as HA/LP, porém, são homologadas apenas até 425 kt.

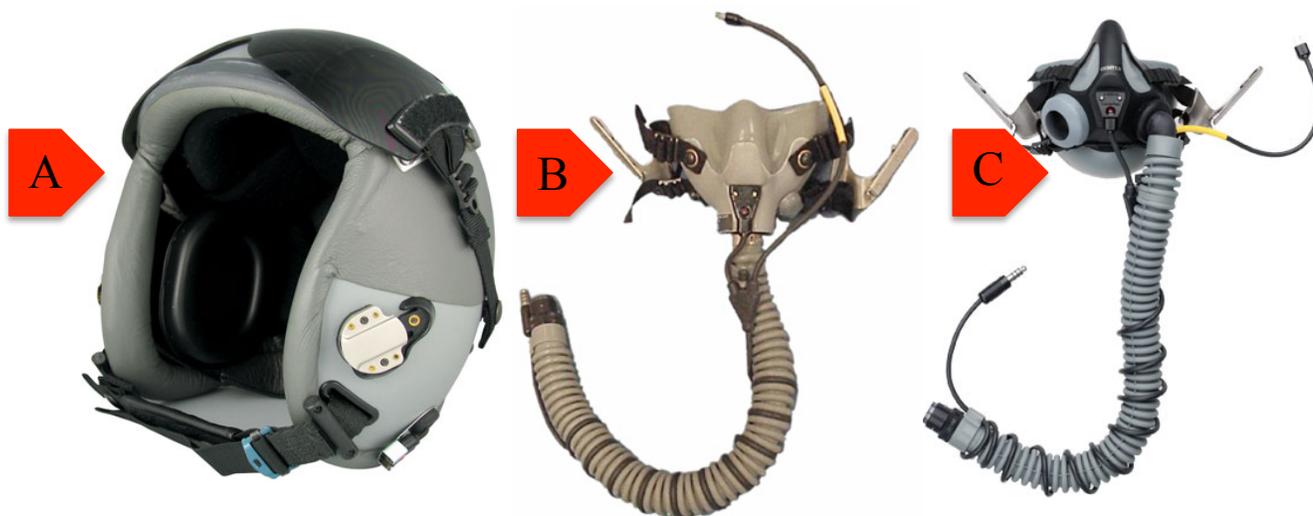
Para suprir a necessidade de uma máscara que suportasse ejeções em altas velocidades a GENTEX desenvolveu a classe MBU-20. Com um perfil mais baixo, que melhora o campo de visão do piloto, e uma válvula de saída distinta da de entrada, que visa facilitar a respiração durante manobras com alta carga g, as novas máscaras foram testadas contra *windblast* até 600 kt. No final dos anos 90, a FAB adquiriu um lote de, pelo menos, 180 máscaras da classe MBU-20, divididas em três tamanhos (segundo pesquisa realizada no SILOMS). Estas máscaras foram distribuídas e, atualmente, aproximadamente 100 unidades estão na Academia da Força Aérea (AFA).

Outro equipamento usado com os capacetes é o sistema de visão noturna (NVG). Atualmente, a única aeronave com assento ejetável a utilizar esse equipamento no Brasil é o A-29. Existem alguns trabalhos, sobre a influência de sistemas como o NVG, nos capacetes durante a ejeção, mas esse não é o foco, pois os óculos em uso na FAB são de soltura rápida e seria necessário um estudo específico sobre o efeito do peso dos óculos na coluna do piloto ejetado.

O fato que chama atenção é a não utilização de viseiras durante a operação do NVG, pois as viseiras disponíveis atualmente, não podem ser utilizadas simultaneamente com os óculos. Até hoje, os pilotos de A-29 voam sem viseira quando utilizando o NVG. Por ser uma aeronave de baixa performance, não é tão grave o problema do *windblast* mas, além de pensar na proteção aos olhos dos pilotos, mesmo em ejeções a baixa velocidade, temos que

considerar a entrada em operação do A-1M e a aquisição de aeronaves modernas como o Gripen E.

Figura 9: Capacete HGU-55/P (A) e máscaras MBU-12/P (B) e HA/LP (MBU-20) (C)



Fonte: site da Gentex Corp. (modificada pelo autor)

Os caças mais modernos contam com naceles compatíveis com a utilização do NVG e , no caso de uma ejeção, a aeronave pode estar próximo aos 500 kt, o que poderia causar sérios problemas ao piloto que estiver sem a viseira. Os capacetes HGU-55/P contam com um modelo de viseira específico para a utilização com NVG, as *Step-in visors* (figura 10), que a FAB ainda não possui. Neste sistema a lente fica mais próxima ao rosto do piloto, proporcionando a utilização simultânea da viseira com o NVG.

