



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
KARL MARTIN KÜHR

**O APRIMORAMENTO DA CULTURA DE SEGURANÇA DE VOO NA INSTRUÇÃO
DE HELICÓPTEROS NO BRASIL**

Palhoça - SC
2021

KARL MARTIN KUHR

**O APRIMORAMENTO DA CULTURA DE SEGURANÇA DE VOO NA INSTRUÇÃO
DE HELICÓPTEROS NO BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Lato
Sensu* em Gestão e Direito Aeronáutico, da Universidade
do Sul de Santa Catarina, como requisito à obtenção do
título de Especialista em Gestão e Direito Aeronáutico.

Orientação: Prof. Cleo Marcus Garcia, Msc

Palhoça - SC
2021

KARL MARTIN KÜHR

**O APRIMORAMENTO DA CULTURA DE SEGURANÇA DE VOO NA INSTRUÇÃO
DE HELICÓPTEROS NO BRASIL**

Esta Monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Especialista em Gestão e direito Aeronáutico e aprovado em sua forma final pelo Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Gestão e Direito Aeronáutico, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 25 de Maio de 2021.

Professor orientador: Cleo Marcus Garcia, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. José Luiz Gonçalves da Silveira, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho ao meu pai, Dieter Johny Kühr,
que sempre me incentivou e inspirou à carreira
aeronáutica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço por tudo à minha família e a Deus.

RESUMO

Tendo em vista a deficiência na cultura de segurança de voo no Brasil se comparada à norte americana, este trabalho tem o objetivo de aprimorá-la. Esta é uma pesquisa aplicada, teórica, do tipo Explicativa, pois analisa aspectos da segurança de voo de asas rotativas, a correlação entre os elementos dos acidentes (fatores contribuintes, tipo de operação, tipo de ocorrência), e explica a ocorrência dos acidentes aeronáuticos de helicópteros visando preparar as escolas e os profissionais para mitigá-los. A pesquisa é ainda quantiquantitativa, pois analisa números, dados e estatísticas, porém envolve fator humano, técnica, procedimentos e estudos de caso. O trabalho reúne um amplo material de segurança de voo, abordando alguns assuntos desconhecidos ou negligenciados pelas escolas de aviação, como a Recuperação de Vuichard, o SRM (*Single Pilot Resource Management*), e a prevenção contra colisão com fios. Também abordamos amplamente as estatísticas dos acidentes e incidentes graves com helicópteros de acordo com relatório do CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) para contextualizar o cenário da segurança de voo. Apresentamos estatísticas sobre o panorama geral, bem como especificamente sobre os três modelos de helicóptero mais utilizados (e envolvidos em acidentes) no Brasil. Abordamos alguns tipos de estol, como o de pá que recua e de estado de vórtice, com mais profundidade, e também o *mast bump*, num esforço para que os pilotos consigam evitar ou sair rapidamente destes tipos de emergência. Também tratamos de alguns fatores humanos como fadiga e gerenciamento de risco. O trabalho destina-se a pilotos, alunos e instrutores, diretores de escolas de helicóptero, chefes de instrução etc. e parece cumprir seus objetivos de aprimorar a cultura de segurança de voo no Brasil, expondo e analisando vários aspectos importantes da segurança de voo.

Palavras-chave: Segurança; Vuichard; fios; fadiga.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	PANORAMA GERAL	11
2.1	ACIDENTES E INCIDENTES GRAVES	11
2.2	OCORRÊNCIA POR TIPO	12
2.3	OCORRÊNCIA POR MODELO DE AERONAVE	13
2.4	OCORRÊNCIA POR SEGMENTO DA AVIAÇÃO.....	15
2.5	ACIDENTES POR FASE DE OPERAÇÃO.....	16
2.6	RELAÇÃO ENTRE FATALIDADES E OCORRÊNCIAS	17
2.7	FATORES CONTRIBUINTES	18
2.8	ACIDENTES POR MODELO DE HELICÓPTERO.....	19
2.9	HELICÓPTERO ROBINSON R44	20
2.9.1	Acidentes de R44 por tipo de ocorrência	20
2.9.2	Acidentes de R44 por segmento da aviação.....	21
2.9.3	Acidentes de R44 por fase de operação.....	22
2.9.4	Fatores Contribuintes em 40 Relatórios Finais de Acidentes de R44 Publicados no Período.....	22
2.10	ACIDENTES COM R22	23
2.10.1	Acidentes com R22 por Tipo de Acidente.....	24
2.10.2	Acidentes de R22 por Segmento da Aviação	25
2.10.3	Acidentes com R22 por Fase de Operação	26
2.10.4	Fatores Contribuintes nos Acidentes de R22	27
2.11	ACIDENTES COM AS50	28
2.11.1	Acidentes com AS50 por Tipo de Ocorrência	29
2.11.2	Acidentes com AS50 por Segmento da Aviação	30
2.11.3	Acidentes com AS50 por Fase de Operação	31
2.11.4	Fatores Contribuintes nos Acidentes com AS50	32
3	HELICOPTER EMERGENCIES AND HAZARDS.....	33
3.1	AUTO-ROTAÇÃO.....	33
3.1.1	Prática de Auto-rotação	34
3.1.2	Auto-rotação com Curvas	36
3.1.3	Recuperação de Potência na Prática de Auto-rotações	37

3.1.4	Auto-rotação do Pairado Próximo ao Solo	37
3.1.5	Auto- rotações Avançadas	38
3.1.5.1	Encurtar o Planeio	38
3.1.5.2	Estender o Planeio	39
3.1.5.3	Auto-rotação Vertical	39
3.1.5.4	Vídeos Didáticos Interessantes de Auto-Rotações	40
3.2	VORTEX RING STATE – ESTADO DE VÓRTICE.....	40
3.2.1	Definição de Estado de Vórtice nos Livros Didáticos Brasileiros.....	41
3.2.2	A Recuperação de Vuichard	43
3.2.3	Tail Rotor Vortex Ring State – Estado de Vórtice no Rotor de Cauda.....	45
3.3	RETREATING BLADE STALL – ESTOL DA PÁ QUE RECUA	46
3.4	RESSONÂNCIA COM O SOLO	47
3.5	DYNAMIC ROLLOVER – ROLAGEM DINÂMICA	49
3.6	CONDIÇÕES DE BAIXO G E MAST BUMPING.....	51
3.6.1	Orientações para Evitar o Mast Bump	52
3.6.2	NEW ZEALAND HELICOPTER ASSOCIATION SAFETY BULLETIN	53
4	TOMADA DE DECISÃO AERONÁUTICA EFICIENTE	60
4.1	AS DICAS DE TRECOTT	61
4.2	AUTO-AVALIAÇÃO DO PILOTO	62
4.3	SINGLE PILOT MANAGEMENT – SRM.....	63
4.3.1	Manejo de Risco	64
4.3.1.1	Os Quatro Elementos do Risco	64
4.3.1.2	Avaliando o Risco.....	66
4.3.1.3	O Modelo 3P de Manejo de Risco	66
4.3.2	Consciência Situacional	68
4.3.2.1	Obstáculos Para Manter a Consciência Situacional.....	69
5	PREVENÇÃO CONTRA COLISÃO COM FIOS	71
5.1	PANORAMA GERAL DOS ACIDENTES	71
5.2	PERDA DE CONTROLE EM VOO	72
5.2.1	Estudo de Caso	72
5.3	FALHA DE MOTOR EM VOO.....	75
5.4	COLISÃO COM OBSTÁCULOS	76
5.5	VÍDEO DA HELICOPTER ASSOCIATION INTERNATIONAL.....	77
5.6	RECONHECIMENTO ALTO/BAIXO	77

5.7	OUTRAS CONSIDERAÇÕES	79
5.8	SCUD RUNNING	81
5.9	VIDEO DA AERIAL AGRICULTURAL ASSOCIATION OF AUSTRALIA	81
5.10	SN-16	82
5.11	SN-41	84
5.12	OUTRAS RECOMENDAÇÕES	85
6	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

A aviação como um todo é uma atividade delicada. Pequenos deslizes podem ocasionar grandes tragédias, seja por erro humano ou falha mecânica. Grande parte destas tragédias, ou todas, mas principalmente aquelas que ocorrem por erro humano (julgamento de pilotagem, fadiga, instrução deficiente etc.) podem ser evitadas. Uma forma que parece ser eficiente em mitigar estes acidentes é aplicar uma cultura de segurança mais ampla e aprofundada nas escolas de aviação. O segmento das asas rotativas, ou seja, dos helicópteros, parece ser particularmente carente neste aspecto, já que é um segmento muito pequeno se comparado ao de asas fixas (aviões), e ao mesmo tempo, a instrução de helicóptero parece ser mais delicada do que a de avião por uma série de motivos. Entre eles, o fato que se exige aproximadamente metade do número de horas de voo em comparação ao avião para o aluno adquirir a licença pretendida. Além disso, a literatura é muito restrita e limitada no Brasil. A ANAC parece desautorizar livros mais atualizados como os da FAA (Federal Aviation Administration) por serem estrangeiros, e no Brasil, a bibliografia específica e recomendada para helicópteros soma apenas 5 livros, e o mais atualizado é de 2003. É uma arrogância provinciana, para não dizer “caipira”, do órgão regulador recusar a bibliografia norte-americana, e não haver uma tradução brasileira daqueles livros é algo que raia a incompetência.

Voltando ao nosso assunto, a instrução de helicóptero é mais delicada do que a de avião por estes motivos, e além deles, é consenso que a habilidade necessária para pilotar uma aeronave de asas rotativas é superior à necessária para pilotar um avião, o que pode ser afirmado sem arrogância nenhuma por profissionais em ambas as categorias e com igual paixão por ambas. O helicóptero se move por mais eixos do que o avião, ele pode voar de lado e à ré, pode subir e descer verticalmente, e possui ainda a possibilidade do voo pairado ou em baixa velocidade. Este último item em particular é algo que caracteriza muito bem a dificuldade na instrução de helicóptero, pois como veremos em frente, o índice de acidentes por perda de controle no solo e colisão com obstáculo no solo é muitas vezes superior nos voos de instrução do que nos outros tipos de voo, demonstrando a dificuldade que um aluno pode ter em aprender o voo pairado, bem como o instrutor pode ter em ensiná-lo.

Esta questão da segurança de voo é urgente para todos os instrutores de voo. Sempre foi um assunto considerado por todos os instrutores como sendo de primeira importância, mas o aluno acaba por ter a sensação de segurança, que aliás, não é falsa, pela presença do instrutor na cabine. No entanto, para o instrutor na cabine que precisa garantir a

segurança do aluno, e do voo, e a minha preocupação pode se estender para todas as cabines em todos os helicópteros, especialmente naquelas onde ocorre instrução de voo.

Uma forma que parece ser eficiente para melhorar a cultura de segurança de voo no Brasil é um estudo aprofundado sobre as causas dos acidentes, os tipos de pane, seus índices de ocorrência, como preveni-las e como sair da situação de perigo, e que este estudo seja difundido no meio aeronáutico, o que se pretende com este trabalho. Pretende-se fazer uma contribuição real para a segurança de voo na instrução de asas rotativas, e boa parte (ou quase tudo) do que constará nele servirá também para a operação normal de helicópteros. Um estudo desta natureza pode, enfim, prevenir fatalidades.

Os dados apresentados neste TCC foram obtidos em relatórios oficiais do CENIPA, do *International Helicopter Safety team* e do *Brazilian Helicopter Safety Team*, que são fontes oficiais, e as recomendações serão retiradas de livros oficiais da FAA, como o “*Helicopter Flying Handbook*” (FAA, 2019), que eu acredito que seja a melhor bibliografia existente no momento, bem como fontes nacionais, como o “Teoria de voo Helicópteros” (ROCHA, 2013) e o “Aerodinâmica do Helicóptero teoria de voo conhecimentos técnicos” (JOFFILY, 2000), com a ressalva que estes últimos são passíveis de críticas neste trabalho. Ainda vale mencionar que parte da cultura de segurança de voo apresentada foi obtida em muitos seminários de segurança de voo no Brasil e nos EUA, e pretende-se ainda neste trabalho reunir aspectos de padronização, práticas seguras e cultura de segurança de voo.

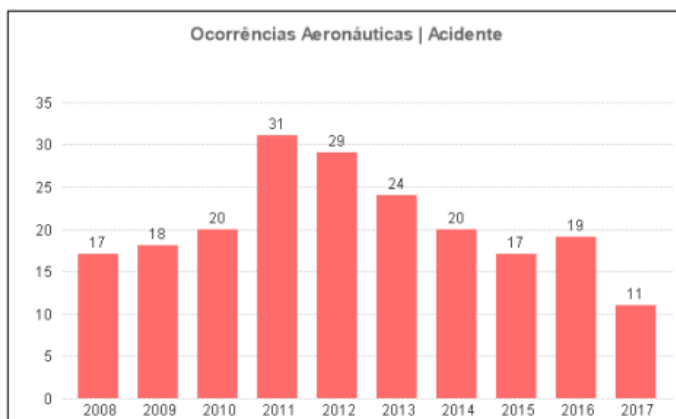
2 PANORAMA GERAL

2.1 ACIDENTES E INCIDENTES GRAVES

Quando se fala em segurança de voo, o que mais se busca evitar são os acidentes aeronáuticos, que diferem dos incidentes por causarem lesões a seres humanos (podendo ou não levar à morte) ou dano permanente à aeronave. Os acidentes são mais graves do que os incidentes, mas mesmo os incidentes devem ser prevenidos com muita seriedade.

Uma espécie de termômetro que se pode usar para medir o estado da segurança de voo no Brasil é analisar os números dos acidentes e incidentes graves no país em anos recentes. O relatório completo mais recente disponível na página do CENIPA demonstra que houve 206 acidentes durante o período de 2008 a 2017, com uma média então de 21 acidentes por ano. Esta média baixou em 1 desde o último relatório, que cobriu o período entre 2006 e 2015, com 211 acidentes. O mesmo relatório observa ainda que houve 54 incidentes graves entre 2008 e 2017 (CENIPA, 2018).

Figura 1 – Acidentes entre 2008 e 2017.



Fonte: CENIPA (2018)

Figura 2 – Incidentes graves entre 2008 e 2017.

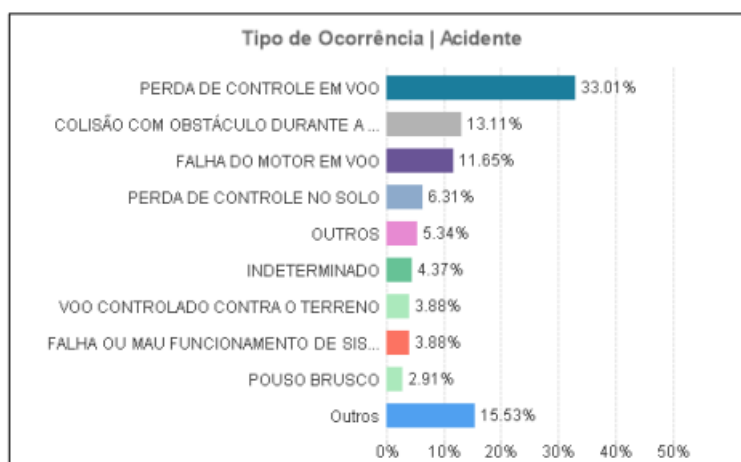


Fonte: CENIPA (2018)

2.2 OCORRÊNCIA POR TIPO

Por tipo de acidente, de acordo com o relatório do CENIPA, o percentual se distribui da seguinte maneira (CENIPA, 2018):

Figura 3: Distribuição dos acidentes entre 2008 e 2017 por tipo.

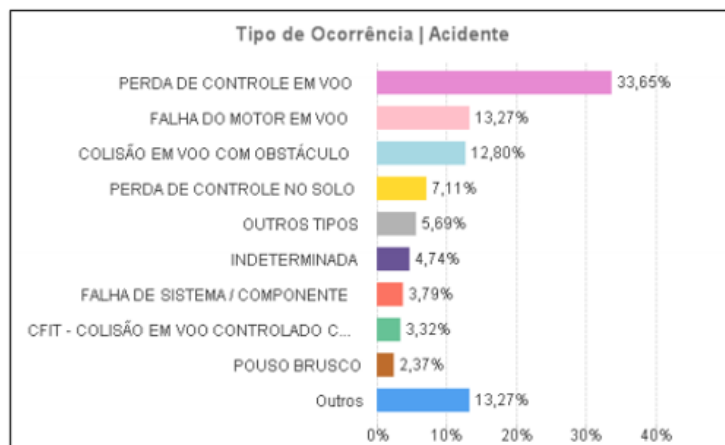


Fonte: CENIPA (2018)

Pelos números, observa-se na Figura 3 que as três primeiras causas são: perda de controle em voo; colisão com obstáculo durante a decolagem ou pouso; falha de motor. Estas três causas representam 57,8% dos acidentes (CENIPA, 2018).

Curiosamente, há uma pequena diferença entre estes números e os relativos ao período entre 2006 e 2015, onde se observa na figura 4:

Figura 4: Distribuição dos acidentes entre 2006 e 2015 por tipo.



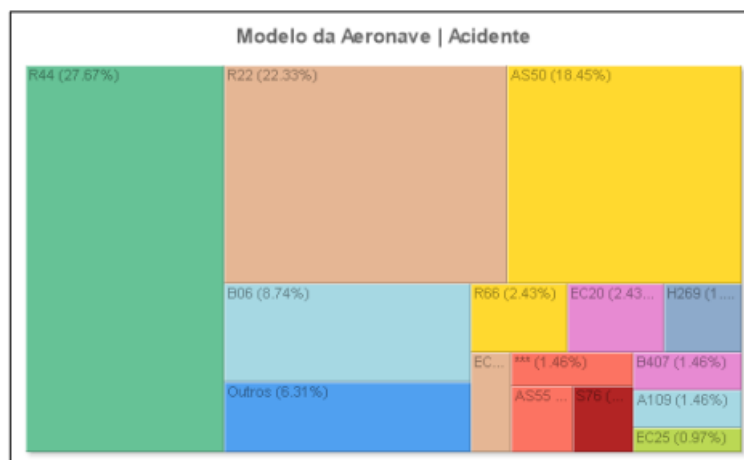
Fonte: CENIPA (2016)

Neste período anterior, as colisões com obstáculo e falhas de motor ocupam lugares invertidos em relação ao período de 2008 a 2017. De qualquer forma, a perda de controle em voo ocupa a primeira posição em ambos os períodos. No mais atual, este tipo corresponde a 33, 01% dos acidentes, mais do que os três próximos tipos somados. Sendo a causa mais comum com praticamente um terço dos acidentes, este tipo de situação, a perda de controle em voo, merece atenção especial neste trabalho, sem prejuízo para os outros tipos, até porque o tipo de acidente mais letal é a colisão com fios e cabos.

2.3 OCORRÊNCIA POR MODELO DE AERONAVE

De acordo com o Sumário Helicópteros, por modelo de aeronave, entre os anos de 2008 e 2017, os modelos de aeronave que mais se envolveram em acidentes são o R44 em primeiro lugar com 27,67%, o R22 com 22,33% e o AS350 Esquilo com 18,45%, valendo ainda a menção do B206 JetRanger, com 8,74%, como demonstrado na figura 5 (CENIPA, 2018):

Figura 5: Percentual de aeronaves envolvidas em acidentes por modelo entre 2008 e 2017.

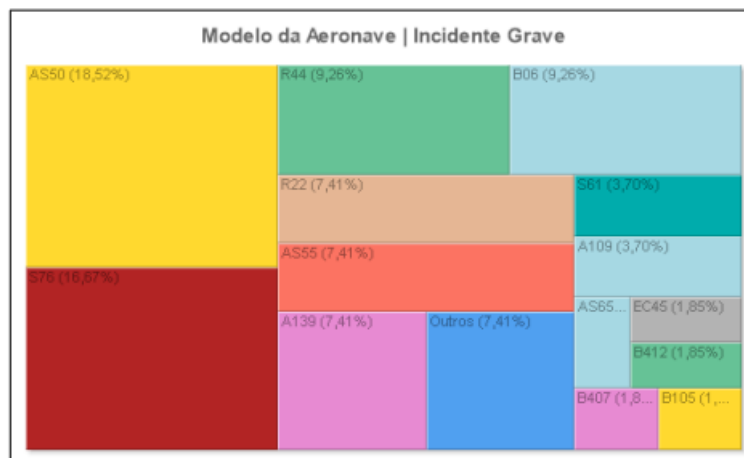


Fonte: CENIPA (2018)

No relatório anterior, os três modelos de aeronaves que se envolvem com mais frequência são os mesmos e na mesma ordem. Isto não significa de forma alguma que estas aeronaves sejam particularmente inseguras. Ao contrário, todas são muito seguras, contanto que estejam com a manutenção em dia e criteriosa, e sejam operadas de acordo com suas especificações. O índice mais elevado de acidentes com estas aeronaves deve-se ao maior volume presente destas aeronaves no espaço aéreo brasileiro, sendo as três, grandes sucessos de vendas.

Curiosamente, no que se refere à ocorrência de incidentes graves, as aeronaves mais envolvidas foram, nesta ordem, o AS350 com 18,52%, o S76 com 16,57% e o R44 com 9,26%, valendo ainda a menção ao R22 com 7,41%, como demonstrado na figura 6 (CENIPA, 2018):

Figura 6: Porcentagem de aeronaves envolvidas em incidentes graves entre 2008 e 2017.

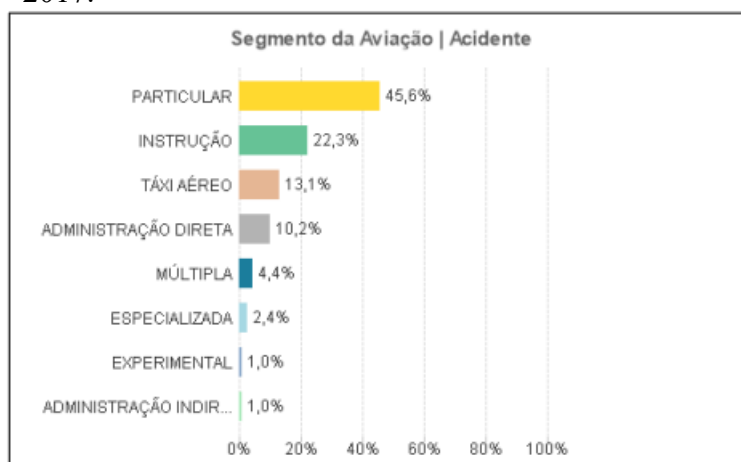


Fonte: CENIPA (2018)

2.4 OCORRÊNCIA POR SEGMENTO DA AVIAÇÃO

Por segmento da aviação, como se observa na figura 7, os segmentos onde acidentes ocorreram com mais frequência foram: particular, com 45,6%, instrução, com 22,3%, e táxi aéreo, com 13,1%. Estes números também refletem o volume de operação (CENIPA, 2018).

Figura 7: Porcentagem de acidentes por segmento da aviação entre 2008 e 2017.



Fonte: CENIPA (2018)

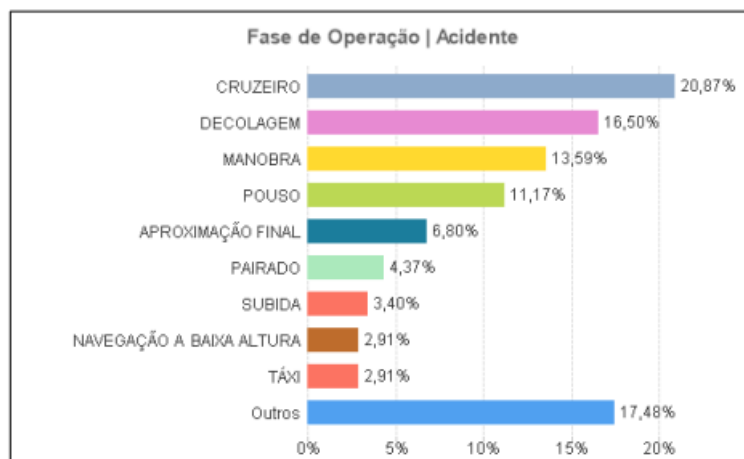
O tipo de voo que a aeronave realizava no momento do acidente coincide quase exatamente com o segmento da aviação. Nota-se que os acidentes em voos de instrução superam os 20% (no entanto, os incidentes graves neste segmento são de 9,26%), porém a

instrução está de alguma forma ligada à mais acidentes, pois uma instrução deficiente pode ser um fator contribuinte chave.

2.5 ACIDENTES POR FASE DE OPERAÇÃO

Por fase de operação, tanto os acidentes como incidentes graves, a maioria deles (superior a 20%) ocorre durante a fase de cruzeiro, apesar do senso comum de que as fases mais delicadas são a decolagem e o pouso. Isto parece ser mais verdade na operação de aviões. Este dado aliado ao fato de que a maior parte dos acidentes ocorre devido à falha do motor é muito significativo, e pode sugerir que a manutenção dos helicópteros, principalmente o grupo moto-propulsor, pode melhorar, bem como deve-se dar mais atenção às limitações e especificações de cada aeronave. De fato, o pouso é particularmente delicado em ambas as categorias de aeronaves, cada um devido às suas próprias características. Os helicópteros, por exemplo, podem colocar-se em uma situação de potencial estol de anéis de vórtice em uma aproximação de grande ângulo (que aliás, é bastante comum), com baixa velocidade e elevada razão de descida. No caso dos aviões, a decolagem parece ser mais delicada, uma vez que existe uma velocidade crítica onde o piloto precisa tomar a decisão de prosseguir com a decolagem ou abortá-la na ocorrência de uma falha de motor, caso seja um multimotor. Já uma pane de motor em um avião monomotor sempre impossibilita o prosseguimento com a decolagem, e se a determinada velocidade e baixa altura, dependendo ainda do tamanho da pista, já pode ser impossível frear antes dos obstáculos ou pousar à frente na pista, sendo necessário um pouso forçado visando minimizar os danos.

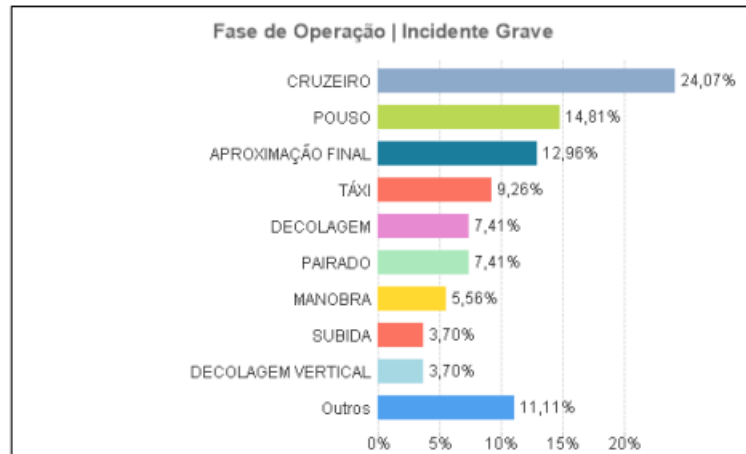
Figura 8: Porcentagem dos acidentes de 2008 a 2017 por fase de operação.



Fonte: CENIPA (2018)

No que tange aos incidentes graves, há pequena diferença. Percebe-se, no entanto, na figura 9, que incidentes graves são significativamente mais frequentes do que acidentes na fase de pouso, e significativamente menos frequentes na fase de manobra.

Figura 9: Porcentagem dos incidentes graves entre 2008 e 2017 por fase de operação.

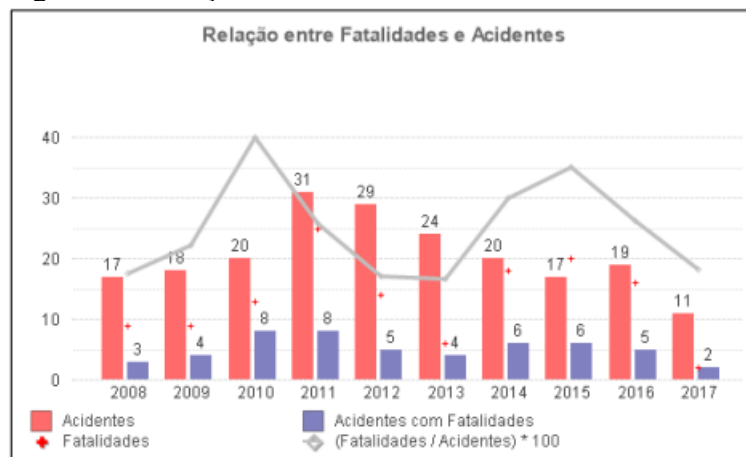


Fonte: CENIPA (2018)

2.6 RELAÇÃO ENTRE FATALIDADES E OCORRÊNCIAS

No período entre 2008 e 2017, de acordo com o relatório do CENIPA, houve 132 fatalidades, portanto, uma média de 13 por ano.

Figura 10: Relação entre fatalidades e acidentes.



Fonte: CENIPA (2018)

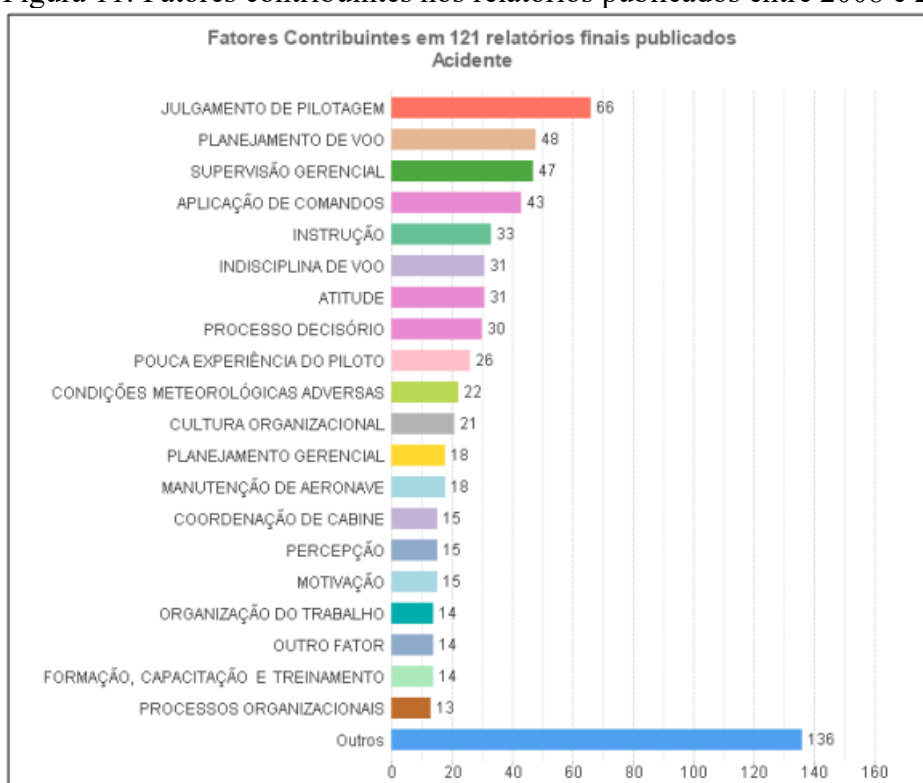
Há muitas décadas, de acordo com várias fontes, como a *Helicopter Association International* e mesmo o próprio Frank Robinson, a causa número 1 de fatalidades na

operação de helicóptero são as colisões com fios, e este tipo de acidente será considerado em especial neste trabalho.

2.7 FATORES CONTRIBUINTES

Ainda é interessante comentar os fatores contribuintes nos relatórios que foram publicados durante os anos de 2008 a 2017 pelo CENIPA:

Figura 11: Fatores contribuintes nos relatórios publicados entre 2008 e 2017.



CENIPA (2018)

Nota-se na figura 11 que muitos fatores contribuintes parecem ser sanáveis e mitigá-los é parte do objetivo deste trabalho. Acerca da supervisão gerencial, parece haver pouco o que se dizer, pois a responsabilidade final pela segurança de voo é, enfim, do comandante da aeronave, mas quanto aos outros fatores, pelo menos a maioria deles parece sanável. É um tanto difícil de aceitar que um acidente ocorra, por exemplo, por falta de planejamento de voo, bem como por indisciplina. Sobre o julgamento, que é o principal fator contribuinte, curiosamente, ele parece não vir com a experiência, pois grande parte dos pilotos que se envolve em acidentes possuem vasta experiência. O julgamento parece desenvolver-se, ao

invés disso, pelo estudo. É compreensível, no entanto, que mesmo o julgamento dos melhores e mais estudiosos profissionais venha a falhar, pois isto é parte essencial da condição humana.

2.8 ACIDENTES POR MODELO DE HELICÓPTERO

Como comentado, no relatório do CENIPA, neste período de 2008 a 2017, os três modelos de helicóptero foram o R44, R22 e AS350. Os números seguem na tabela 1:

Tabela 1: Estatísticas por modelo de helicóptero.

Tipo ICAO	Acidentes	Acidentes com Fatalidades	Fatalidades	Aeronaves Destruidas
R44	57	14	29	18
R22	46	5	10	4
AS50	38	11	31	7
B06	18	6	12	5
EC20	5	1	2	1
R66	5	2	3	2
H269	4	0	0	2
***	3	2	6	2
A109	3	2	3	1
AS55	3	2	8	2
B407	3	1	5	1
EC30	3	1	1	1
S76	3	0	0	0
B212	2	1	2	0
EC25	2	0	0	0
A119	1	1	8	1
A139	1	1	4	1
B105	1	0	0	1
B412	1	0	0	1
B430	1	0	0	0
EC45	1	0	0	0
EC55	1	1	5	1
G2CA	1	0	0	0
MD60	1	0	0	1
S92	1	0	0	0
ZZZZ	1	0	0	1
AS65	0	0	0	0
EC35	0	0	0	0
PSW4	0	0	0	0
S61	0	0	0	0
Total	206	51	129	53

Fonte: CENIPA (2018)

Como também comentado, esses três helicópteros não são de forma alguma particularmente inseguros. Examinemos mais detalhadamente cada um.

2.9 HELICÓPTERO ROBINSON R44

Conforme o site do fabricante (Robinson Helicopter Company, 2021), o R44 é um helicóptero com espaço para o piloto e mais 3 passageiros (ou piloto, copiloto e mais 2 passageiros), motor à pistão com consumo relativamente baixo e boa potência (cerca de 245HP), de manutenção relativamente simples e barata, velocidade de cruzeiro de 200 Km/h (108 nós) e alcance superior a 500km com o tanque cheio. Este é o helicóptero mais vendido no Brasil e no mundo, e não é de se espantar que a maioria dos acidentes ocorra com este modelo, apesar de ser muito seguro se operado corretamente e possuir manutenção em dia e criteriosa. No período entre 2008 e 2017 ocorreram 57 acidentes envolvendo este tipo de aeronave, dentre os quais 14 acidentes ocasionaram 29 mortes (CENIPA, 2018).

Foto 1: Robinson R44 em voo

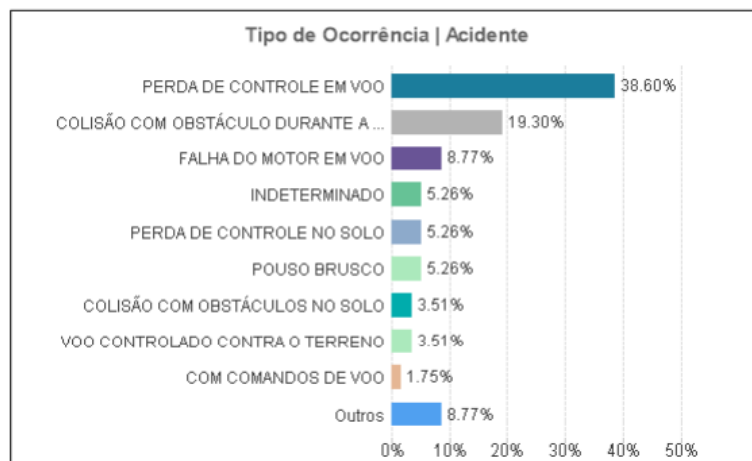


Fonte: Robinson Helicopter Company (2021)

2.9.1 Acidentes de R44 por tipo de ocorrência

Por tipo de ocorrência, os acidentes de R44 mais frequentes são devido à perda de controle em voo, colisão com obstáculo durante a decolagem ou pouso e falha de motor em voo, contabilizando 66,7% dos acidentes.

Figura 12: Acidentes de R44 por tipo de ocorrência entre 2008 e 2017.



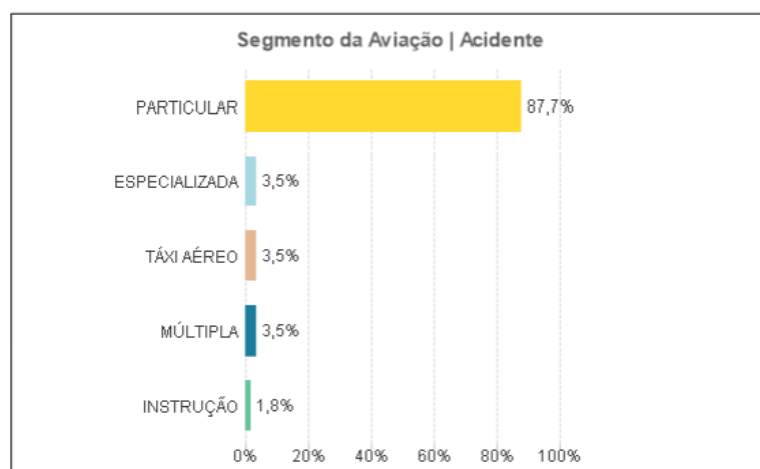
Fonte: CENIPA (2018)

As ocorrências de R44 não destoam muito do panorama geral. A perda de controle em voo é o tipo mais comum de acidente, e será devidamente abordada no projeto.

2.9.2 Acidentes de R44 por segmento da aviação

A distribuição de acidentes de R44 conforme o segmento de aviação no período é perfeitamente condizente com o esperado, sendo 87,7% no segmento de aviação particular. Como foi comentado, este helicóptero é o mais utilizado neste tipo de operação. Seguem os números (CENIPA, 2018):

Figura 13: Acidentes com R44 entre 2008 e 2017 por segmento.

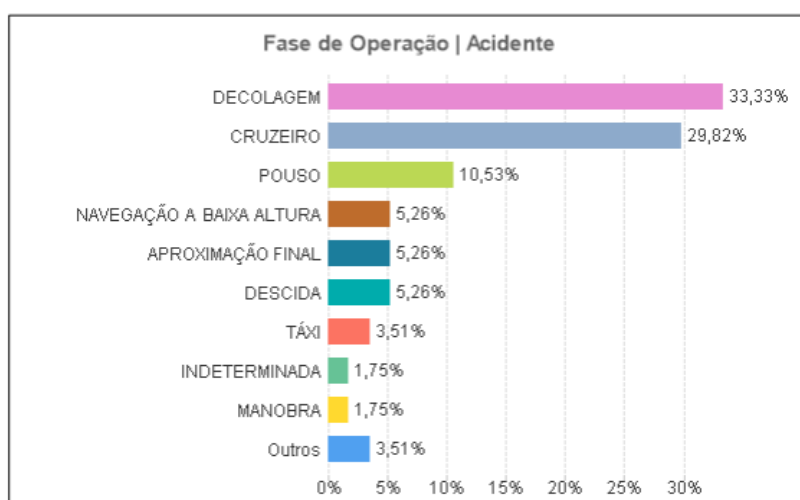


Fonte: CENIPA (2018)

2.9.3 Acidentes de R44 por fase de operação

É interessante notar na Figura 14 que os acidentes por fase de operação destoam bastante no R44, sendo a maior parte deles (um terço) durante a decolagem, seguido por 29,82% durante o cruzeiro e 10,53% durante o pouso. No panorama geral, 20,87% dos acidentes ocorre na fase de cruzeiro, 16,50% durante a decolagem, 13,59% durante manobra e 13,59% durante o pouso (CENIPA, 2018).

Figura 14: Acidentes de R44 por fase de operação.

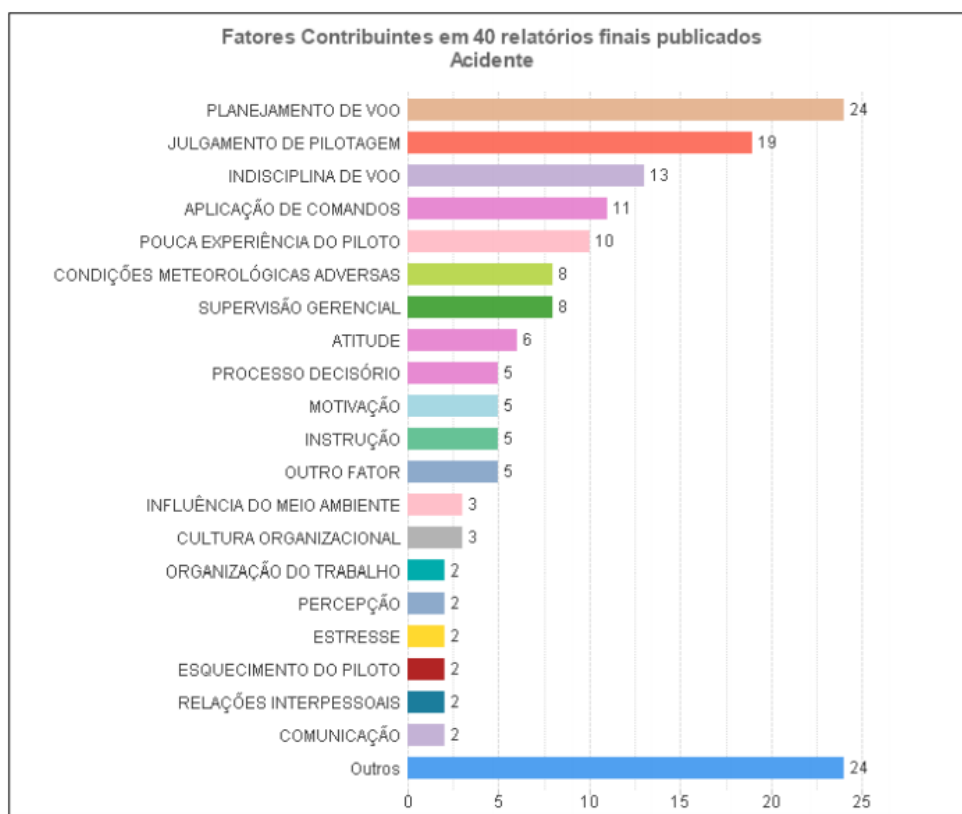


Fonte: CENIPA (2018)

2.9.4 Fatores Contribuintes em 40 Relatórios Finais de Acidentes de R44 Publicados no Período

Voltando à finalidade deste trabalho, os fatores contribuintes tornam gritante a necessidade de uma atenção especial do setor à segurança de voo, sem desrespeito nenhum aos comandantes envolvidos nos acidentes, até porque cada caso é um caso, mas eu considero problemático que acidentes ocorram, por exemplo, por conta de um planejamento deficiente. É patente também que as escolas de pilotagem poderiam dar mais foco a este aspecto do voo. Então vamos aos números que estão na Figura 15.

Figura 15: Fatores contribuintes em 40 relatórios finais de acidentes de R44 entre 2008 e 2017.



Fonte: CENIPA (2018)

Como se pode notar, o planejamento de voo deficiente foi mencionado 24 vezes nestes 40 relatórios. É mais difícil fazer uma crítica ao julgamento de pilotagem, com 19 menções, porque na iminência de um acidente, não é possível se colocar perfeitamente na posição do comandante, mas o próximo item desta lista, indisciplina de voo, é particularmente desconcertante.

2.10 ACIDENTES COM R22

O R22 é um helicóptero tipicamente utilizado para instrução de voo. Com 2 lugares, o site do fabricante (Robinson Helicopter Company, 2021) informa que ele possui uma velocidade de cruzeiro de 177 Km/h (95 nós) e alcance de 386 Km (2 horas e meia de autonomia), ele possui pouca potência, podendo ser tão baixa como 124 HP, muito menos do que seu concorrente com esta finalidade (instrução), o S300, que possui 180 HP. Particularmente para a instrução, é necessário salientar ainda que o R22 possui um

governador para manter constante o RPM (Rotações Por Minuto) do motor, ao passo que o S300 possui apenas um *correlator*, e o ajuste do RPM precisa ser feito no manete do coletivo, pelo piloto. Se é preferível utilizar um helicóptero com ou sem governador para dar instrução, cabe debate, porque ao mesmo tempo que a imensa maioria dos helicópteros possuem governador e é bom que o piloto aprenda desde cedo operar um helicóptero que possui, já que ele apresenta um pequeno *delay* (atraso, tradução nossa) nas mudanças de passo coletivo, também é fato que a aeronave pode apresentar uma pane de governador, obrigando o piloto a controlar o RPM manualmente, sendo adequado que ele o tenha feito durante o treinamento. No Brasil, é proibido desligar o governador de aeronaves R22, mesmo que para treinamento. O principal tipo de acidente que ocorre com essa aeronave, como em outras, é a perda de controle em voo, que frequentemente está relacionada à queda de RPM. Além disso, por ser um helicóptero bi-pá de rotor semi-rígido, o R22 (e qualquer helicóptero da marca Robinson) está sujeito a acidentes de “*mast bump*”, que será abordado mais à diante. Entre 2008 e 2017 ocorreram 46 acidentes com R22, ocasionando 10 mortes em 5 acidentes.