Figura 10: Viseira *Step-in*



Fonte: site da Gentex Corp.

Outra deficiência percebida, é a falta de viseiras de proteção para os pilotos de A-1 operando o Pod designador laser (TGP) *Litening III*. O *Litening* emite um laser de alta potência, invisível a olho nu, que pode causar cegueira permanente no caso de visada direta, acima de 60 km de distância, mas o grande perigo está na operação com mais de uma aeronave. Considerando que o reflexo de uma moeda “iluminada” à 10000 ft tem energia suficiente para cegar um olho humano à uma distância de mil metros, a energia refletida no painel e nos espelhos da nacele seriam mais que suficientes para ferir a retina do piloto, caso uma aeronave entre acidentalmente na visada do laser da outra. A *Laser visor* nada mais é do que uma viseira com tratamento especial para filtrar um comprimento de onda específico, no caso o laser de designação do TGP *Litening III*. A utilização desta viseira protege o tripulante durante uma operação de designação para emprego de armamento guiado. A viseira laser pode ser usada, tanto no período diurno, como noturno, mas é necessário um sistema de viseira dupla para que a mesma fosse usada juntamente com a viseira escura em missões diurnas.

3 CONCLUSÃO

Após passar por grande parte da literatura relativa aos problemas causados por uma ejeção em alta velocidade e listar de maneira rápida os equipamentos de voo utilizados pela FAB, a partir de agora serão comentadas as principais oportunidades de melhoria encontradas.

A maneira mais segura de proteger o tripulante contra os efeitos do *windblast* em uma ejeção de alta velocidade seria a utilização de um sistema que fosse projetado e funcionasse em conjunto, como o K-36D-5 que atualmente equipa os caças Su-35. Porém, essa não é uma solução de médio ou curto prazo, haja vista que seria necessário um grande projeto de engenharia para adaptar uma aeronave do acervo atual da Força a um sistema como esse. Sendo assim, a FAB deve dar atenção ao equipamento de voo utilizado pelo tripulante.

A primeira ação proposta é a distribuição das máscaras MBU-20/P e HA/LP atualmente em uso na AFA para as unidades de “primeira linha”. Não faz sentido pilotos de A-1 ou F-5, voando acima de 450 kt, equipados com máscaras MBU-12 enquanto que, aproximadamente cem unidades de MBU-20 estão sendo utilizadas por aeronaves T-27, restritas à menos de 300 Kt. Os esquadrões de alta performance da caça devem contar unicamente com máscaras homologadas para ejeção em alta velocidade, evitando assim, que os pilotos optem por voar com uma máscara que lhes oferece menor proteção, apenas por conforto, comodidade ou simplesmente por aversão à mudanças.

O próximo passo é o estudo para serem adquiridas viseiras específicas para cada tipo de missão ou aeronave. As unidades de F-5 devem receber viseiras *High-speed* para serem utilizadas com as MBU-20 e os pilotos de A-29 devem contar com as *Step-in visors* para proteção durante as missões de NVG.

Por necessitar de vários sistemas diferentes de viseira (*high-speed*, *step-in* e laser), a solução mais conveniente para o A-1 seria a adoção de novos capacetes HGU-55/GTX. Esses capacetes contam com um sistema de viseira dupla (homologado para 600 kt) e possui um suporte integrado para os óculos de visão noturna. A adoção do HGU-55/GTX possibilitaria a utilização das viseiras laser juntamente com as viseiras escuras para

operação com o *Liteining III*, além da proteção de uma viseira homologada para alta velocidade durante as missões de NVG.

Figura 11: Capacete HGU-55/GTX com viseira dupla (A) e suporte para NVG (B)



Fonte: site da GentexCorp. (adaptada pelo autor)

Por fim, além das ações já propostas anteriormente, como as trocas das máscaras e a atualização das viseiras e capacetes, de acordo com as missões de cada aeronave, a maior e melhor possibilidade de melhoria vislumbrada com esse trabalho é a necessidade de um estudo detalhado na área de equipamento de voo da FAB. Este estudo deveria contar com uma pesquisa de dados antropométricos dos pilotos brasileiros, visando embasar a compra e distribuição dos equipamentos, nos moldes do trabalho realizado pela Força Aérea Sul-Coreana em 2012, que comparou os tamanhos oferecidos pela GENTEX para a MBU-20 com as medidas apresentadas por seus pilotos. Também se faz necessária a análise das missões e capacidades de nossas aeronaves (atuais e futuras) em conjunto com os equipamentos de voo disponíveis no mercado, visando perceber alguma melhoria que possa ser implantada para maior segurança dos pilotos, vantagem logística, etc.