Foto 2: Robinson R22 em voo.



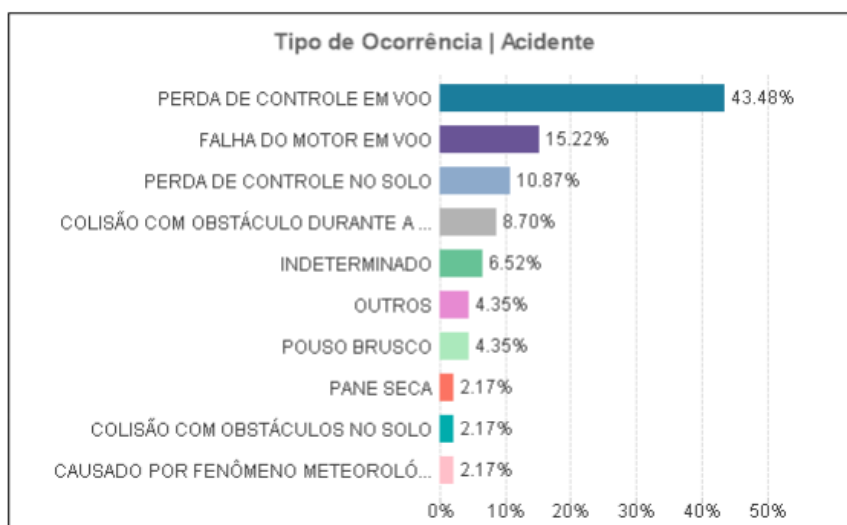
Fonte: Robinson Helicopter Company (2021)

2.10.1 Acidentes com R22 por Tipo de Acidente

Os tipos de acidente mais frequentes no pequeno R22 são um tanto destoantes em relação ao seu irmão maior, o R44, e isto é um reflexo do fato desta aeronave ser utilizada majoritariamente para instrução. Durante o período considerado, os tipos de ocorrência mais

freqüentes foram a perda de controle em voo, falha de motor e perda de controle no solo. É atípico que uma aeronave sofra perda de controle no solo, porém isto pode não ser verdade para voos de instrução, pois o voo pairado pode ser considerado um tanto difícil para o aluno aprender. Não é muito difícil que o aluno leve a aeronave a um movimento pendular, que colida a cauda com o solo, pilone, ou colida alguma parte do helicóptero com um obstáculo no solo. Segue então a distribuição de acidentes de R22 por tipo no período.

Figura 16: Distribuição de acidentes de R22 por tipo de ocorrência.

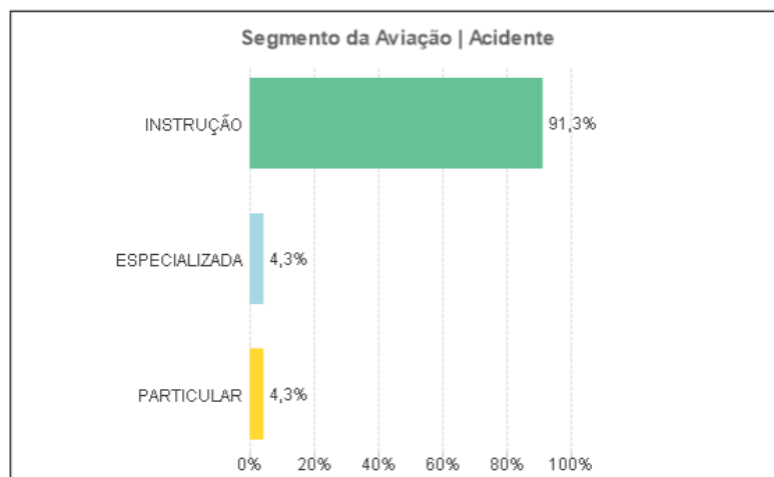


Fonte: CENIPA (2018)

2.10.2 Acidentes de R22 por Segmento da Aviação

O R22 é o helicóptero de instrução por excelência, e não poderia ser diferente que a maioria dos acidentes com este helicóptero ocorrem neste tipo de operação. Foi comentado que seu concorrente na instrução, o S300, que é um helicóptero criado especialmente com esta finalidade, é muito mais potente, e também mais pesado, portanto, mais estável, e menos suscetível à ação, por exemplo, do vento, constante ou de rajada, o que o torna neste aspecto, mais seguro, porém o S300 é utilizado por apenas algumas poucas escolas de aviação no Brasil.

Figura 16: Porcentagem de acidentes com R22 por segmento da aviação.

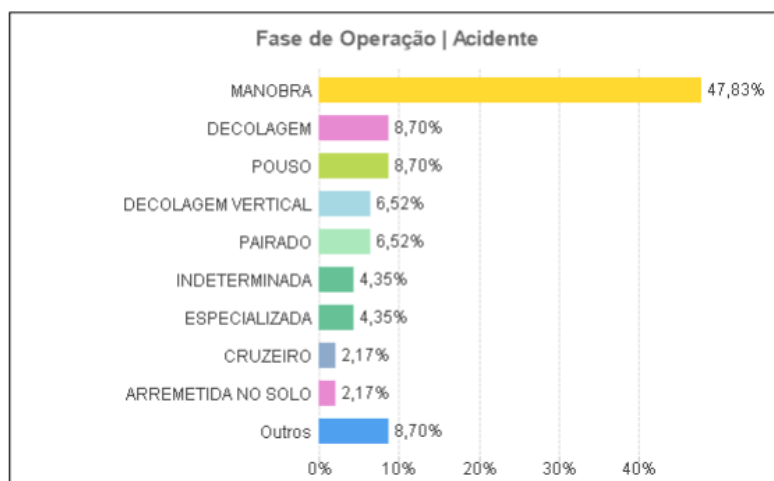


Fonte CENIPA (2018)

2.10.3 Acidentes com R22 por Fase de Operação

Como se pode verificar na Figura 17, A distribuição de acidentes por fase de operação com o R22 difere bastante do R44 (devido à natureza totalmente diferente da operação) e do panorama geral. No R22, quase metade dos acidentes acontece em fase de manobra, que no caso é a instrução propriamente dita. Isto, aliado ao fato de que a maioria dos acidentes é de perda de controle em voo, sugere que cabe um estudo das causas da perda de controle em voo e como mitigá-la. O R22 está, por exemplo, mais sujeito à entrada em estado de vórtice, devido à sua baixa potência. Uma orientação neste sentido é utilizar ao máximo o efeito de sustentação translacional, bem como o efeito solo.

Figura 17: Acidentes de R22 por fase da operação

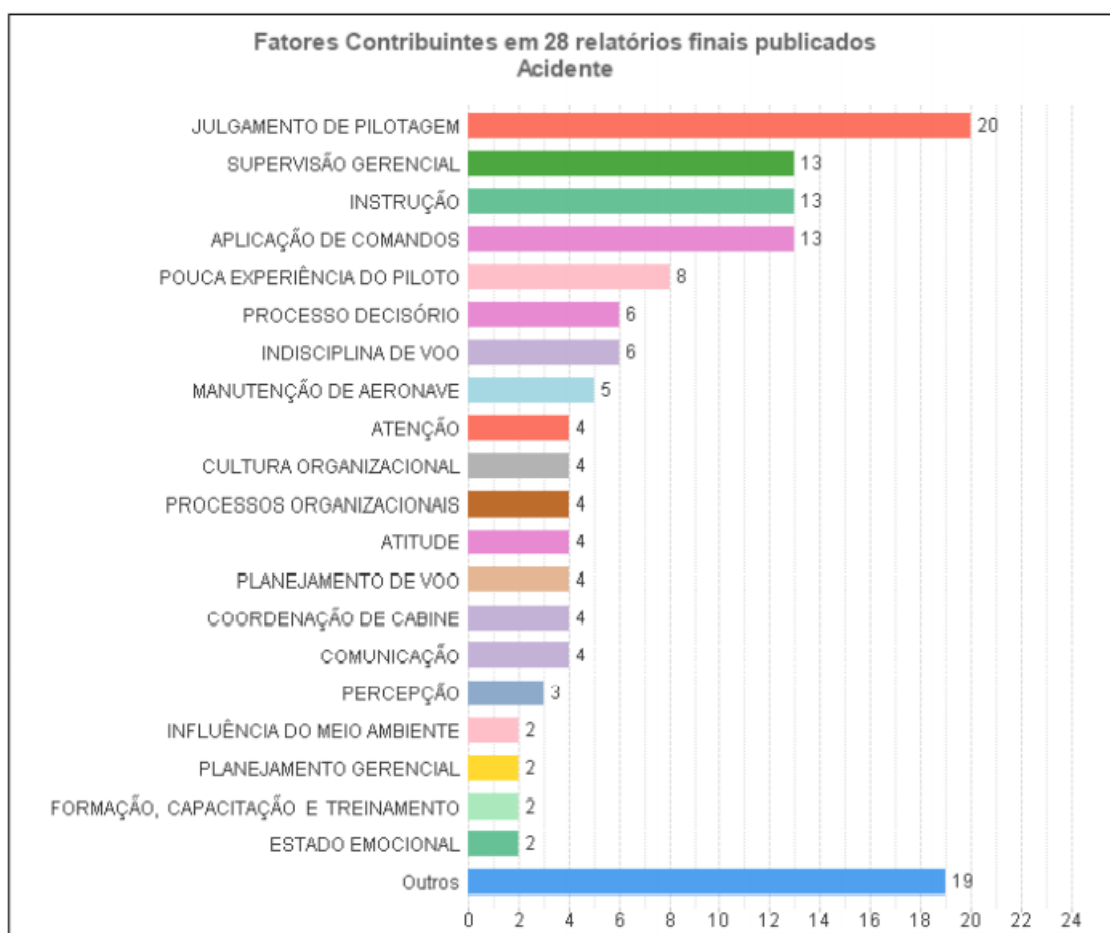


Fonte: CENIPA (2018)

2.10.4 Fatores Contribuintes nos Acidentes de R22

Nos acidentes com R22, sendo mais que 90% em voos de instrução, o aluno é, por definição, inexperiente e em fase de aprendizado, e o instrutor é, em geral, também um pouco inexperiente (no geral, sem prejuízo algum para sua competência), já que o caminho normal na carreira de piloto é dar instrução após ser aluno, quase sempre (infelizmente) com a finalidade de acumular horas para subir na carreira. Então a ordem dos fatores contribuintes citados nos 28 relatórios finais emitidos entre 2008 e 2017 não causa surpresa. Seguem os números (CENIPA, 2018).

Figura 17: Fatores contribuintes em acidentes de R22.



Fonte: CENIPA (2018)

Como se observa, o fator contribuinte mais citado é o julgamento de pilotagem. Quanto a isso, parece haver pouco a se comentar. Ainda, não é exatamente correto dizer que a experiência, acúmulo de horas de voo, etc, afina tão bem o julgamento, pois grande parte dos

acidentes ocorre com pilotos experientes. O que cabe um comentário mais elaborado é o segundo fator contribuinte da lista, que empata com os dois seguintes: supervisão gerencial. Este fator contribuinte sugere que os pilotos ou instrutores não seguiram alguma determinação da gerência. Todo tipo de situação pode ocorrer em uma escola de aviação ou na aviação geral. Existem boatos, para não ser antiético, que certas escolas e operadores cometem uma série de irregularidades, como manutenção deficiente para gerar economia, voos com o horímetro desligado, entre outras, apesar que a manutenção da aeronave foi fator contribuinte em apenas 5 acidentes. Eu entendo por falta de supervisão gerencial que a operação não seguia padronizada. É fato que as escolas brasileiras pecam na padronização.

2.11 ACIDENTES COM AS50

O helicóptero AS50 é, como o R44, um estrondoso sucesso de vendas. O fabricante (Airbus, 2021) informa em seu site oficial que ele possui capacidade para um ou dois pilotos e mais 5 passageiros, um motor a reação de incríveis 847 HP, velocidade máxima de 245 Km/h (132 nós), autonomia de 4 horas e alcance de 660KM, é um helicóptero bonito, potente, inovador, seguro, com um bom custo de operação, e que continuou se modernizando desde sua criação. É, portanto, um helicóptero muito presente na aviação geral de asas rotativas e também em táxi aéreo. No período de 2008 a 2017, de acordo com o Sumário Helicópteros do CENIPA, houve 38 acidentes com esse tipo de aeronave, dos quais 11 ocasionaram 31 mortes (CENIPA, 2018).

Foto 3: AS350 em voo

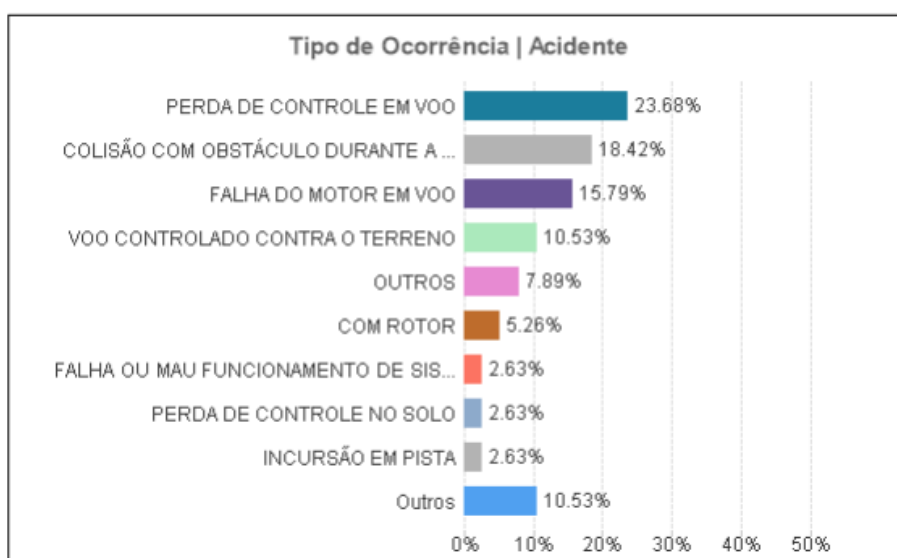


Fonte: Airbus (2021)

2.11.1 Acidentes com AS50 por Tipo de Ocorrência

Os tipos de ocorrência com o AS50 não destoam do panorama geral, como é possível observar na Figura 18. É curioso observar que neste relatório do CENIPA não se caracteriza mais acidentes do tipo “colisão com obstáculo em voo”, mas sim “colisão com obstáculo durante a decolagem”. É claro que, em voo de cruzeiro, a pelo menos 2.000 pés de altura, um helicóptero ou avião mantém-se quase 100% livre da possibilidade de colisões com obstáculos, com a ressalva que existem algumas torres e fios de alta tensão (ou mesmo fios tensores de torres muito altas) que superam esta altura. Este projeto terá um capítulo dedicado à prevenção contra colisões com fios.

Figura 18: Acidentes com AS50 por tipo de ocorrência.

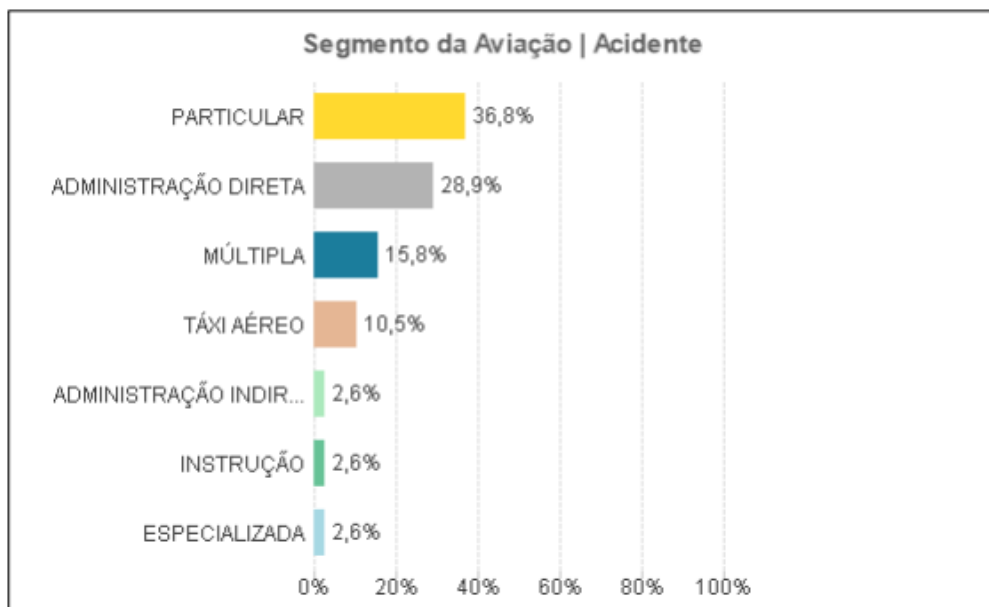


Fonte: CENIPA (2018)

2.11.2 Acidentes com AS50 por Segmento da Aviação

O AS50, como foi comentado, é muito utilizado na aviação particular, então é esperado que a maioria dos acidentes com esta aeronave ocorram neste segmento (CENIPA, 2018).

Figura 19: Acidentes com AS50 por segmento da aviação.

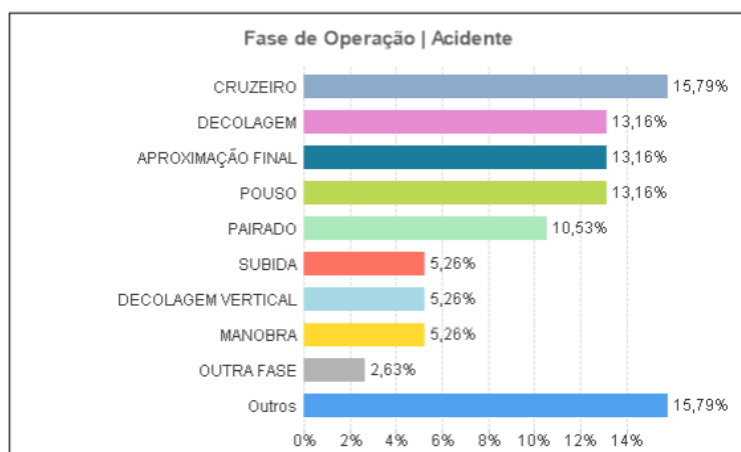


Fonte CENIPA (2018)

2.11.3 Acidentes com AS50 por Fase de Operação

Os acidentes com AS50 no período de 2008 a 2017 possuem correlação entre o tipo de acidente e a fase da operação. A maior parte dos acidentes foi perda de controle em voo, e ocorreu durante o cruzeiro (CENIPA, 2018). Também houve quantidade expressiva de colisões durante a decolagem e pouso, que ocorrem, naturalmente, nesta fase da operação.

Figura 20: Acidentes com AS50 por fase de operação.

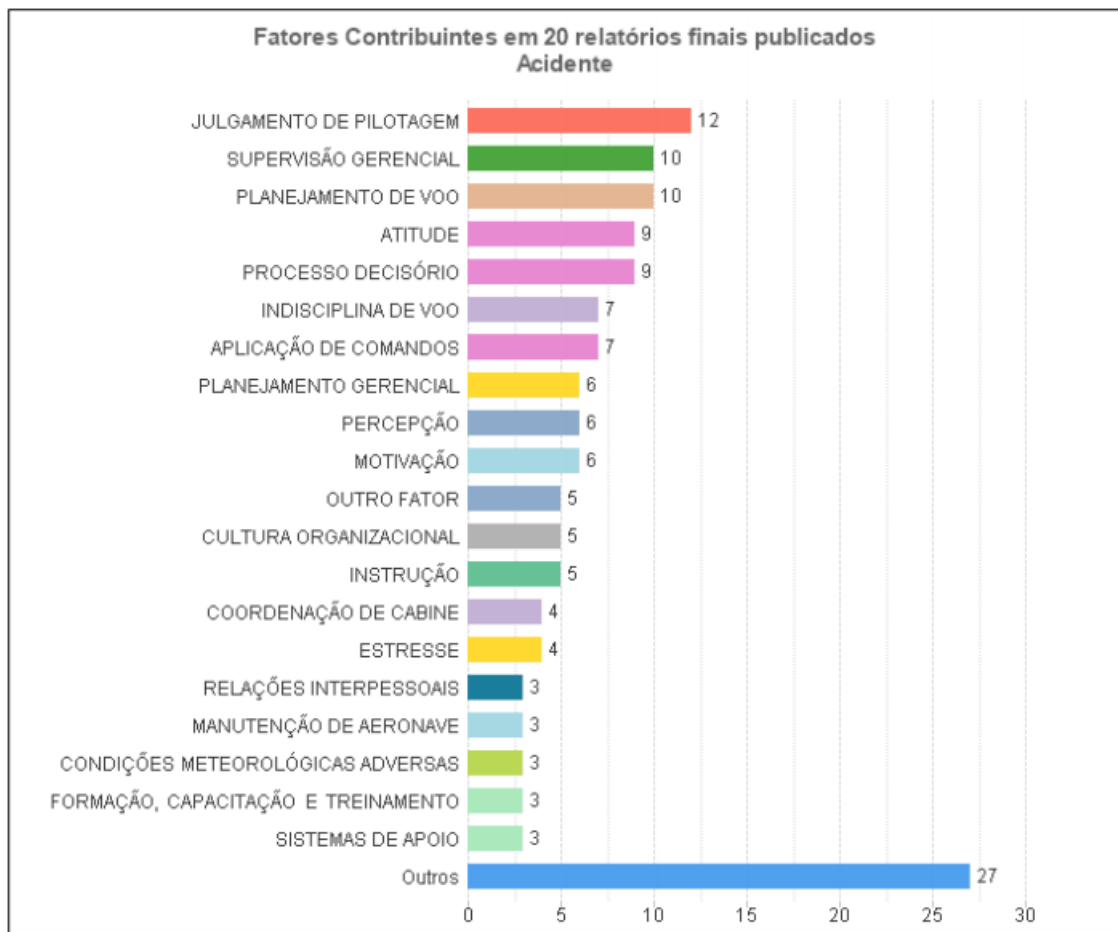


Fonte: CENIPA (2018)

2.11.4 Fatores Contribuintes nos Acidentes com AS50

Os fatores contribuintes, conforme a Figura 21, nos 20 relatórios finais que saíram no período são um tanto variados. É curioso que entre os fatores constam itens como: atitude; indisciplina de voo; motivação; relações interpessoais (CENIPA, 2018).

Figura 21: Incidência de fatores contribuintes nos acidentes com AS50.



Fonte: CENIPA (2018)

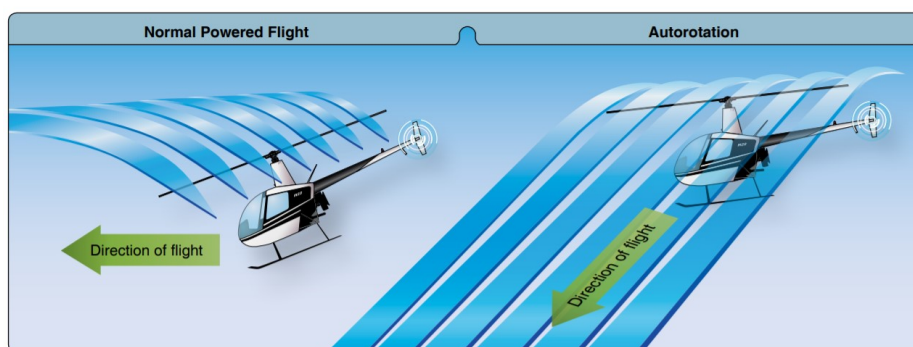
3 HELICOPTER EMERGENCIES AND HAZARDS

Durante a pesquisa, verificou-se que o livro didático sobre operação de helicóptero mais completo e atualizado é o *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019), o livro oficial da FAA. Este livro possui um capítulo dedicado inteiramente à emergências e perigos, o capítulo 11, intitulado “*Helicopter Emergencies and Hazards.*” O capítulo inicia falando sobre auto-rotação, que apesar de ser uma manobra amplamente ensinada, compõe um dos temas mais centrais da segurança de voo de helicópteros. Então seguimos comentando o livro.

3.1 AUTO-ROTAÇÃO

Conforme o *Helicopter Flying Handbook* (2019), A auto-rotação ocorre com o desacoplamento do rotor principal ao sistema de transmissão através da roda livre, levando as pás do rotor a girarem apenas pela ação do fluxo ascendente de vento. As razões mais comuns para que uma auto-rotação seja necessária são a falha de motor ou do sistema de transmissão, porém também pode ocorrer caso haja uma falha de rotor de cauda. No momento em que ocorre a falha de motor, este para de produzir força suficiente para que as pás vençam o arrasto, então, estas começam a perder velocidade, e caso o ângulo de ataque não seja reduzido rapidamente pelo piloto com o comando coletivo, as pás vão parar de produzir sustentação. Durante a descida, a ação do fluxo de vento ascendente que passa pelo disco rotor faz as pás girarem de forma simplificada análoga a como gira um catavento quando o vento passa por ele, como se pode visualizar na Figura 22.

Figura 22: Desenho de helicóptero em auto-rotação.



Fonte: *Helicopter Flying Handbook* (2019)

Muitos fatores alteram a razão de descida do helicóptero durante uma auto-rotação, como o peso, ângulo de bancagem, altitude densidade, RPM do rotor, alinhamento com o vento (compensação) e velocidade. As formas primárias de controlar a razão de descida é através da velocidade e do RPM (Rotações por minuto) do rotor. A velocidade é controlada pelo cíclico, e o RPM, pelo coletivo.

Pode parecer intuitivo que deixar o RPM disparar é algo positivo, pois o rotor terá mais energia cinética para amortecer o toque, quanto mais se for uma auto-rotação vertical, porém, apesar que nesta situação realmente é melhor ter RPM demais do que de menos, o disparo descontrolado do RPM pode simplesmente desprender as pás do rotor do mastro, levando a uma situação absolutamente catastrófica.

Durante a auto-rotação, o piloto tem ainda algum controle sobre o seu ângulo de descida para buscar o melhor ponto de toque, de totalmente vertical (o que pode não ser adequado pois, dependendo do modelo de aeronave e condições meteorológicas, somente a ação do coletivo para amortecer o toque sem *flare* pode não ser suficiente) até utilizando a configuração de máxima distância de planeio. Além disso, a razão de descida também é alta se a auto-rotação é realizada verticalmente, chegando a um mínimo entre 50-60 nós, claro, dependendo do modelo de helicóptero, e voltando a subir em velocidades mais altas.

Num pouso auto-rotativo, a única energia disponível para amortecer o toque é a energia cinética rotacional do rotor, e a energia cinética da aeronave (velocidade) que pode ser convertida em mais rotação. Para amortecer um pouso auto-rotativo que vem com uma razão de descida elevada é necessário mais energia do que seria com uma razão de descida menos elevada, portanto, pousos com razão de descida elevada são mais críticos.

3.1.1 Prática de Auto-rotação

O treinamento para torna-se piloto inclui a prática até o domínio da auto-rotação, mas vamos comentar brevemente destacando alguns pontos retirados do *Helicopter Flying Handbook* (2019):

Tipicamente, configura-se o treinamento de auto-rotação à frente da seguinte maneira:

- Altura entre 500 e 700 pés
- Velocidade entre 60 e 70 nós

Abaixa-se o coletivo suavemente, mas com firmeza, enquanto se separa as agulhas do tacômetro. Não é necessário ou recomendável fechar totalmente a manete, pois isto pode levar

a um apagamento do motor. Os manuais da aeronave terão o RPM adequado a se manter no motor, mas no S300 e no R22 é em torno de 2.000 RPM.

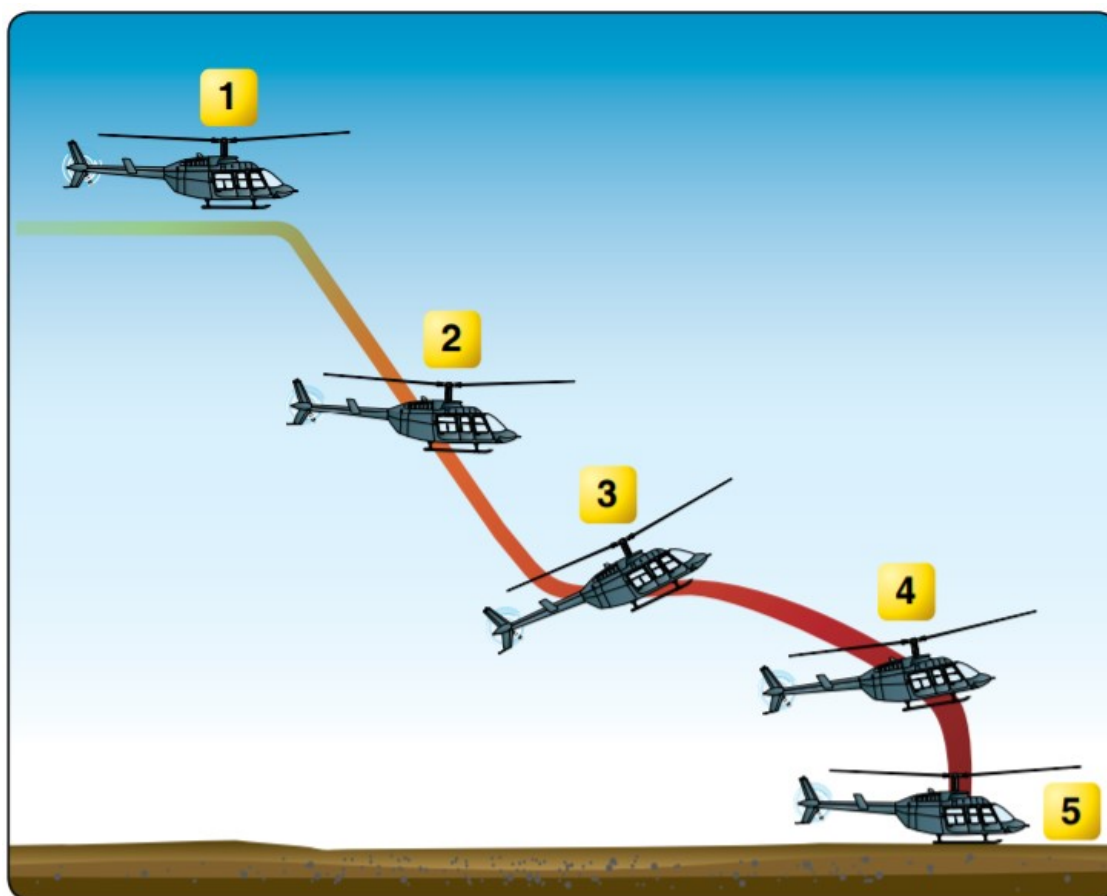
A auto-rotação deve ser praticada de modo a buscar-se atingir exatamente o ponto desejado. Esta prática deve ser realizada em local amplo, como em uma pista de pouso.

Se a entrada em auto-rotação for realizada corretamente, não serão necessários muitos ajustes nos comandos durante a manobra. Deve-se buscar uma atitude (pitch) entre 60-70 nós e controlar o rpm pelo coletivo.

A aproximadamente 50 pés, deve-se iniciar o flare para reduzir a velocidade e razão de descida, e por fim, a aproximadamente 10 pés, nivela-se a aeronave e permite-se que esta afunde nivelada e com um pouco de movimento à frente, amortecendo o toque com o coletivo, consumindo o RPM, que cairá devido ao arrasto.

Para os fins deste trabalho, esta definição simplificada de uma auto-rotação normal é suficiente.

Figura 23: Fases da auto-rotação.



Fonte: Helicopter Flying Handbook (2019)

Em voos de instrução, a auto-rotação tipicamente é recuperada antes do toque, trazendo-se para o pairado antes do toque, abrindo o manete e puxando o coletivo conforme o necessário, porém um erro comum é utilizar o RPM restante do rotor de maneira a manter o helicóptero no ar o máximo possível, o que na eventualidade de uma perda real, pode levar a aeronave a um pouso duro, que pode fazer com que as pás do rotor flexionem para baixo atingindo a cauda. De acordo com o *Helicopter Flying Handbook* (2019), são erros comuns durante a prática da auto-rotação: (FAA, 2019. p. 141, tradução nossa)

- Não dar a devida importância a rapidez em abaixar o coletivo quando acontece a queda de RPM devido à falha de motor ou da transmissão.
- Utilização insuficiente do pedal anti-torque.
- Abaixar o nariz bruscamente com a perda de potência, levando o helicóptero a um mergulho.
- Não manter apropriadamente o RPM durante a descida.
- Levantar o coletivo para amortecer o toque a uma altura muito grande, podendo levar o helicóptero a um pouso duro e suas consequências.
- Não nivelar o helicóptero para o toque (ou configurá-lo conforme recomenda o fabricante).
- Não minimizar ou eliminar o movimento lateral durante o toque.
- Não realizar o toque alinhado com o movimento.
- Não arremeter (em caso de voo de instrução) caso não estiver em parâmetros seguros para a auto-rotação.

3.1.2 Auto-rotação com Curvas

Curvas podem ser realizadas para desviar de obstáculos, buscar o melhor campo de apoio ou aproar o vento. As curvas devem ser realizadas no início da manobra para que esta seja finalizada como uma auto-rotação à frente.

É interessante lembrar que durante as curvas, o RPM vai tender a disparar porque o G aumenta devido à força centrífuga, carregando mais o rotor. Isto deve ser contrariado aplicando o coletivo necessário, aumentando o arrasto das pás. Também, durante as curvas, a razão de descida vai aumentar ainda mais, pois a porção da área do disco rotor que se opõe ao movimento de descida diminui.

O *Helicopter Flying Handbook* (2019) destaca os seguintes erros como comuns na prática de auto-rotação em curva (FAA. 2019. p. 143, tradução nossa)

:

- Entrar na manobra (se instrução) na altitude ou velocidade inapropriada;
- Entrar na manobra sem estar com a aeronave nivelada;
- Perder velocidade em excesso na entrada por não picar suficiente a aeronave;
- Transição imprópria de voo reto para descida na entrada;

- Utilização imprópria dos pedais anti-torque na entrada;
 - Não compensar corretamente o vento de través;
 - Não manter o voo coordenado durante as curvas;
 - Falhar em manter o RPM no arco verde;
 - Guinada excessiva durante a desaceleração da razão de descida quando se recupera a potência (treinamento), ou seja, utilização incorreta dos pedais na recuperação;
 - Em auto-rotações com recuperação da potência (treinamento), atraso em reaplicar potência;
 - Ação do coletivo muito ou pouco acentuada;
 - Flare realizado muito alto ou muito baixo;
 - Flare muito longo ou não longo suficiente;
 - Falha em manter a proa ao reaplicar potência (treinamento);
 - Não tocar com a aeronave nivelada;
 - Não tocar com a aeronave alinhada com o movimento;
 - Aplicação insuficiente de coletivo para amortecer o toque;
 - Comandos muito bruscos em auto-rotações até o solo.
- (FAA. 2019. p. 143, tradução nossa)

3.1.3 Recuperação de Potência na Prática de Auto-rotações

Convém comentar os erros mais comuns na recuperação de potência durante a prática de auto-rotações em voos de instrução, que de acordo com o *Helicopter Flying Handbook* (2019) são (FAA. 2019. p. 144, tradução nossa)?

- Iniciar a recuperação muito tarde, levando a comandos bruscos;
 - Não manter uma atitude nivelada próximo à superfície;
 - Falha em coordenar o manete de potência e o coletivo apropriadamente, resultando em disparo ou queda de RPM;
 - Atraso no acoplamento do rotor principal com o motor, causando temperatura excessiva, torque excessivo ou queda do RPM;
 - Falha em arremeter caso os parâmetros não estejam seguros.
- (FAA. 2019. p. 144, tradução nossa)

3.1.4 Auto-rotação do Pairado Próximo ao Solo

Os pilotos também estão sujeitos a sofrer uma perda de potência quando no voo pairado, e apesar da baixa altura reduzir bastante a possibilidade de lesões ou morte, mas sem anular completamente essas chances, se a auto-rotação do pairado não for executada corretamente, o helicóptero pode ser seriamente danificado. Para praticar uma auto-rotação do pairado, o *Helicopter Flying Handbook* (2019) orienta que se inicie com um pairado estável e estacionário a uma altura normalmente entre 2 e 3 pés, aprofundado com o vento e com o RPM no topo do arco verde. Rola-se firmemente a manete para o ponto morto. Isto irá requerer um pouco de cíclico para a direita (em helicóptero de rotores anti-horários como o R22 e S300)

para compensar a perda do efeito do rotor de cauda. Também é necessária aplicação de pedal por este motivo, para manter a proa. Helicópteros com rotores de baixa inércia, como os treinadores, afundarão e perderão RPM muito rapidamente. Helicópteros com rotores com mais inércia afundarão mais devagar e suavemente. Qualquer movimento lateral deve ser contrariado com o cíclico para evitar um rolamento dinâmico. Conforme o RPM decresce, o cíclico se torna menos eficiente, possivelmente necessitando de movimentos mais amplos (porém não mais bruscos). Aproximada 1 pé de altura, deve-se começar a levantar suavemente o coletivo para amortecer o toque. É normal o coletivo ser puxado até o batente conforme o helicóptero toca o solo. Quando o peso do helicóptero estiver totalmente sobre os esquis no solo, deve-se abaixar totalmente o coletivo. O helicóptero deve tocar o solo com um pouco de movimento para a frente e atitude nivelada ou suavemente picada.

Nota: O livro *Helicopter Flying Handbook* (2019) é muito enfático sobre a importância da entrada em auto-rotação, por isso esta parte da manobra deve ser praticada com muito critério. Da mesma forma, é muito importante estar atento para a entrada ser realizada com rapidez uma vez que a pane seja detectada. O tempo de 3 segundos pode ser suficiente para a queda de RPM se tornar irrecuperável. Isto pode parecer pouco tempo, e para a maioria das coisas, é mesmo, mas o reflexo do piloto em abaixar o coletivo ao detectar a queda de RPM deve ser tão instintivo quando o de um condutor desviar o carro de um pedestre que se coloca repentinamente na frente do veículo.

3.1.5 Auto-rotações Avançadas

Agora que recordamos a fórmula básica da auto-rotação, vamos examinar possibilidades de realizar a manobra com ainda mais eficiência, podendo escapar ileso de situações que requerem um pouco mais de habilidade do piloto.

3.1.5.1 Encurtar o Planeio

Em uma auto-rotação normal, o piloto após baixar o coletivo busca a atitude de aproximadamente 60 nós e mantém até o *flare*. Esta velocidade faz com que a aeronave cumpra um perfil normal de planeio. O fato é que o piloto precisa ter velocidade significativa (de preferência um pouco mais alta do que a velocidade auto-rotativa recomendada no manual da aeronave) na hora de executar o *flare*. Não é absolutamente necessário que ele mantenha esta velocidade durante todo o planeio (apesar de isto facilitar a execução).

Uma forma de encurtar a distância de planeio, supondo que o ponto de toque desejado esteja aquém de onde este seria normalmente, é “matar a velocidade”, que levará a aeronave a perder altura, e em seguida picar a atitude, ganhando velocidade para o *flare*.

3.1.5.2 Estender o Planeio

Cada helicóptero possui uma configuração que leva ao máximo a distância de planeio. Normalmente ela ocorre com uma diminuição do RPM do rotor, porém, você deve recuperar o RPM quando estiver abaixo de 500 pés. A configuração de máximo planeio do R22 é:

- 75 nós
- 90% RPM

Esta configuração permitirá um planeio de 4:1, ou 1 milha náutica a cada 1.500 pés.

3.1.5.3 Auto-rotação Vertical

Também é possível realizar uma auto-rotação inteiramente vertical, caso esta seja no julgamento do piloto a solução mais segura se a aeronave perder o rotor.

Apesar de adentrar na área sombreada do diagrama altura/velocidade, é preferível fazer uma auto-rotação vertical ou com pouquíssima velocidade do que colidir com obstáculos tentando ganhar velocidade.

Nesta situação, o que o piloto pode fazer é abaixar totalmente o coletivo e deixar o RPM disparar um pouco, pelo menos até o topo do arco verde, ou um pouco acima, dependendo do seu julgamento, e próximo ao solo, realizar o flare e amortecer o toque puxando o coletivo.

Condições meteorológicas favoráveis, como tempo frio, alta pressão e vento de proa, podem tornar a manobra muito mais segura. Também é claro que helicópteros com rotores com mais inércia poderão realizar a manobra com mais segurança do que os com menos inércia.

O piloto pode ainda realizar um mergulho em curva para ganhar velocidade sem afastar-se do ponto que sobrevoa, podendo buscá-lo na realização da manobra.

3.1.5.4 Vídeos Didáticos Interessantes de Auto-Rotações

A pesquisa nos leva a encontrar uma infinidade de vídeos interessantes que ilustram as situações do item anterior. Seguem os links para os que mais chamam a atenção:

- Auto-rotação iniciada com velocidade zero e curva de 360 graus. Fonte: Helicopter Training Videos: <https://www.youtube.com/watch?v=bsm5Ik74xTw>
- Auto-rotação sem arredondamento / com baixa velocidade: <https://www.youtube.com/watch?v=cpHMqvoD4j0&t=47s>
- Treinamento de auto-rotação – dez melhores dicas. Fonte: Helicopter Online Ground School: <https://www.youtube.com/watch?v=ZBxL4NBxTZ8&t=522s>
- Auto-rotação vertical com R44. Fonte: Tanja Tanja: <https://www.youtube.com/watch?v=cMGdaUuZp5c>

3.2 VORTEX RING STATE – ESTADO DE VÓRTICE

O estado de vórtice está configurado quando o rotor principal do helicóptero se retroalimenta dos vórtices gerados por si mesmo. Este ar turbilhonado tem velocidade para baixo, não oferecendo resistência suficiente às pás do rotor, e portanto, não gerando sustentação. Antigamente, e alguns livros ainda estão desatualizados com esta nomenclatura, esta emergência era chamada de “*settling with power*”.

Foto 4: Líquido pulverizado descrevendo os vórtices em helicóptero de operação agrícola.



Fonte: Blog da Lift Aviation (2018)

3.2.1 Definição de Estado de Vórtice nos Livros Didáticos Brasileiros

Sobre o estado de vórtice, convém mencionar que o livro didático brasileiro Teoria de Voo Helicópteros (ROCHA, 2009) é um tanto confuso e impreciso. Existe a possibilidade de confusão pois o livro apresenta o “estol de potência” (que algumas escolas ensinam como se fosse o estado de vórtice), de forma quase idêntica à própria definição do próprio livro de “anéis de vorticidade”. Vamos ao livro:

Estol de potência

O estol de potência ocorre quando a aeronave está num voo pairado, fora do efeito solo. Nesta situação de voo, se a densidade do ar for baixa (calor, umidade e baixa pressão), para se manter o voo é necessário a aplicação de um grande ângulo de ataque e aplicação de muita potência. Daí pode ocorrer este tipo de estol.

A aeronave, uma vez nesta situação de estol, perde altura e afunda na vertical com uma razão de descida crescente. Os comandos perdem eficiência devido ao ar turbilhonado sob as pás dos rotores.

Para recuperar o voo seguro o piloto deve imediatamente baixar o coletivo e aplicar cíclico à frente. Aumentando-se a velocidade, o ar turbilhonado é deixado para trás e a camada de ar retoma o extradorso da asa.” (ROCHA, 2013. Pg.81)

Anéis de Vorticidade

Anéis de vorticidade podem ocorrer em descidas verticais com potência ou em descidas com grande razão de descida (com potência) e baixa velocidade de deslocamento. Geralmente na aproximação para pousos.

Durante este tipo de voo, os rotores empurram o ar para baixo e este mesmo fluxo sobe pelos lados, provocando vórtices ao longo de toda lateral e no centro do disco do rotor.

Uma vibração e ruído são característicos desta situação, “avisando” que as asas estão num pré-estol e se houver a necessidade de aplicação de comando coletivo aumentando o passo das pás ou um brusco flare poderá ocorrer o estol de turbilhonamento. E por estar geralmente numa aproximação para pouso, colocara a aeronave numa situação de alto risco.

Se o piloto errar a rampa de aproximação e houver a necessidade de descer na vertical, o ideal seria reduzir ao máximo a velocidade à frente se possível, aplicar coletivo suavemente para perder altura e finalizar o pouso com alguma velocidade a frente deixando o ar turbilhonado para trás. Mas esta manobra deve ser evitada ao máximo pois o mais seguro é tentar um novo pouso.” (ROCHA, 2013. Pg. 82.)

Acerca das definições e conceitos apresentados no livro do professor Rocha, parece haver espaço para alguma crítica. As duas definições (de estol de potência e anéis de vorticidade) são muito parecidas, confundindo-se, e referindo-se provavelmente a ao estado de vórtice, mas parece ainda mais grave que nenhuma das definições apresenta os três elementos necessários para entrar neste estado de emergência, que convencionalmente são considerados:

- Razão de descida superior a 300 pés por minuto;
- Velocidade abaixo do ETL (efeito de sustentação translacional);
- Utilização de potência.

Seria interessante explicar que para evitar o estado de vórtice, o piloto nunca deve combinar estes três fatores. A utilização de potência está presente em todo o curso do voo normal, e não está presente apenas em auto-rotação, que reserva-se para emergências, exceto em treinamento, então para ficar fora do estado de vórtice é necessário que o piloto reduza a razão de descida abaixo de 300 pés por minuto antes de reduzir a velocidade para menos do que a de sustentação translacional.