4 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BRINKLEY, J. W.; NOYES, F. R.; RING, W. S. USAF non-combat ejection experience 1968-1973 incidence, distribution, significance and mechanism of flail injury. In: AGARD Conference Proceedings, 170., 1975, Toronto. **Biodynamic response to Windblast**. Neuilly-sur-Seine: AGARD, 1975. P. B1-1 – B1-8.

DAMON, A. M.; et al. Kinematic response of the spine during simulated aircraft ejections. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s.l.], v. 81, n. 5, p. 453-459, Maio 2010.

DAVIS, J. R. Et al. (Ed.). **Fundamentals of aerospace medicine**. 4.ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008.

DEPARTMENT OF THE AIR FORCE. **MIL-DTL-87174**: Detail Specification helmet, flyer's HGU-55/P. [s.l.:s.n.], 1983. Disponível em: <<http://www.everyspec.com>> . Acesso em: out. 2014.

DEPARTMENT OF THE AIR FORCE. **MIL-M-87163A**: Military specification mask, oxygen MBU-12/P. [s.l.:s.n.], 1983. Disponível em: <<http://www.everyspec.com>> . Acesso em: out. 2014.

DEPARTMENT OF THE AIR FORCE. **TO 14P3-4-151**: Operation and maintenance instructions with illustrated parts breakdown HGU-55/P. Change 11. Warner Robins: [s.n.], 2012.

EULER, A.J.; HAWKER, F. W. Experimental evaluation of limb flail initiation and ejection seat stability In: AGARD Conference Proceedings, 170., 1975, Toronto. **Biodynamic response to Windblast**. Neuilly-sur-Seine: AGARD, 1975. P. B10-1 – B10-17.

EVERY, M. G. **A summary of Navy air combat escape and survival**. Arlington: Office of Naval Research, 1977. 58 p.

GARRY, K. P.; POPELY, P.; RANDELL, N. **Aerodynamic loads on an aircrew helmet during high speed ejection**. [s.l.]: American Institute of Aeronautics & Astronautics, 1999. 10 p.

GENTEX CORPORATION. **Aircrew products**. Gentex. 2014. Disponível em: <gentexcorp.com/default.aspx?pageid=3636>. Acesso em: set. 2014.

GLAISTER, D.H. (Ed.). **Biodynamic response to Windblast**. Neuilly-sur-Seine: AGARD, 1975

GLOBAL MILITARY REVIEW. **Trials of russian Su-34 Fullback's NPP-Zvezda K-36dm ejection seat.** Global military review. 2013. Disponível em: <<http://globalmilitaryreview.blogspot.com.br/2013/07/trials-of-su-34-fullbacks-npp-zvezda-k.html>>. Acesso em: set. 2014.

LEWIS, M. E. Survivability and injuries from use of rocket-assisted ejection seats: analysis of 232 cases. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s.l.], v. 77, n. 9, p. 936-943, Set. 2006.

NAVAL AEROSPACE MEDICAL INSTITUTE. **U.S. Naval Flight Surgeon's Manual.** 3.ed. Department of the Navy, 1991. 1019 p. Disponível em: <<http://www.operationalmedicine.org/TextbookFiles/FlightSurgeonsManual.pdf>>. Acesso em: out. 2014.

ОАО NPP ZVEZDA. **Авиация.** NPP-Zvezda. Disponível em: < <http://www.npp-zvezda.ru/ru/taxonomy/term/1> >. Acesso em: out. 2014.

PLAGA, J. A.; SPECKER, L. J. **The K-36D ejection seat foreign comparative testing (FCT) program.** Dayton: Armstrong Laboratory, 1996. 424 p.

PLAGA, J.; SANTI, V.; SPECKER, L. Ejection seat capabilities to meet agile aircraft requirements. In: **RTO Technical Report 15: Human consequences of agile aircraft**, Neuilly-sur-Seine: RTO/NATO, p. 121-129, 2001.

QUARTUCCIO, J. J.; WHITLEY, P. E. Head and neck injury issues in naval aviation. LARSON, S. J.; PINTAR, F. A.; YOGANANDAN, N. **Frontiers in head and neck trauma: Clinical e Biomechanical.** Milwaukee: Medical College of Wisconsin, 1998. P. 230-239.

STEMPER, B. D.; et al. Physical effects of ejection on the head-neck complex: demonstration of a cadaver model. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, [s.l.], v. 80, n. 5, p. 489-494, maio 2009.