As definições do livro *Aerodinâmica do Helicóptero – Teoria de voo Conhecimentos Técnicos* (JOFFILY, 2000) parecem ser mais apropriadas. Vamos a elas:

Estol de potência

O estol de potência ocorre quando as pás do rotor ultrapassam o seu ângulo crítico, Isso pode acontecer, por exemplo, pela utilização brusca do comando de passo coletivo, ou durante uma recuperação rápida de descida numa área de baixa densidade.

Deve-se levar em consideração que o fluxo de ar, ao passar pelo rotor, se torna completamente turbilhonado. Se o helicóptero entrar nessa área turbilhonada, fatalmente as pás do rotor estolarão. Esse tipo de estol pode acontecer quando uma recuperação brusca de manobra for efetuada, visto o aumento do ângulo de ataque tornar maiores as chances de ocorrência do estol.

o estol de potência pode também ser consequente de over-pitching (excesso de coletivo), onde haverá perda da potência e da rotação (RPM). Nessa situação, o helicóptero não tem potência disponível para se manter em voo ou recuperar determinada manobra. Como se verá a seguir, esse estol de potência poderá gerar o estol de vórtice, pois, sabendo-se que a área abaixo do rotor é parcialmente turbilhonada, “o afundamento” do helicóptero irá estolar o rotor.

A recuperação do estol de potência se faz pela diminuição do comando de passo coletivo das pás e pela colocação do comando cíclico para frente. Com o primeiro comando tem-se a diminuição do ângulo de passo e do turbilhonamento abaixo do helicóptero; com o segundo, escapa-se do fluxo de ar turbilhonado que está abaixo do helicóptero.” (JOFFILY, 2000. Pg. 137.)

Estol de vórtice ou anel de vorticidade (vortex ring state ou settling with power)

O anel de vórtice é um redemoinho secundário que ocorre na região mediana do rotor, independentemente do vórtice que ocorre na ponta da pá (tip vortex), considerado permanente. O anel é causado pela combinação de três fatores básicos:

Elevada razão de descida (mínimo 300fpm);

Pouca velocidade de deslocamento;

Ajuste insuficiente de potência à manutenção do fluxo de ar induzido pelo rotor.

Pelo fato de o fluxo de ar induzido pelo rotor ser menor no centro do que na extremidade, quando o helicóptero começa a descer rapidamente e com pouco deslocamento à frente, o fluxo de ar reverso, de baixo para cima do rotor, vence o fluxo de ar induzido na região central, superando o fluxo de ar induzido nessa região. Isso fará com que o fluxo de ar reverso retorne pela parte central das pás, onde ainda há fluxo de ar induzido, gerando o vórtex ring state. Dependendo da intensidade dos vórtices (tip vórtex e vórtex ring state), a turbulência gerada poderá envolver todo o rotor e provocar o estol. Tal condição é mais frequente durante aproximações com vento de cauda ou em áreas de turbulência.

Se o helicóptero estiver descendo sob condições propícias para a formação do anel de vórtice, e não tiver potência suficiente para diminuir ou evitar a descida, o rotor poderá estolar completamente. Quanto maior for a razão de descida, maior serverá ser o deslocamento do helicóptero para a frente. O ajuste da potência (comando de passo coletivo), proporcional à razão de descida, e a velocidade de deslocamento do helicóptero para a frente são fundamentais para evitar-se o anel de vórtice.” (JOFFILY, 2000. Pg. 142)

O livro segue explicando extensamente sobre esta emergência. De fato, este é um livro muito bom.

3.2.2 A Recuperação de Vuichard

Por sua vez, o livro que tomamos como referência é muito parecido com a definição e explicação do Joffily, porém oficializando uma importante novidade: a recuperação de Vuichard. Ao passo que é normal perder de 500 a 600 pés em uma recuperação tradicional do estado de vórtice, a recuperação de Vuichard permite sair desta emergência perdendo cerca de 50 pés, ou menos. A manobra foi descoberta por um piloto experiente chamado Claude Vuichard, que trabalhava com linhas de força nos Alpes Suíços! Uma atividade de delicadeza ímpar, e este piloto, durante um voo de recheck, apresentou para o piloto chefe de instrução da Robinson Helicopter Company, o comandante Timothy Tucker, e este tratou de difundir este conhecimento para o mundo. No mesmo ano, em 2016, Timothy Tucker ministrou um curso de segurança de voo no Brasil, o Robinson Helicopter Safety Course, e eu participei do treinamento teórico e prático, e afirmo que esta manobra foi o ponto alto. Ainda naquele ano, eu escrevi um artigo para a Unisul como trabalho acadêmico sobre a manobra, e o artigo veio a ser publicado pela Lift Aviation em 2018, e este ano, 2021, a FAA oficializou a manobra publicando-a na atualização do *Helicopter Flying Handbook*.

Seguem os trechos mais pertinentes do artigo de minha autoria publicado em 2018 (KÜHR, 2018):

(...) A recuperação tradicional ensinada nos EUA é ganhar velocidade, arremeter se necessário, mas de alguma forma ganhar velocidade, em geral para a frente, para alimentar o rotor com “ar limpo” (não turbilhonado). À baixa altura, isso pode não ser possível, pois é normal perder até 600 pés durante essa recuperação, e as condições para a entrada nesse estado geralmente são aquelas encontradas em curtas finais, em aproximações lentas e de grande ângulo.

Existe uma maneira mais segura e eficiente de sair do estado de vórtice nomeada Recuperação de Vuichard, em homenagem ao seu descobridor, Claude Vuichard, um piloto sênior, inspetor e checador da secretaria federal de aviação civil da Suíça, a Federal Office of Civil Aviation (FOCA), que a descobriu durante operações em linhas de força nos alpes suíços, operação delicada por natureza.

O Estado de Vórtice

Existem três estados em que o rotor de um helicóptero pode operar. Dois destes estados são normais e corriqueiros, que são o voo pairado, e aquele em que o disco rotor se inclina na direção de seu movimento. O terceiro estado é o estado de vórtice. Nele, o turbilhão de ar que sai da parte inferior do rotor retorna circularmente para a parte superior, alimentando novamente o disco. Quando um helicóptero paira em altitude, ou próximo ao solo, mas sem estar no efeito solo, e tem uma razão de descida superior a 300 ft/min, e sem um vento relativo que a coloque em ETL (Effective Translational Lift), a sustentação efetiva de translação, este helicóptero entra em estado de vórtice.

Sua razão de descida pode facilmente ultrapassar os 2000 pés por minuto, e o piloto inadvertido tem o reflexo de puxar o coletivo, utilizando mais potência, e agravando

ainda mais o estado. O início do estado de vórtice bem configurado se caracteriza por uma forte vibração e guinada adversa, além da subida ou descida súbita do nariz da aeronave, sua controlabilidade notavelmente reduzida, e a razão de descida aumentando muito, e rapidamente.

O estado de vórtice precisa de três condições para se configurar. São elas a razão de descida superior a 300 pés por minuto, uma velocidade inferior à de ETL, que geralmente está entre 15 e 30 nós, e a utilização de potência. A única situação em que o helicóptero não estará usando potência é durante uma autorrotação, e esta é uma das formas de sair do estado de vórtice, porém, ela é pouco prática, pois só pode ser realizada com alguma altitude. O piloto de um S300Cbi pode, erroneamente, aproximar para um heliponto com uma velocidade incompatível com o ângulo desejado, vindo devagar demais para sua razão de descida.

É sensato ter em mente que a razão de descida deve variar proporcionalmente à velocidade aerodinâmica e à altitude. Quanto mais alto, mais rápido, e mais rápido se pode descer. Ao aproximar-se do solo e reduzir a velocidade, o piloto notará uma vibração crescente. Essa vibração acontece porque uma parte da pá que recua já está saindo do ETL. Caso a razão de descida esteja maior do que 300 pés por minuto, uma rajada de vento de cauda pode ser suficiente para que o helicóptero entre em estado de vórtice.

Ao atingir a velocidade em que essa vibração se faz presente, o piloto precisa reduzir sua razão de descida, e só deve ir mais devagar do que isso quando estiver prestes a realizar o toque ou trazer para o pairado sobre o ponto. Outro helicóptero muito usado na instrução de asa rotativa é o Robinson R22, e devido a sua menor potência, há a orientação de manter-se acima do ETL durante o maior tempo possível, trazendo o helicóptero para o ponto a aproximadamente 20 nós, e fazendo o movimento similar ao de uma parada rápida nos últimos metros, mas isso não o exime da necessidade de manter a razão de descida inferior a 300 pés por minuto. O R22 também requer que o piloto se utilize ao máximo do efeito solo. É importante frisar aos alunos que a velocidade do helicóptero na aproximação deve ser controlada no cíclico, e a razão de descida, no coletivo.

A Recuperação de Vuichard

A técnica usada na recuperação de Vuichard consiste em utilizar o fluxo ascendente dos vórtices para recuperar a aeronave. A maioria das aeronaves é de fabricação americana, e seus rotores giram no sentido anti-horário. Sendo assim, a manobra consistirá em manter o helicóptero nivelado e reto usando o pedal esquerdo, aplicar potência de climb, a aplicando cíclico para a direita. Caso o helicóptero tenha a rotação do rotor no sentido horário, o cíclico deverá ser aplicado à esquerda, e o pedal, direito. O ângulo de bank deve estar entre 10 e 20 graus.

Para fins de demonstração, é aceitável atingir uma grande razão de descida antes de fazer a manobra, mas em casos reais, ela deve ser realizada assim que a condição for notada. Essa técnica realmente é eficiente e fácil de ser aprendida, por isso ela deve ser ensinada e praticada.

O procedimento se compõe de duas etapas (rotor anti-horário):

Aumentar a potência como se fosse para uma decolagem, e pedal esquerdo para manter o nariz alinhado;

Simultaneamente, aplicar cíclico à direita (10 a 20 graus);

Assim que a pá que avança atingir o fluxo ascendente de ar do vórtice, a recuperação está completa. A perda de altitude em média é de 20 a 50 pés. Menos do que 10% do que a recuperação tradicional. (KÜHR, Karl. A recuperação de Vuichard na instrução e operação de asa rotativa. (Lift Aviation, 2018)

Os trechos acima do artigo “A Recuperação de Vuichard na Instrução e Operação de Helicópteros” (KÜHR, 2018) explicam suficientemente bem a manobra. Ela deve ser praticada e aprendida em todas as escolas de voo.

Existe um vídeo na plataforma Youtube com o título “*Vuichard Recovery Technique - How to escape a Vortex Ring State*”, publicado em 8 de setembro de 2017 pela AERIALSTAGE, que ilustra muito bem a entrada em estado de vórtice e saída pela recuperação de Vuichard. O vídeo está disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=HjeRSDsy-nE>.

A entrada em estado de vórtice pode ocorrer também com o rotor de cauda, o que nos leva ao próximo assunto.

3.2.3 Tail Rotor Vortex Ring State – Estado de Vórtice no Rotor de Cauda

O livro didático Aerodinâmica do Helicóptero – Teoria de voo Conhecimentos Técnicos (JOFFILY, 2000) expõe a emergência de estado de vórtice no rotor de cauda da seguinte maneira:

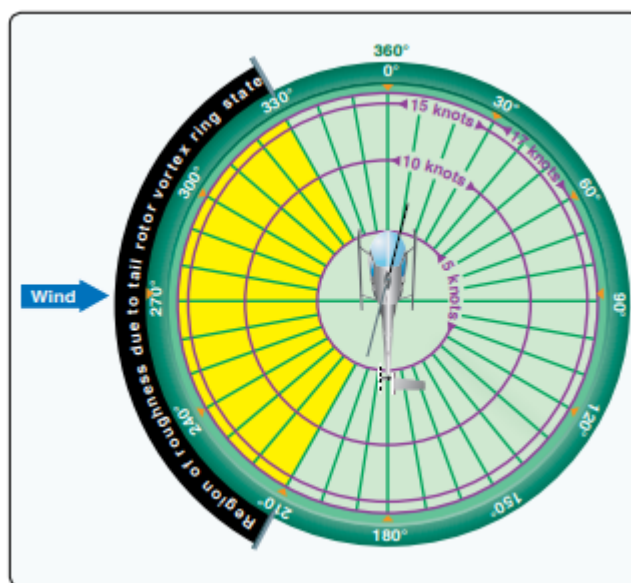
Estol de rotor de cauda (tail rotor vortex ring state)

O estol de vórtice também poderá ocorrer no rotor de cauda, tal como ocorre no rotor principal, quando o helicóptero estiver em voo pairado ou em baixa velocidade. Alguns dos fatores que concorrem para isso, sempre que contrários ao fluxo de ar produzido pelo rotor de cauda, são: fortes rajadas de vento atmosférico, rápido deslocamento lateral ou giros rápidos do helicóptero. Tais fatores produzem o mesmo efeito do fluxo de ar reverso que ocorre no rotor principal. Todavia, quando o vento atmosférico é moderado e constante, o rotor de cauda poderá tolerar o ar contrário ao seu fluxo, para amenizar o efeito de torque.

O estol de rotor de cauda é percebido por uma rápida guinada do helicóptero, na direção em que o torque do rotor principal está sendo compensado: para a direita, rotor principal com giro anti-horário; para a esquerda, rotor principal com giro horário. Quando a situação é de pronto percebido, a estabilidade poderá ser recuperada com o deslocamento do helicóptero para a frente. Se agravada a situação, a guinada poderá ser corrigida pelo fechamento do manete, reduzindo-se o efeito do torque. O uso do pedal (esquerdo no primeiro caso e direito no segundo), para evitar o giro, só deverá ser feito em último caso, pois irá exigir muito esforço do sistema de transmissão e causará a queda da rotação (rpm) do rotor, e nem sempre será suficiente para corrigir a situação. (JOFFILY, 2000. Pg. 141 – 142)

A definição exposta por Joffily é bastante apropriada, mas o *Helicopter Flying Handbook* (2019) parece ser um pouco mais preciso, pois ele também aponta qual direção relativa do vento facilitaria a emergência, que no caso seria um vento a entre 210 e 330 graus da proa do helicóptero.

Figura 24: Região do rotor que o vento pode provocar estado de vórtice no rotor de cauda.



Fonte: Helicopter Flying Handbook (2019)

Simplificando, é um vento de través esquerdo. O livro ainda destaca que manter a proa no pairado com vento de través esquerdo pode ser muito trabalhoso e até difícil, requerendo constantes ajustes e movimentos nos pedais, mas isto dificilmente se torna um estol deste tipo, a menos que a recuperação demore para ser feita, no entanto, excesso de uso do pedal, falta de concentração e comandos bruscos podem levar à perda da eficácia do rotor de cauda.

O estol de estado de vórtice no rotor de cauda ocorre quando a tração gerada por ele está sendo menos do que a requerida para compensar o torque, levando à guinada para a direita. O livro recomenda uma coordenação suave com os pedais impedindo a guinada adversa de se configurar, mas se isto ocorrer, o helicóptero pode girar para a direita até ficar com vento de cauda, onde o rotor de cauda e o estabilizador vertical formam um efeito de quilha, e em seguida acelerar a guinada adversa. A carga de trabalho do piloto durante um estol de rotor de cauda é alta.

3.3 RETREATING BLADE STALL – ESTOL DA PÁ QUE RECUA

Em um voo horizontal para a frente, o vento relativo é mais intenso na pá que avança do que na pá que recua, gerando a chamada dissimetria de sustentação. Para compensar este fenômeno, as pás realizam o movimento de batimento, sendo que a pá que

avança bate para cima, diminuindo o ângulo de ataque e portanto a sustentação, e a pá que recua bate para baixo, aumentando o ângulo de ataque e a sustentação. Caso a velocidade do helicóptero fique alta demais, a pá que recua não consegue mais gerar sustentação mesmo com o movimento de batimento, levando-a ao estol.

O estol de pá é um fator limitante da velocidade (V_{ne}) e sua proximidade é detectada por vibrações de baixa frequência, nariz subindo (*pitch up*), e uma rolagem para o lado da pá que recua. Fatores como altitude elevada, baixa pressão, curvas acentuadas e peso elevado favorecem o estol de pá em alta velocidade, por isso a V_{ne} (Velocidade Nunca Exceder) diminui com o aumento da altitude. O *Helicopter Flying Handbook* (2019) enfatiza que para recuperar-se de um estol de pá que recua, puxar bruscamente o cíclico para diminuir a velocidade pode piorar a situação, pois colocando o helicóptero em uma atitude similar à de um *flare*, o ângulo de ataque da pá que recua aumenta ainda mais. Aplicar o cíclico à frente também piora a situação, pois aumenta a velocidade. Para se recuperar de um estol de pá, o procedimento correto normalmente inicia com abaixar o coletivo, manter o RPM no topo do arco verde e suavemente reduzir a velocidade com o cíclico. Caso o estol de pá esteja ocorrendo devido a uma curva acentuada, o procedimento é interromper a curva.

Os erros mais comuns que levam ao estol da pá que recua, de acordo com o *Helicopter Flying Handbook* (2019), são:

- Falha em reconhecer os fatores contribuintes;
- Falha em computar as V_{ne} nas altitudes que serão voadas.

3.4 RESSONÂNCIA COM O SOLO

Helicópteros que possuem rotores articulados (como o S300) estão sujeitos à ressonância com o solo. Este fenômeno ocorre quando um desbalanceamento entre as pás do rotor principal leva o rotor a gerar uma vibração que ressona com a frequência natural do helicóptero. Toda estrutura possui uma frequência natural, e o fenômeno da ressonância ocorre quando algo vibra a uma frequência múltipla da (frequência) natural de outra coisa, por exemplo, em um violão, quando se posiciona o dedo encurtando uma das cordas formando um múltiplo da frequência gerada por outra das cordas, se uma das cordas for tocada, a outra vibrará também, e as outras cordas, não.

A plataforma Youtube possui muitos vídeos interessantes deste fenômeno. Seguem alguns deles:

- Ponte ressonando com o vento
- <https://www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs>
- Helicóptero ressonando com o solo
- <https://www.youtube.com/watch?v=8rHmacjlRqs>
- Helicóptero destruído por ressonância com o solo
- <https://www.youtube.com/watch?v=Sa-nhqHmTm4>

Um pouso brusco pode fazer os rotores ficarem desbalanceados entre si, levando o helicóptero a ressonar com o solo. Durante este fenômeno, a energia das vibrações acumula rapidamente, podendo destruir a aeronave em uma questão de segundos.

Para sair desta situação de emergência, que ocorre geralmente depois do toque, havendo RPM suficiente, como deve ser o caso em uma situação normal, basta retirar o helicóptero do solo. Sem estar preso ao solo, a aeronave dissipa instantaneamente a vibração e os rotores se realinham.

Caso não haja RPM suficiente, o procedimento é fechar o manete, abaixar rapidamente o coletivo e cortar o motor. Caso esteja muito difícil realizar o pouso em solo duro sem causar ressonância, o piloto pode tentar pousar com segurança em um local com grama, minimizando esta possibilidade.

Figura 25: Toque brusco ocasionando desbalanceamento entre as pás do rotor.



Fonte: Helicopter Flying Handbook (2019)

3.5 DYNAMIC ROLLOVER – ROLAGEM DINÂMICA

Quando em contato com o solo, o helicóptero está sujeito ao perigo de rolar lateralmente sobre um de seus esquis ou rodas, durante pousos ou decolagens. Se um dos esquis ou rodas do helicóptero estiver formando um pivô com o solo e houver movimento lateral, à partir de um certo ângulo, a recuperação se torna impossível.

Para que ocorra o rolamento dinâmico, são necessários três fatores:

- Momento de rolagem;
- Ponto de pivô;
- Tração/sustentação maior do que o peso.

Existe um vídeo que ilustra muito bem o rolamento dinâmico na plataforma Youtube, disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=84RScbcF1XI>

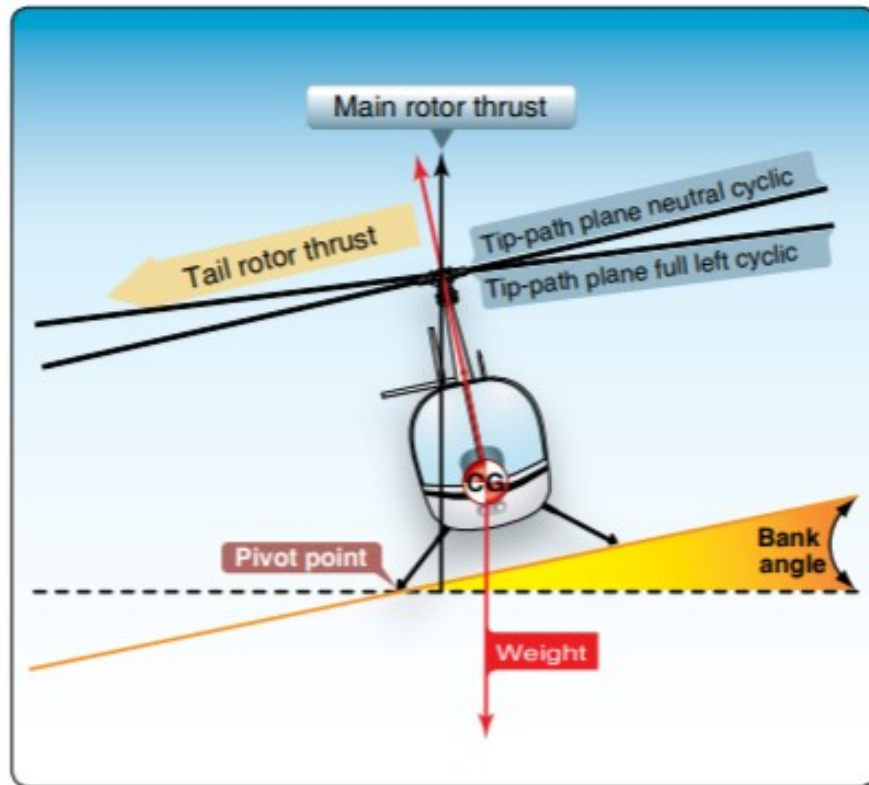
O *Helicopter Flying Handbook* (2019) destaca que o rolamento pode ocorrer por algumas razões, como esquecer de desprender os esquis do solo antes do voo, ou durante decolagens e pousos, com agravamento de operações em rampa ou com vento forte, mas independente do motivo, a rolagem precisa ser interrompida. Uma vez que a rolagem inicie, apenas aplicar cíclico contrário pode não ser suficiente, pois a mera sustentação criada pelo rotor aliada ao ponto de pivô deverão rolar o helicóptero. Para interromper a rolagem, o procedimento correto é abaixar imediatamente o coletivo.

Algumas condições podem ser particularmente críticas para a ocorrência de uma rolagem dinâmica. De acordo com o *Helicopter Flying Handbook* (2019), são elas:

Peso elevado e sustentação próxima ao peso (leve nos esquis);
 Esqui direito no solo (devido à tendência translacional criada pelo torque do motor e o rotor de cauda);
 CG localizado na parte direita da aeronave;
 Vento de través esquerdo;
 Aplicações de pedal esquerdo.
 Para rotores de sentido horário, os fatores são os opostos.
 (FAA. 2019. p. 148, tradução nossa)

A aplicação do *Trim* (compensador. Tradução nossa) durante a saída do solo também deve ser observada.

Figura 26: Ilustração de helicóptero com condições para rolagem dinâmica.



Fonte: Helicopter Flying Handbook (2019)

Para Evitar a rolagem dinâmica, o *Helicopter Flying Handbook* (2019) recomenda as seguintes precauções (FAA. 2019. p. 149-150, tradução nossa).

- Sempre praticar auto-rotações do pairado aoproado com o vento, e com mais cautela caso o vento seja de rajadas ou superior a 10 nós;
- Usar extrema cautela ao pairar próximo a cercas, luzes de táxi, arbustos, cabos, etc. Além disso, uma aeronave estacionada sobre asfalto muito quente durante a noite pode estar com os esquis travados no dia seguinte devido ao esfriamento deste.
- Sempre realizar a saída para o pairado em duas etapas, primeiro ficando bem leve nos esquis, depois tirando suavemente do solo.
- Pairar alto suficiente para estar livre de quaisquer obstáculos próximos, principalmente em voos laterais ou à ré.
- Lembre-se que vento lateral em operações em rampas limita a ação do coletivo.
- Evitar vento de cauda em operações em rampas.
- Lembre-se que menos cíclico lateral está disponível devido à tendência translacional quando o esqui esquerdo ou o nariz está inclinado para cima em uma rampa.
- Leve em conta os ajustes necessários no cíclico conforme passageiros ou carga são embarcados ou desembarcados.,
- Esteja atento em helicópteros que permitem o fluxo interno de combustível de um tanque para outro pois isto pode mudar a posição do CG enquanto em uma rampa.

- Não permita que o cíclico atinja o batente em uma rampa. Caso isto ocorra, abaixar o coletivo pode causar mast bump. Se o cíclico estiver atingindo o batente, volte para o pairado e toque em algum local onde a rampa seja menos inclinada.
- Durante a decolagem de uma rampa, comece nivelando o disco rotor com o horizonte ou muito levemente em direção à rampa para garantir sustentação e tração suficientes para impedir deslizamento na rampa. Se o esqui de cima na rampa começar a sair do solo antes do esqui de baixo, abaixe suavemente o coletivo e procure verificar se o esqui de baixo está preso em alguma coisa.
- Esteja atento em pousos ou decolagens sobre plataformas oscilantes, como barcos ou plataformas de petróleo. Geralmente, os pilotos que operam nestas plataformas observam um ciclo de 7 ondas que aumentam e depois diminuem gradativamente. O toque deve ser realizado quando as oscilações estiverem no mínimo. (FAA. 2019. p. 149-150, tradução nossa)

3.6 CONDIÇÕES DE BAIXO G E MAST BUMPING

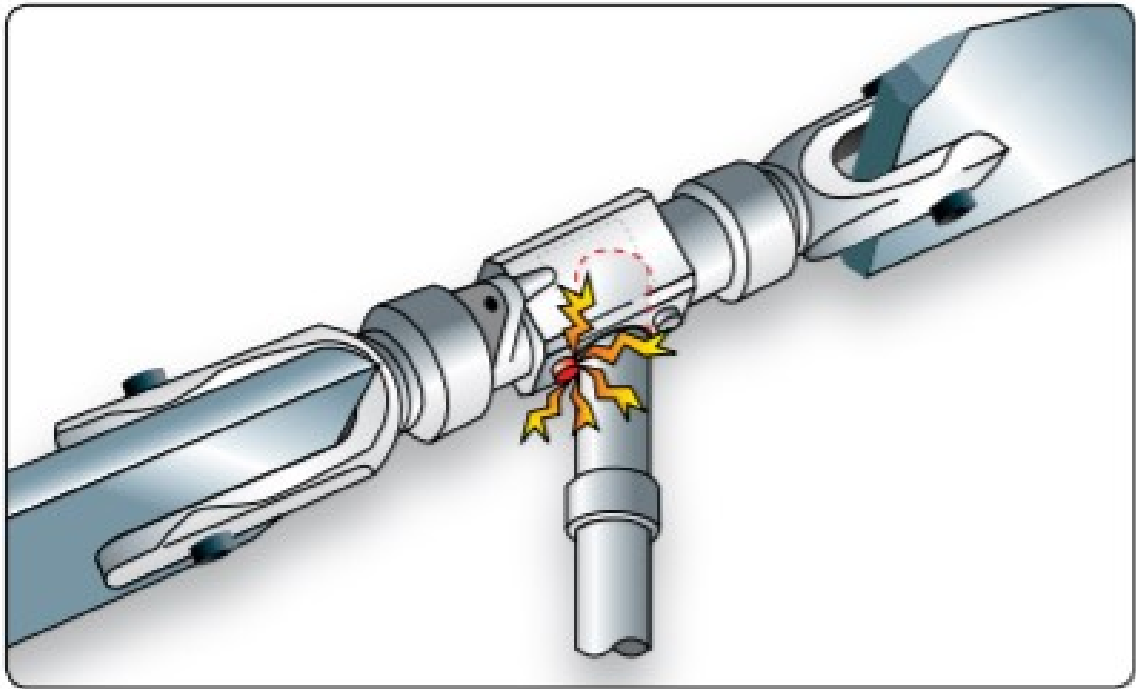
O termo G refere-se à aceleração gravitacional da Terra. Estamos sempre sujeitos à força da gravidade, mas caso um objeto esteja em queda livre, ele se encontra em uma condição de zero G, assim como em uma curva o piloto pode experimentar 2G devido à força centrífuga. A sensação de baixo G é percebida como uma sensação similar à queda livre, ao passo que a de alto G é sentida como um aumento do peso. Pode parecer um pouco contraintuitivo, mas os helicópteros precisam estar sempre com G positivo para que os comandos respondam normalmente.

Apesar dos comandos muito reduzidos em baixo G, helicópteros com três pás ou mais conseguem operar devido ao design do hub do rotor principal, porém a condição de baixo G pode ser catastrófica para os helicópteros com duas pás, do tipo semi-rígido, como os da marca Robinson.

O *Helicopter Flying Handbook* (2019) explica que a baixa velocidade, movimentos para a frente com o cíclico não causam uma condição de baixo G, porém, movimentos muito abruptos, principalmente em alta velocidade ou após uma subida, em helicópteros bi-pá, podem colocar o helicóptero em uma condição de baixo G de consequências catastróficas. A tração e sustentação são reduzidas e o rotor “descarrega” a fuselagem. Esta já não está suspensa pelo disco rotor. O rotor de cauda ou outros efeitos aerodinâmicos pode induzir uma rolagem, e o piloto pode tentar corrigir com o cíclico. O rotor responde, mas a fuselagem segue descarregada do rotor, em outras palavras, a fuselagem não está “pendurada” no disco rotor, e não responde como esperado devido à falta de tração. Supondo que a fuselagem esteja rolando para a direita, se o piloto aplicar cíclico para a esquerda para corrigir sem obter o efeito desejado, a combinação da inclinação da fuselagem e

a inclinação contrária do disco rotor podem superar a folga entre o hub do rotor principal e o mastro, levando-os a chocarem-se. Isto é conhecido como “*mast bump*”.

Figura 27: Ilustração de “*mast bump*” ocorrendo.



Fonte: *Helicopter Flying Handbook* (2019)

A sequência de acontecimentos em um acidente de *mast bump* pode ser extremamente rápida e catastrófica devido à energia envolvida, podendo cortar o mastro, a cauda, ou outras partes do helicóptero em pleno voo. O *Helicopter Flying Handbook* (2019) destaca ainda que turbulência, especialmente fortes correntes descendentes, podem colocar o helicóptero em baixo G, e se combinado com alta velocidade, pode levar a *mast bump*. Se encontrar turbulência, voe a uma velocidade um pouco mais baixa e evite controles bruscos.

3.6.1 Orientações para Evitar o Mast Bump

Para minimizar a possibilidade de enfrentar um *mast bump*, o piloto deve seguir as seguintes orientações do *Helicopter Flying Handbook* (2019):

- Evitar movimentos bruscos de cíclico à frente em helicópteros bi-pá. Caso o piloto precise perder altura para evitar uma colisão, ele deve abaixar rapidamente o coletivo.
- Reconheça rapidamente a sensação de falta de peso e realize rapidamente a correção, que é carregar o rotor puxando suavemente o cíclico para trás.

- Reconheça que rolagem para a direita não comandada (em rotores anti-horários) indicam perda de controle iminente, e tome a ação corretiva imediatamente.
- Recupere-se da condição de baixo G puxando suavemente o cíclico antes de tentar corrigir qualquer rolagem. (FAA. 2019. p. 151, tradução nossa)

Se turbulência for encontrada ou esperada, voa abaixo da velocidade normal de cruzeiro. Utilize um simulador de voo para treinar-se a reconhecer as condições de baixo G que podem resultar em *mast bump*, a técnica correta de recuperação e as consequências de usar técnicas incorretas. Pode-se visualizar o efeito de um *mast bump* na Foto 5.

Rotores com mais do que duas pás estão sujeitos a um fenômeno similar ao *mast bump* chamado *droop stop pounding*, caso os limites do batimento da pá sejam excedidos, mas como estes helicópteros mantêm algum controle durante as condições de baixo G, estas ocorrências são menos comuns do que as de *mast bump* em helicópteros bi-pá.

Foto 5: *Teeter hinge* que sofreu *mast bump*.



Fonte: New Zealand Helicopter Association (20-?)

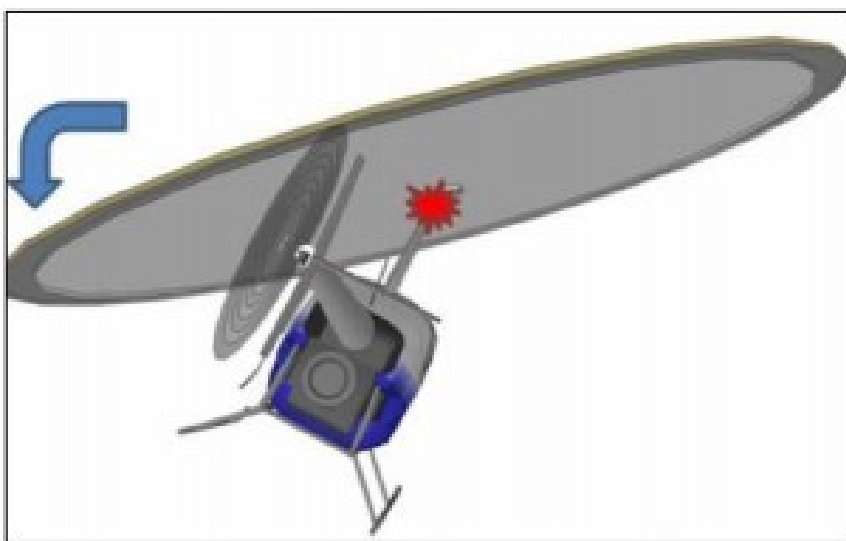
3.6.2 New Zealand Helicopter Association Safety Bulletin

Durante a pesquisa, entre os materiais que chamaram a atenção, está esta publicação da associação neozelandesa de helicópteros sobre situações de baixo G, *mast bump* e turbulência (NEW ZEALAND HELICOPTER ASSOCIATION. 20-?).

O boletim de segurança destaca que *mast bump* e outras situações em que se perde o controle do rotor principal são líderes em causas de acidentes fatais com helicópteros bi-pá de rotores semi-rígidos (mas eu acredito que eles se referem apenas ao país da Nova Zelândia, pois outras fontes apontam que no panorama geral sejam as colisões com fios). De fato, os helicópteros bi-pá de rotores semi-rígidos parecem ser a maioria em todo mundo, principalmente da marca Robinson, devido ao seu custo benefício, mas também outros helicópteros que são relativamente abundantes, como o Bell 206 JetRanger. Na Nova Zelândia, estes últimos representam 50% dos helicópteros do país, e a topografia e clima característicos daquele exótico país facilitam a possibilidade de *mast bumps* devido à turbulência.

A causa mais tipicamente citada nos livros didáticos (o que é apontado pelo boletim) é a entrada em situação de baixo G induzida pelo piloto. Como foi explicado, em situação de baixo G ou zero G, a fuselagem se “decarrega” do rotor principal, não estando mais, por assim dizer, “pendurada” neste. Em uma situação como essa, a tração gerada pelo rotor de cauda leva a fuselagem a rolar para a direita muito rapidamente. O boletim menciona que o fundador da Robinson Helicopter Company, Frank Robinson, explica em vídeos do início dos anos 90 que a rolagem pode ser tão rápida quanto 100 graus por segundo. A reação instintiva de um piloto diante de tal rolagem adversa é naturalmente aplicar bruscamente o cíclico para o lado contrário. Este movimento no cíclico inclina o disco rotor para a esquerda, porém a fuselagem não responde porque não está “pendurada” no rotor, e os limites podem ser excedidos levando ao *mast bump*, como na Figura 27.

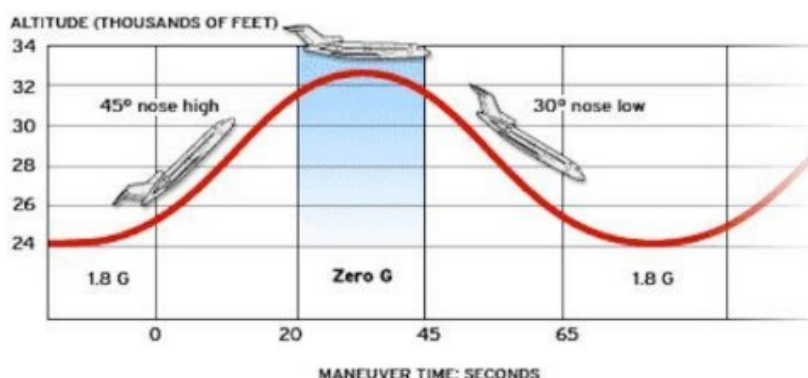
Figura 27: Ilustração de *mast bump* causado por baixo G.



Fonte: New Zealand Helicopter Association (20-?)

O boletim de segurança segue explicando como os controles podem induzir a uma situação de baixo G. Comandos abruptos de cíclico à frente são a causa mais mencionada. Algumas situações podem levar o piloto a isso, por exemplo, se voando seguindo o terreno e encontra um declive, tentando manter a altura constante, ou quando nivelando após uma subida, como na Figura 28:

Figura 28: Aeronave se colocando em zero G após subida.



Fonte: New Zealand Helicopter Association (20-?)

A Robinson emitiu um de seus Safety Notices (SN-11) sobre esta causa de situação de baixo G originalmente em 1982, e outro Safety Notice (SN-29) orientando pilotos de avião que transitam para asas rotativas a não realizar o ato de empurrar o coletivo como se faz naturalmente com o manche de um avião, devido à possibilidade de se colocar em baixo G, e assim, sofrer um *mast bump*. A mensagem é bastante clara: Nunca empurre bruscamente o cíclico para a frente.

O boletim de segurança (New Zealand Helicopter Association, 20-?) segue com um interessante estudo de caso: Um R22 foi encontrado invertido, com uma trilha de destroços da cabine e acrílico (do canopy) estilhaçado. Tanto o piloto como passageiro foram feridos fatalmente. O clima estava perfeitamente adequado, calmo e estável. O acidente ocorreu próximo a muitas linhas de tensão, indicando que é possível que o piloto tenha puxado o cíclico para trás para desviar dos fios e em seguida o tenha empurrado bruscamente, criando a situação de baixo G. Esta situação de baixo G e a rolagem para a direita foram tão abruptas que foram encontradas marcas dos sapatos do piloto no *canopy*, como na Foto 6:

Foto 6: Canopy com marcas de sapatos do piloto.



Fonte: New Zealand Helicopter Association (20-?)

O boletim da New Zealand Helicopter Association (20-?) segue informando que conforme a fuselagem continuou a rolar para a direita, as pás do rotor principal fatiaram a cabine por três vezes, primeiro no teto, depois no painel de controle, e depois até o chão, no centro da cabine. Os destroços revelaram que o empurrão no cíclico foi tão brusco que quando a situação de baixo G se configurou já era impossível recuperar-se dela.

Turbulência também pode causar *mast bump*, principalmente quando o helicóptero se encontra em alta velocidade. Lembrando que o boletim é emitido por uma entidade neozelandesa, convém lembrar que o clima lá é exótico para nós, brasileiros, mas condições adversas também se encontram por aqui em abundância. O SN-32 da Robinson alerta os pilotos sobre o risco de *mast bump* causado por turbulência e excesso de batimento das pás quando operando em turbulência.

Em uma corrente convectiva descendente muito forte, como uma microrajada, por exemplo, a carga no rotor principal pode tornar-se nula ou negativa, de forma idêntica à situação criada pelo empurrão brusco do cíclico à frente. Da mesma forma, o rotor torna-se instável, o rotor de cauda rola a fuselagem e o risco de *mast bump* aumenta rapidamente. Se a turbulência for severa o bastante, a recuperação pode ser quase impossível. O boletim de

segurança neozelandês segue com um estudo de caso, em que menciona um acidente com um R22 em um voo de instrução onde o instrutor e o aluno morreram no acidente. Os destroços indicavam um *mast bump*, no entanto, antes de as pás se separarem do mastro, elas realizaram um movimento de batimento com tal amplitude que colidiram com a cauda do helicóptero, arrancando-a. Isto aconteceu a 5.000 pés de altitude. O vento na superfície era de 30 nós, e a turbulência foi descrita como “severa a extrema” pelos pilotos de resgate que passaram por lá.

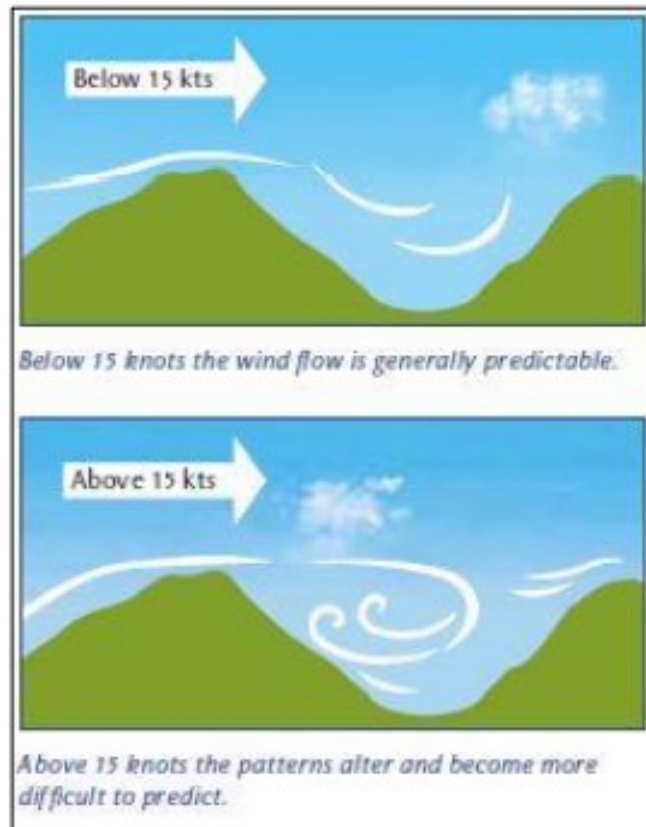
Certos fatores aumentam o risco quando se encontra turbulência. Um deles é a velocidade. O aumento da velocidade resulta em um aumento da amplitude do movimento de batimento das pás, e caso a velocidade do helicóptero esteja muito alta no momento em que ele encontra a turbulência, o piloto pode simplesmente não ter tempo de corrigir a situação antes da catástrofe. Além disso, condições turbulentas podem induzir o piloto a realizar correções muito amplas e bruscas nos comandos, favorecendo a ocorrência do *mast bump*.

O boletim de segurança cita o trecho do SN-32 que orienta a não realizar movimentos muito amplos (*overcontrol*), e permitir que a aeronave sofra a turbulência, restaurando o voo nivelado com movimentos suaves.

Façamos o seguinte estudo de caso extraído do mesmo boletim de segurança da *New Zealand Helicopter Association* (20-?): um R22 acidentou-se sobre o lago Wanaka e foi recuperado por um esquadrão de mergulho a 80 metros de profundidade. Os destroços e lesões do piloto mostravam que um *mast bump* catastrófico ocorrera. Quase imediatamente após o *mast bump*, uma das pás do rotor principal cortou a cabine, matando o piloto e colocando o helicóptero em uma atitude de mergulho em direção ao lago. A causa direta do *mast bump* não pode ser determinada, mas a autoridade neozelandesa declarou que provavelmente foi por causa de um encontro com turbulência enquanto em alta velocidade. Um fator contribuinte foi o piloto estar usando seu celular durante o acidente.

Os Safety Notices e boletins de segurança de voo afirmam que a estratégia mais eficiente para mitigar a possibilidade de um *mast bump* é evitar as condições que o favorecem. O *Rotorcraft Flying Handbook*, da FAA, é categórico quando diz para evitar turbulência o máximo possível. Um vento ainda que moderado sobre acidentes geográficos pode gerar ar tubilhonado, como na Figura 29:

Figura 29: Vento turbilhonando em velocidades acima de 15 nós.



Fonte: New Zealand Helicopter Association. (20-?)

A chave para evitar o *mast bump* é manter o disco rotor carregado com a fuselagem. A fuselagem é como um pêndulo suspenso pelo disco rotor. Quando o efeito do pêndulo é removido pelo baixo G, o rotor de cauda irá rolar a fuselagem, se estiver com tração suficiente. Quando mais baixo estiver o coletivo, menos tração o rotor de cauda estará produzindo, então uma rolagem não comandada deste tipo lhe dará mais tempo para reagir. Além disso, quando menos variações o piloto aplicar no cíclico enquanto em turbulência, mais seguro será o voo. O boletim de segurança prossegue com as seguintes recomendações:

Abaixe o coletivo ANTES de entrar na área de turbulência. Para isso, você precisa ter conhecimento sobre o comportamento do vento sobre o terreno.

Se possível, fique no lado do barlavento (de frente para o vento) de qualquer morro, montanha, serra, etc.

Mantenha o disco rotor carregado com a fuselagem com movimentos suaves com o cíclico para trás.

Faça movimentos mínimos com o cíclico.

Volte para a atitude normal de voo após passar pela turbulência.

Aceite que certas condições de turbulência impedem a operação de helicópteros. Se este for o caso, espere por condições melhores.

Quando for realizar um voo e esperar condições de turbulência, considere o peso do helicóptero. Uma máquina menos carregada estará mais sujeita a *mast bump* do que uma mais carregada.

(NEW ZEALAND HELICOPTER ASSOCIATION, 20-?. p. 5, tradução nossa)

Os pilotos sabem que para recuperar a aeronave de uma condição de baixo G é preciso puxar levemente o cíclico, mas o verdadeiro desafio é não aplicar o cíclico para o lado contrário da rolagem, pois esta é a reação instintiva.

Ainda dentro deste assunto, podemos examinar o Safety Notice SN-32 da Robinson, que é trazido pelo boletim de segurança e orienta sobre voo em turbulência. O SN-32 comenta que aplicações impróprias nos comandos em condições de vento forte ou turbulência podem aumentar a chance de *mast bump*, e recomenda os seguintes procedimentos:

Se turbulência for esperada, reduzir a potência e usar uma velocidade abaixo da normal de cruzeiro.
 Se turbulência significativa for encontrada, reduzir a velocidade para entre 60 e 70 nós.
 Apertar os cintos com firmeza e repouse o antebraço direito sobre a perna direita, o que irá prevenir comandos bruscos ou não intencionais.
 Não fazer correções muito amplas. Permita que a aeronave sofra a turbulência, e restaure a atitude nivelada com comandos suaves. Alguma variação momentânea de velocidade, RPM, proa ou altitude são esperadas.
 Evite voar com vento de cauda em regiões com acidentes geográficos ou obstáculos elevados.
 O helicóptero é mais sensível a turbulência quando está pouco carregado. Tenha mais cautela quando estiver voando solo ou com pouca carga.
 (RHC. 2020. Tradução nossa)

É notável que a Robinson, bem como qualquer fonte que aborde o assunto *mast bump*, enfatiza bastante a necessidade de se reduzir a velocidade quando em turbulência. Além do maior grau de prevenção contra *mast bump*, em velocidades mais baixas a variação de carga sob o risco rotor é menor em turbulência, e caso essa variação seja repetitiva e muito ampla, ela pode danificar o helicóptero.

O G não precisa ser negativo para que ocorra o *mast bump*. Tipicamente, as aeronaves são testadas a até 0.5G. Foi realizado um teste com um R66 a 124 nós em que o piloto puxou o cíclico e depois o empurrou, reduzindo o G, e com 0.478G começou a rolagem para a direita, e o piloto de teste não se sentiu confortável para induzir G abaixo deste. Em demonstrações, no R22, utilizava-se tipicamente entre 18 e 20 polegadas de pressão de admissão (potência) e um suave empurrão no cíclico. A rolagem para a direita é relativamente suave e previsível, dando tempo para a recuperação. No entanto, se a rolagem ocorrer enquanto se utiliza bastante potência, a rolagem ocorre muito mais rapidamente. Geralmente, a rolagem em baixo G que pode levar a *mast bump* não é antecipada. Hoje é estritamente proibido fazer demonstrações de baixo G com helicópteros Robinson.

4 TOMADA DE DECISÃO AERONÁUTICA EFICIENTE

Seguindo no nosso estudo sobre o aprimoramento da segurança de voo, um aspecto que não pode ser deixado de lado é o fator humano e tomada de decisão. Para ilustrar a importância disto, começamos com um estudo de caso trazido pelo *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019):

“Um piloto de helicóptero de serviço aeromédico, próximo ao final do seu turno, recebe uma chamada para resgatar um paciente vítima de acidente de trânsito. O piloto já estava começando a sentir sintomas de gripe, e seus pensamentos voltavam-se para ir logo para casa. Após receber a chamada, o piloto verifica o local do acidente e a rota a ser cumprida, e calcula se terá tempo de realizar o voo antes do término do seu turno. O piloto verifica a meteorologia e determina que, apesar de haver uma tempestade se aproximando, há tempo disponível para realizar o voo. O piloto e tripulação decolam e chegam ao local do acidente. Lá, ele percebe que não está confortável para realizar o pouso no local previsto devido a obstáculos próximos, porém, não encontrando outro local melhor próximo, ele acaba por pousar ali mesmo. Após o pouso, o piloto é informado que haverá demora para colocar o paciente na aeronave, pois estão tendo dificuldades para retirá-lo dos destroços do acidente. Sabendo que seu turno está quase no fim, o piloto começa a se sentir sob pressão e com pressa, devido às complicações burocráticas que ultrapassar o turno o trará. Após meia hora, o paciente é embarcado, e o piloto garante que todos estão com os cintos afivelados. Ele nota que a tempestade agora está bem próxima e os ventos aumentaram bastante. O piloto pensa “agora não tem mais volta. O paciente está a bordo e o tempo está acabando.” É necessário realizar uma decolagem quase vertical considerando o rumo e o vento observado no pouso, mas momentos após a decolagem, antes de livrar os obstáculos, o helicóptero gira fora de controle e despenca para o chão, ferindo seriamente todos os ocupantes e destruindo a aeronave.

Será que o piloto poderia ter feito algo diferente para interromper esta sequência de eventos que culminou no acidente? Vamos analisar ponto a ponto. Para começar, o piloto resolveu voar mesmo sentindo sintomas de gripe, que incluem fadiga. Além disso, já que o turno estava no fim, o piloto considerou que o voo deveria ser realizado no tempo ideal, não levando em conta a possibilidade de atrasos, o que o deixou apressado e ansioso. Depois disso, mesmo não se sentindo confortável com o local para pouso, o piloto terminou por forçar-se a pousar ali. Ele poderia ter abortado a missão a qualquer momento, mesmo antes de decolar, antes de pousar, ou antes de decolar novamente com o paciente, mas ficou cego pela determinação de terminar rapidamente e com urgência a missão. É claro que transporte aeromédico é uma atividade que demanda uma certa urgência, mas comprometer a segurança da missão pode ser mais perigoso para o paciente do que abandoná-lo à própria sorte, e o mesmo é verdade para toda a tripulação. Ainda convém lembrar que o piloto decolou levando em conta o vento na hora do pouso, que pode muito bem ter mudado de direção devido à tempestade próxima, além de ter intensificado. Certamente a pressa obscureceu o julgamento do piloto, e tivesse ele abortado a missão, apenas um paciente teria de ser transportado pelo solo, mas no caso foram quatro.” (FAA. 2019, p. 178, tradução nossa)

4.1 AS DICAS DE TRESCOTT

O *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019) traz as recomendações do instrutor de voo Max Trescott, chefe de instrução e vencedor do prêmio CFI (*Certified Flight Instructor*, instrutor de voo, tradução nossa) do ano em 2008, que possui numerosas publicações de segurança de voo. Ele acredita que a palavra “provavelmente” deve ser banida do nosso vocabulário aeronáutico. Para o senhor Trescott, a palavra “provavelmente” significa que temos uma avaliação informal da probabilidade de um evento ocorrer. Ele acredita que o termo implica que as coisas têm boas chances de dar certo, no entanto, há uma chance razoável de dar errado. Ele explica que se você avalia que algo “provavelmente vai dar certo”, você precisa escolher uma opção que tenha certeza que dará.

Outra dica de segurança do senhor Trescott trazida pelo *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019) detalha a importância de acumular horas de voo em um determinado modelo de aeronave. Trescott explica que as estatísticas mostram que acidentes estão mais correlacionados ao número de horas no determinado modelo do que ao número total de horas de voo do piloto. Os acidentes tendem a diminuir depois que o piloto acumula pelo menos 100 horas de voo no modelo de aeronave, portanto, durante o aprendizado, ou durante uma transição de modelo, deve haver foco em voar unicamente aquele modelo de aeronave. Trescott sugere que os pilotos atinjam 100 horas de voo em cada modelo antes de obter a habilitação (ou endosso) para outro modelo. Além disso, caso o piloto voe apenas algumas horas por ano, é preferível que ele voe todas as horas no mesmo modelo de aeronave.

O *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019) ainda menciona que o senhor Trescott faz a clássica recomendação de realizar “voo mental”. Esta prática pode parecer um tanto esotérica, mas ajuda muito no aprendizado do aluno e mesmo na operação de pilotos que já são profissionais. Quando se realiza esse exercício mental, uma sugestão interessante é começar imaginando ponto a ponto a inspeção pré-voo, mentalizar o briefing, todas as etapas do acionamento, a fonia, o táxi, a operação (incluindo toda a fonia), o pouso e o corte, tudo nos seus mínimos detalhes.

4.2 AUTO-AVALIAÇÃO DO PILOTO

O piloto em comando é a autoridade máxima na aeronave durante o voo. A sua lista de responsabilidade é extensa e tudo nela é importante, mas a responsabilidade mais importante e que não pode ser delegada a outro tripulante ou ao copiloto é a responsabilidade sobre a segurança de voo. O comandante deve, portanto, ter um profundo conhecimento das suas próprias limitações (físicas, emocionais, meteorológicas etc.). Além disso, o piloto deve ainda avaliar-se antes e durante cada voo, para colocar-se e às suas atitudes e decisões aeronáuticas em perspectiva.

Uma ferramenta amplamente ensinada e que também é trazida pelo *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019) para autoavaliar-se é o “IM SAFE” (“estou seguro”, tradução livre) checklist. Ele é bastante simples, porém cobre vários aspectos importantes. Assim é o checklist:

Illness – Doença. “Estou doente? Estou com algum sintoma?”
Medication – Medicação. “Tomei remédios? Fortes? Estou dopado?”
Stress – Estresse. “Estou demasiadamente estressado? Problemas externos ao voo podem estar atrapalhando meu julgamento e a minha performance?”
Alcohol – Alcool. “Ingeri bebida alcoólica nas últimas 8 horas? E nas últimas 24 horas? Estou de ressaca?”
Fatigue – Fadiga. “Descansei apropriadamente para este voo? Estou muito cansado?”
Emotion – Emoção. “Estou com raiva, depressão ou ansiedade?”
 (FAA, 2019, p. 181, tradução nossa)

Como se pode ver, se o piloto do nosso estudo de caso que inicia este item 4 tivesse realizado o IM SAFE checklist, provavelmente ele teria abortado a missão. A cultura norte-americana de segurança de voo também costuma trazer o acrônimo PAVE para ajudar a avaliar o risco. Ele divide o risco do voo em quatro categorias, que são:

Pilot – Piloto.
 Prontidão física e emocional;
 Experiência de voo, experiência recente, tempo no modelo da aeronave.
Aircraft – Aeronave.
 A aeronave é adequada e capaz de completar esta missão?
 Possui combustível suficiente?
 Possui potência suficiente?
 Está devidamente pesada e balanceada?
 Haverá carga externa?
Environment – Ambiente.
 Qual é a probabilidade do tempo mudar para pior?
 Como as condições meteorológicas estão afetando a performance?
 A segurança pode ser comprometida por vento, terreno ou turbulência?
External pressures – Pressão externa.

Não deixe a determinação de cumprir a missão ser maior do que o bom julgamento e segurança.
Nunca sacrifique segurança para economizar ou ganhar tempo.
Não se deixe pressionar por colegas, patrão, família ou amigos.
(FAA, 2019, p. 181-182, tradução nossa)

Além disso, todo piloto deve ter um julgamento rígido em relação à sua própria competência, no sentido técnico da palavra. Um piloto pouco experiente pode, por exemplo, sentir-se limitado a 10 nós de vento de través, ao passo que outro mais experiente na mesma aeronave sente-se confortável até a 15 nós.

4.3 SINGLE PILOT MANAGEMENT – SRM

A doutora Paula Moreira, psicóloga especialista em neurociência e aviação, foi coordenadora do curso de CRM na empresa Avianca, e ela explica em seu curso disponibilizado na plataforma Lift Aviation em 2018 o conceito de CRM, e este conceito pode ser compreendido como a dinâmica das interações interpessoais na atividade aeronáutica. CRM – *Coorporate Resource Management*, evoluiu de *Cockpit Resource*, para *Crew Resource*, *Company Resource* a agora está com o conceito ampliado para *Coorporate*, no sentido que sua abrangência ampliou-se gradativamente e agora busca abarcar a comunicação e coordenação em todo o segmento da aviação, inclusive dando ouvidos aos passageiros e funcionários de outras empresas e outros setores, e este conceito vem sendo amplamente abordado na aviação de asa fixa, principalmente na linha aérea, porque esta atividade depende da integração de várias pessoas ao mesmo tempo (comandante, copiloto, comissários, passageiros, DOV, controle etc.). O foco do CRM parece ser a comunicação, e isto também é muito importante na operação de asas rotativas, principalmente em voos de instrução, porém o CRM obviamente se ocupará de centenas de vezes mais pessoas em um voo da aviação regular de asas fixas do que em um de asas rotativas, portanto, abordaremos o equivalente mono piloto do CRM, que é o SRM – *Single Pilot Resource Management*. Este assunto tem ganho muita atenção nos últimos anos, e aborda o gerenciamento de risco, carga de trabalho, consciência situacional e voo controlado contra o terreno (CFIT).

4.3.1 Manejo de Risco

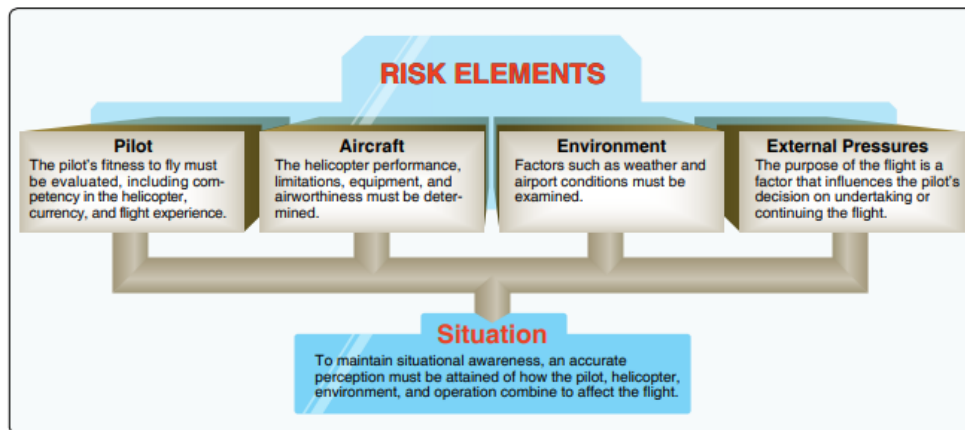
O *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019) define manejo de risco como uma formalização do processo lógico de pesar o risco potencial dos perigos e os benefícios potenciais de aceitar esses perigos. É um processo de decisão sistemático voltado para identificar perigos e avaliá-los, e tomar o melhor curso de ação. Uma vez que os riscos são identificados, eles devem ser avaliados, e uma vez determinado o grau de risco (negligenciável, baixo, médio ou alto) e se este grau de risco é aceitável, a atividade planejada pode ser executada. Uma vez que a atividade planejada começa a ser executada, é preciso levar sempre em consideração se ela pode ser continuada, e o piloto precisa sempre ter em mente alternativas, caso a missão não possa ser cumprida por razões de segurança.

No manejo de risco, existe a distinção entre perigo e risco. Perigo é uma condição presente que pode levar ou contribuir para uma situação indesejada, como um acidente. Risco é o impacto futuro que pode ocorrer caso um perigo não seja controlado ou eliminado. É portanto, a possibilidade de perda ou danos. O nível de risco é medido pelo número de pessoas ou recursos que pode afetar (exposição), a extensão de danos possível (severidade) e a probabilidade do dano ocorrer (probabilidade). Um perigo pode ser uma condição real ou apenas uma impressão do piloto. Aprender a identificar perigos e avaliar o risco que representam, bem como saber determinar o melhor curso de ação, são habilidades necessárias para a segurança de voo.

4.3.1.1 Os Quatro Elementos do Risco

Na cultura de segurança de voo e manejo de risco, de acordo com o *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019), considera-se quatro elementos: o piloto, a aeronave, o ambiente e a operação. O processo de tomada de decisão deve levar em conta cada um destes elementos separadamente e em conjunto. Uma das decisões mais importantes e que está presente em 100% dos voos é a decisão “go/no-go”. Avaliar cada um dos quatro elementos do risco é necessário para esta decisão. Os elementos se dispõem como na Figura 30:

Figura 30: Elementos do risco



Fonte: Helicopter Flying Handbook (2019)

Podemos traduzir a Figura 30 da seguinte maneira:

Elementos do Risco			
Piloto	Aeronave	Ambiente	Pressão Externa
A adequação do piloto para o voo deve ser avaliada, incluindo a experiência no modelo da aeronave	As limitações de performance, o equipamento e aeronavegabilidade da aeronave deve estar determinada	Fatores climáticos e condições aeroportuárias devem ser levadas em conta	O propósito do voo é um fator que influencia a decisão do piloto de cancelar ou continuar a missão
Situação			
Para manter a consciência situacional, deve ser conduzida uma percepção clara de como o piloto, aeronave, ambiente e operação interagem afetando o voo			

(FAA. 2019. p.184, tradução nossa)

Acerca da avaliação do elemento Piloto no gerenciamento de risco, convém que este avalie constantemente as suas limitações pessoais (técnicas, psicológicas etc.), sua condição de saúde, estado mental e emocional, nível de fadiga, e outras possíveis variáveis.

Quanto à aeronave, também é necessário avaliar sua adequabilidade para a missão, se possui potência suficiente, equipamento, combustível, aeronavegabilidade, manutenção etc.

Sobre o ambiente, ele envolve muito elementos externos ao piloto e à aeronave, como a meteorologia, o controle (ATC), auxílios de navegação, estruturas aeroportuárias etc. E da parte que se volta à avaliação à pressão externa, verifica-se que a interação entre piloto, aeronave e ambiente é muito afetada pelo propósito da missão. É válido questionar o porquê do voo estar sendo realizado, quão crítico ele é para o cumprimento da agenda, e se a viagem vale o risco. Tomemos o seguinte exemplo: um piloto é solicitado a levar alguns técnicos para realizar manutenção em linhas de força nos Alpes Suíços com as condições meteorológicas próximas aos mínimos. Não seria preferível aguardar as condições melhorarem antes de realizar esta missão? Seria necessário um nível de urgência bastante elevado para justificar esta decolagem.

4.3.1.2 Avaliando o Risco

Para avaliar o risco, o piloto deve estar atento aos perigos, ou seja, procurando por eles. Muitos experimentos provam que uma vez que o sujeito está procurando por algo, e identifica este algo mais rapidamente do que o faria espontaneamente, ao passo que quando não está procurando, sinais importantes podem passar sem serem percebidos. Todos os voos possuem risco envolvido, e o piloto precisa saber avaliar se o risco é baixo ou alto.

De acordo com o *Helicopter Flying Handbook*, (FAA, 2019), estudar casos de acidentes capacita o piloto a avaliar o risco com mais eficiência. Também é observável uma queda de aproximadamente 50% na ocorrência de acidentes uma vez que o piloto some 100 horas de voo, e esta queda continua até atingir as 1000 horas. É mencionado no livro que a taxa de acidentes com helicópteros é cerca de 30% maior do que com asa fixa.

4.3.1.3 O Modelo 3P de Manejo de Risco

Dentro da cultura de segurança de voo norte americana existe o modelo de avaliação e gerenciamento de risco conhecido como 3P – *Perceive, Process, Perform* (perceber, processar, performar. Tradução nossa). Neste modelo, espera-se que o piloto perceba o perigo, processe o nível de risco e performe o gerenciamento deste risco.

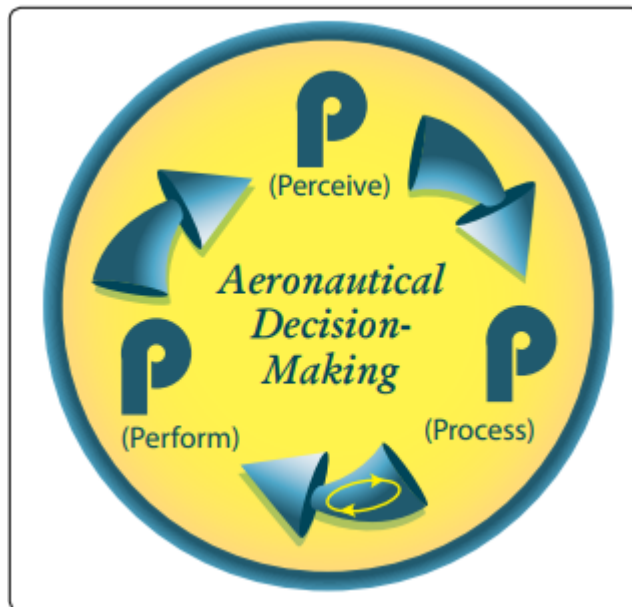
O modelo 3P é interessante porque ele é bastante simples e fácil de ser lembrado e aplicado, sem prejuízo na eficiência em identificar perigos, avaliar e manejar riscos. Tomemos o seguinte exemplo trazido pelo *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019): um piloto de helicóptero é solicitado a fazer o transporte de quatro passageiros para uma área

remota em uma expedição de caça (algo comum nos EUA). Os passageiros escolheram o local para pouso com base na possibilidade de encontrar vida selvagem por ali. A área é de um terreno íngreme e acidentado, com séries de vales, serras e cânions.

Ao chegar no local, o piloto nota uma área suficientemente grande, porém confinada próximo à base de um morro. O piloto utiliza o método 3P inicialmente procurando perigos ao pouso, aproximação e decolagem. Durante este procedimento, ele leva em consideração: (FAA. 2019. p.186, tradução nossa)

- O peso da aeronave e potência disponível;
- O ângulo de aproximação necessário para pousar na área restrita;
- Velocidade e direção do vento;
- Rota de arremetida caso o pouso não possa ser completado;
- Possíveis perigos como fios, árvores ou outros obstáculos ao redor e dentro da área confinada;
- O terreno da área de pouso, se é úmido ou seco, sedimentado ou rígido, e assim por diante.

Figura 31: Modelo 3P



Fonte: *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019)

O piloto avalia o risco em cada um dos pontos citados, a começar pelo fator peso/potência da aeronave, e avalia este risco como baixo, levando em conta que possui potência suficiente para pairar fora do efeito solo, gastou combustível durante a viagem, e também estará com a aeronave mais leve na hora da decolagem, tendo em vista que os passageiros vão desembarcar. Ele estima que os obstáculos mais altos ao redor da área são de

aproximadamente 80 pés, e é possível realizar uma aproximação normal, não sendo necessário uma de grande ângulo, assim, ele avalia este elemento como de baixo risco. Quanto ao risco atrelado ao vento, ele avalia como médio, pois neste exemplo é um vento de 10 nós sem rajadas, porém a natureza do local pode turbilhoná-lo ou fazê-lo mudar de direção repentinamente, mas não a ponto de comprometer totalmente a segurança de voo. O fato deste piloto ter bons conhecimentos sobre o comportamento do vento em terreno montanhoso é um fator que ajuda a controlar o risco. Quanto ao percurso que será percorrido durante a aproximação, o risco é caracterizado como médio, pois há apenas um trajeto possível, mas este é considerado aceitável. Ele ainda avalia como médio o risco para caso precise arremeter, pois existem obstáculos em ambos os lados do percurso e da área restrita, então para mitigar este risco, o piloto determina pontos de decisão go/no-go ao longo do trajeto.

Este é um exemplo da utilização do modelo 3P. Uma vez que o piloto faz esta avaliação e manejo do risco, ele está preparado para realizar a aproximação e tomar os cursos de ação determinados com base no risco avaliado.

4.3.2 Consciência Situacional

Outro aspecto de extrema importância para a segurança de voo é a consciência situacional. Isto abarca muitos elementos, como a consciência de outras aeronaves próximas obtida através da fonia, ou também da posição que o piloto se encontra no espaço, se ele não está desorientado, se ele está próximo de quais aeródromos, e assim por diante. A consciência situacional pode ser compreendida como a consciência de todos os elementos que envolvem a situação em que o piloto se encontra, e para isso, é recomendável a utilização do checklist PAVE (*pilot, aircraft, environment, external pressures*) citado em itens anteriores. Para manter a consciência situacional, todas as habilidades envolvidas no SRM precisam ser utilizadas simultaneamente, então, o piloto deve estar constantemente buscando perceber problemas e avaliar o risco, avaliando a si mesmo para identificar atitudes perigosas, além de estar muito atento ao bom funcionamento dos sistemas de navegação e também ao controle e outras aeronaves na fonia.

4.3.2.1 Obstáculos Para Manter a Consciência Situacional

Um dos elementos que pode facilmente perturbar a consciência situacional certamente é a fadiga. Em anos recentes, entidades civis da aviação como a ABRAPAC (Associação Brasileira dos Pilotos da Aviação Civil) e a ABRAPHE (Associação Brasileira dos Pilotos de Helicóptero) têm dispendido muitos esforços no sentido de alertar os pilotos sobre a fadiga, buscando mitigar os acidentes que ela causa. O *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019) destaca que as duas principais causas de fadiga são uma ruptura nos ciclos circadianos ou sono insuficiente, porém ela também pode ser causada por stress, excesso de atividade física ou mental. Alguns pilotos de helicóptero estão sujeitos a horários de trabalho desregulados e isto pode afetar os ritmos circadianos. Dias consecutivos de elevada atividade de pilotagem também criam fadiga. É importante que o piloto realize pausas durante os dias de trabalho, e se possível, dias sem trabalhar, e também que ele se autoavalie com franqueza sobre seu estado de fadiga e faça o gerenciamento de risco necessário, que pode ser recusar-se a decolar. O livro *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019) afirma ainda que a fadiga apresenta sinais que não devem ser ignorados, por exemplo: visão saindo e voltando ao foco; cabeça cedendo involuntariamente; bocejos repetitivos; perda da memória recente; divagação ou pensamentos desorganizados; problemas na performance e erros em procedimentos rotineiros; degradação da coordenação motora nos comandos. Algumas medidas recomendadas contra a fadiga são: longas “sonecas” (3 a 4 horas) podem restaurar a atenção por 12 a 15 horas; sonecas mais curtas (10 a 30 minutos) podem restaurar a atenção por 3 a 4 horas; refeições com bastante proteína são recomendadas, assim como ingerir bastante líquido, principalmente água; é recomendável variar as tarefas no voo com o outro piloto e conversar com os outros tripulantes e passageiros, se a carga de trabalho permitir; manter a cabine a uma temperatura fresca; mover-se a alongar-se periodicamente, e se possível, caminhar um pouco dentro da aeronave em voos longos.

Outro obstáculo para manter uma boa consciência situacional é o excesso de autoconfiança. Este fator contribuinte está presente em muitos acidentes. O excesso de autoconfiança tende a ocorrer quando o piloto já possui uma certa experiência, e também quando realiza uma tarefa bastante repetitiva, como dar instrução de voo, por exemplo. Este fator leva o piloto a não dedicar 100% da sua atenção para o voo. Leva-o a “relaxar”, e ficar menos atento aos sinais de perigo, como indicações dos arcos de temperatura e pressão do óleo, por exemplo. Muitos pilotos que já são experientes não costumam realizar callouts e não verificam com muita frequência estes parâmetros. A autoconfiança excessiva também pode

levar o piloto a forçar seus limites meteorológicos de forma não natural. É claro que a tendência será ele conseguir pilotar sem dificuldade em condições progressivamente piores, mas talvez um piloto que fez alguns voos recentes com um vento de 15 nós com rajadas e tenha tido dificuldades, porém superando-as, e no final do voo já estava enfrentando as condições com naturalidade, possa se arriscar a realizar um voo com vento de 21 nós e com rajadas. Esta é uma escalada muito grande nos parâmetros, e este piloto certamente terá grandes dificuldades.

5 PREVENÇÃO CONTRA COLISÃO COM FIOS

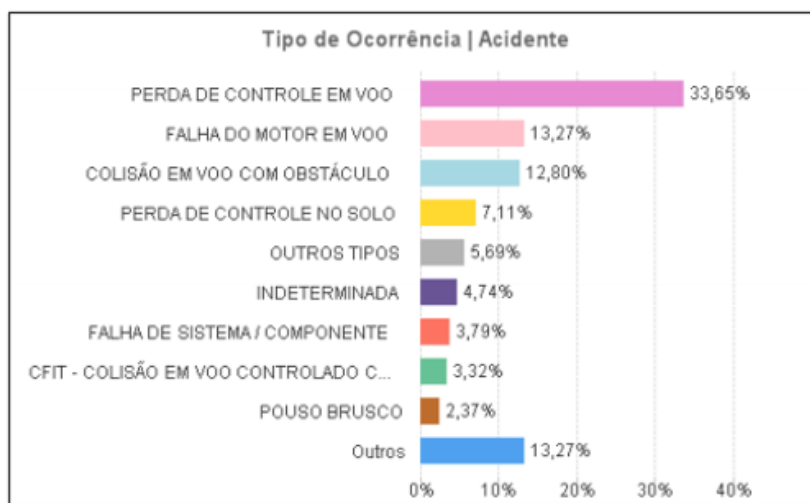
Na operação de asas rotativas, inúmeras fontes apontam que a maior causa de fatalidades sejam as colisões com fios e cabos. O fundador da Robinson Helicopter Company, Frank Robinson, já apontava este fato desde os anos oitenta. Como veremos, as causas mais frequentes de acidentes é a perda de controle em voo, mas o tipo de acidente que mais causa fatalidades são as colisões com fios.

As cidades estão em constante expansão, e em toda parte estão os fios elétricos, torres e cabos. Estes cabos e fios podem tornar-se praticamente invisíveis contra o terreno para um piloto de helicóptero, ou mesmo contra o céu, tanto de dia como de noite. Devido ao fato de os helicópteros poderem voar à baixa altura e velocidade, eles frequentemente se colocam em faixas de altura onde é possível colidir com os fios. A cartografia aeronáutica não acompanha o crescimento das cidades, e muitos obstáculos não estão marcados, mas mesmo aqueles estão oferecem grande perigo para a aviação de asas rotativas.

5.1 PANORAMA GERAL DOS ACIDENTES

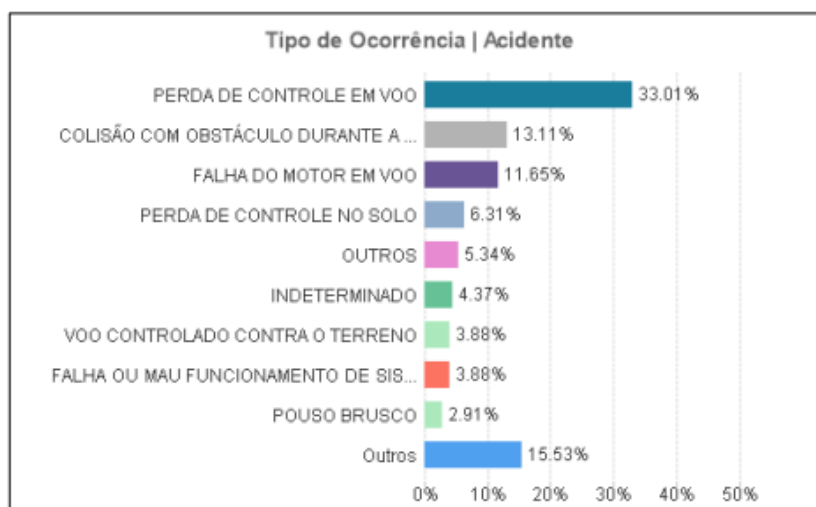
Como observou-se no início desta monografia, houve uma mudança no panorama geral de acidentes entre 2006 e 2015 e entre 2008 e 2017, como se observa nas Figuras 32 e 33. No segundo período, a porcentagem de acidentes por colisão aumentou, superando os por falha de motor. Isto reforça a importância da prevenção contra colisão com fios.

Figura 32: Acidentes por tipo entre 2006 e 2015



Fonte: CENIPA (2016)

Figura 33: Acidentes por tipo entre 2008 e 2017



Fonte: CENIPA (2018)

Para chegar na prevenção contra colisões com fios, vamos abordar brevemente as outras causas mais frequentes de acidentes, que são a perda de controle em voo e a falha de motor.

5.2 PERDA DE CONTROLE EM VOO

Frequentemente a perda de controle em voo está associada à queda de RPM. Muitas vezes (33%) o peso e balanceamento “fora do envelope”, ou acima do peso máximo de decolagem, foi um fator contribuinte. Também é importante lembrar que mais da metade dos acidentes (nos EUA, de acordo com o NTSB) ocorre após entrada em IMC. Frequentemente a perda de controle em voo também ocorre devido à extrapolação das limitações do helicóptero. Com a queda do RPM do rotor principal, o rotor de cauda também perde muita força, diminuindo seu efeito anti-torque e tornando a aeronave incontrolável.

5.2.1 Estudo de Caso

O seguinte estudo de caso tem como base um artigo produzido durante o curso de Especialização em Segurança da Aviação e Aeronavegabilidade Continuada do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica). O artigo foi feito como trabalho final à disciplina de Engenharia de Helicópteros, extraído da revista eletrônica Rottaativa, publicado em 11 de maio de 2016. Os autores do artigo são: Fábio de Carvalho Chiquette; Maria Eugenia Rizzo;

Natanael Rodrigues Barbosa; Rubens Aparecido Adriano Lessa; Rodrigo Hirayama; Thaís Silva Lara

O evento ocorreu na Fazenda Santa Felícia, em 23 de Novembro de 2010, às 18:30 UTC, nos arredores de Goiânia (GO). O helicóptero era do modelo R22. (CENIPA, 2011)

Histórico da ocorrência:

A aeronave decolou do Aeródromo Nacional de Aviação (SNWV), em Goiânia/GO, para realizar voo de verificação do equipamento de VHF-1, e realizou pouso em área descampada próximo ao aeródromo. Em seguida, o piloto decidiu executar uma decolagem vertical de máxima performance, na proa de uma área de vegetação fechada. O piloto perdeu o controle da aeronave, colidindo contra as árvores e após, contra o solo. (CENIPA, 2011, p. 6)

Foto 3: Helicóptero acidentado



Fonte: Rottaativa (2016)

O acidente aconteceu na terceira tentativa de decolagem de máxima performance. Nas duas anteriores, o comandante julgou que não havia altura suficiente para continuar a decolagem, em razão dos obstáculos próximos ao local.

No relatório final, consta o seguinte texto:

Na terceira tentativa, o piloto utilizou potência máxima, colocando o manete na posição 'toda aberta'. Após atingir a altura que julgou suficiente para uma decolagem segura, ele iniciou o deslocamento da aeronave para frente, a fim de aumentar a velocidade e ganhar sustentação. No entanto, a aeronave não conseguiu sustentação suficiente para ganhar altura, após iniciar o deslocamento à frente. Ao verificar que não livraria os obstáculos, o piloto iniciou uma curva à esquerda na tentativa de desviar das árvores. O piloto também aplicou o coletivo para contrariar a tendência de perda de altura e, como não havia mais potência disponível, a rotação do rotor principal começou a cair, chegando a soar o alarme de BAIXA RPM do rotor principal. (CENIPA. 2011. p. 6)

Além disso, convém mencionar que o tripulante ficou gravemente lesionado, o passageiro saiu ileso, a aeronave sofreu graves danos, as condições meteorológicas eram favoráveis a voo visual, o comandante possuía 1900 horas, experiência recente e CMA válidos. A aeronave estava em perfeitas condições de aeronavegabilidade e manutenção.

De acordo com a análise do CENIPA, a utilização dos comandos pelo piloto foi equivocada, implicando na perda de sustentação da aeronave. Com a execução da curva à esquerda, o disco do rotor principal se inclinou, o que fez diminuir a área de sustentação. Além disso, o piloto levantou o coletivo, o que fez reduzir ainda mais a RPM do rotor e perder sustentação, vindo a colidir com as árvores.

Podemos destacar que o piloto havia tentado duas vezes, sem sucesso, realizar a decolagem de máxima performance, o que já era um sinal de que as condições não estivessem favoráveis para esta manobra.

A curva para a esquerda pode ter sido particularmente desastrosa, além de reduzir a área do disco que gerava sustentação, caso tenha sido aplicado pedal esquerdo, o que aumenta o passo do rotor de cauda gerando uma queda ainda maior da RPM.

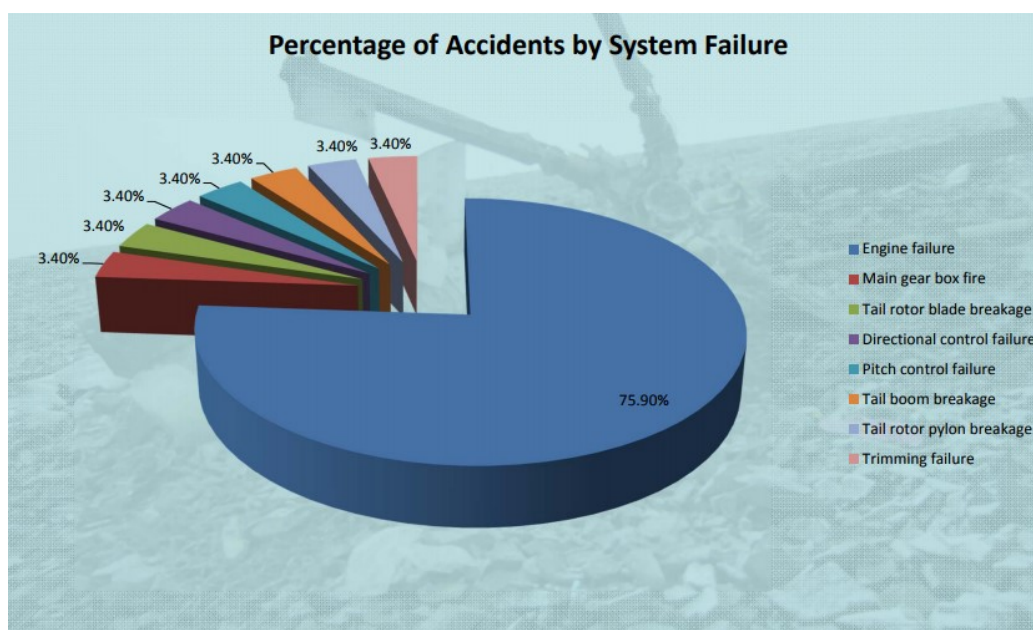
Para mitigar a possibilidade de perda de controle em voo, são pertinentes as seguintes precauções:

- Operar a aeronave dentro dos limites de peso e balanceamento.
- Estar atento à altitude densidade, temperatura e pressão, além do cuidado para não entrar em IMC.
- Utilizar as técnicas de pilotagem adequadas para situações de grande altitude densidade ou baixa pressão, como:
- Decolagem e pouso corridos.
- Utilizar ao máximo o efeito solo e ETL (Effective Translation Lift).

5.3 FALHA DE MOTOR EM VOO

Outra causa frequente de acidentes de helicóptero é a falha de motor em voo. Sobre isto, o mais certo é que a manutenção realizada adequadamente, criteriosa e nos prazos previstos são a melhor defesa. A falha de motor pode, no entanto, ocorrer devido à formação de gelo no carburador, a qual será mascarada pelo governador. Fique atento com as condições de temperatura e umidade. Helicópteros podem pousar em pequenas áreas, portanto ao sentir um funcionamento anormal do motor, o piloto pode, e deve, fazer um pouso de precaução. O piloto também deve “voar acampado”, ou seja, sempre em contato visual e com consciência situacional de um local para pouso forçado, a todo instante, e a reação de abaixar o coletivo e entrar em auto-rotação caso perceba a falha de motor deve ser tão instintiva e rápida quanto seria desviar de um pedestre que se coloca na frente de um carro que conduz em alta velocidade. Das falhas mecânicas que causam acidentes, a falha de motor é representa quase 76% delas.

Figura 34: Acidentes por falha de sistema (EUA, 2005 – 2015)



Fonte: NTSB (2016)

5.4 COLISÃO COM FIOS

A grande vantagem dos helicópteros é sua versatilidade, e a possibilidade de pousar em espaços apertados e restritos. Essa versatilidade habilita os pilotos de helicóptero a realizarem muitos serviços, porém, os sujeita ao perigo da colisão com fios e outros obstáculos. Colisões com fios, ou Wire Strikes, já ocorreram em praticamente todos os setores de operação da asa rotativa. Até pousos em locais abertos e descampados, ou estradas, são perigosos, durante o dia devido à ofuscação que esconde os fios, ou à noite, pela iluminação reduzida. Um professor dando uma aula sobre prevenção contra colisão com fios poderia perguntar se há fios na imagem abaixo (Foto 4). A resposta é sim, porém eles são impossíveis de visualizar.

Foto 4: Torres separadas por rio



Fonte: Blog do Comandante Resende (2016)

De acordo com Frank Robinson, é a causa número 1 de fatalidades em suas invenções, principalmente colisões com fios e cabos. Segundo Bruce Landsberg, o presidente da AOPA - Aircraft Owners and Pilots Association, a média de acidentes envolvendo Wires Strikes, nos EUA, entre 2005 e 2015, foram de 66 acidentes por ano! Com uma probabilidade de 30% que seja fatal, dobrando a probabilidade para 60% em voos noturnos ou em condições IMC. Wire Strikes acontecem com maior frequência nos EUA, porém os fios e cabos estão presentes no Brasil também e em toda parte do mundo civilizado.

5.5 VÍDEO DA HELICOPTER ASSOCIATION INTERNATIONAL

Quando o assunto é prevenção contra colisões com fios, uma das publicações mais famosas, e que aliás é excelente, é este vídeo da Helicopter Association International disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=9ccxc6S4aWI>.

Do vídeo é possível inferir os seguintes pontos:

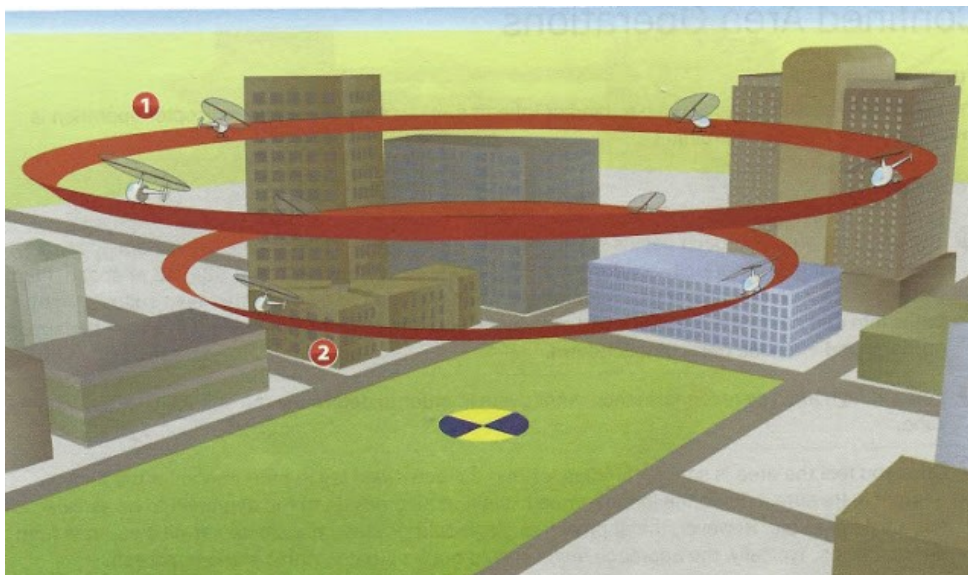
- Os helicópteros chegam a passar 90% do tempo no ambiente de fios.
- Familiaridade com o ambiente não é garantia de segurança.
- Pilotos estão sujeitos a ilusões de ótica e perspectiva de luz que ocultam os fios.
- Entre o instante em que o piloto vê os fios e livra o obstáculo, podem passar até 6 segundos.
- Realizar um reconhecimento alto antes de descer, e outro a baixa/média altitude antes de pousar.
- Mais tempo de cabine não te torna mais seguro.
- Não cumpra ordens que te colocam em uma situação desconfortável ou de alto risco.
- Se a empresa onde você trabalha opera em ambiente de malha elétrica sem a devida ênfase na segurança e prevenção de Wire Strikes, estabeleça um diálogo com a gerência trazendo o tema à tona.
- Espere pelos fios, procure-os. Estando esperando e procurando pelos fios, aumenta as chances de você visualizá-los.
- Acidentes por colisão com fios são evitáveis.

5.6 RECONHECIMENTO ALTO/BAIXO

Uma prática muito importante e que é sempre ensinada nos cursos de helicóptero nos EUA, porém no Brasil algumas vezes é negligenciada, é o reconhecimento alto/baixo antes de se pousar em área restrita. De fato, esta prática poderia prevenir muitos acidentes. Isto consiste em circular o local de pouso ou para onde será feita a descida. Para isso, faça uma volta de 360 graus sobre a área, de preferência para o seu lado, para ter uma melhor visão. evite perder contato visual, mas procure por obstáculos em toda área e ao redor do local

de descida. Faça a primeira volta de 500-700 pés, e uma segunda para confirmar a segurança, a 300-500 pés.

Figura 35: Reconhecimento Alto/Baixo



Fonte: Blog do Comandante Resende (2016)

Para realizar esta manobra e cobrir todos os pontos importantes, existe um truque mnemônico que é o acrônimo WOLFSD, que significa:

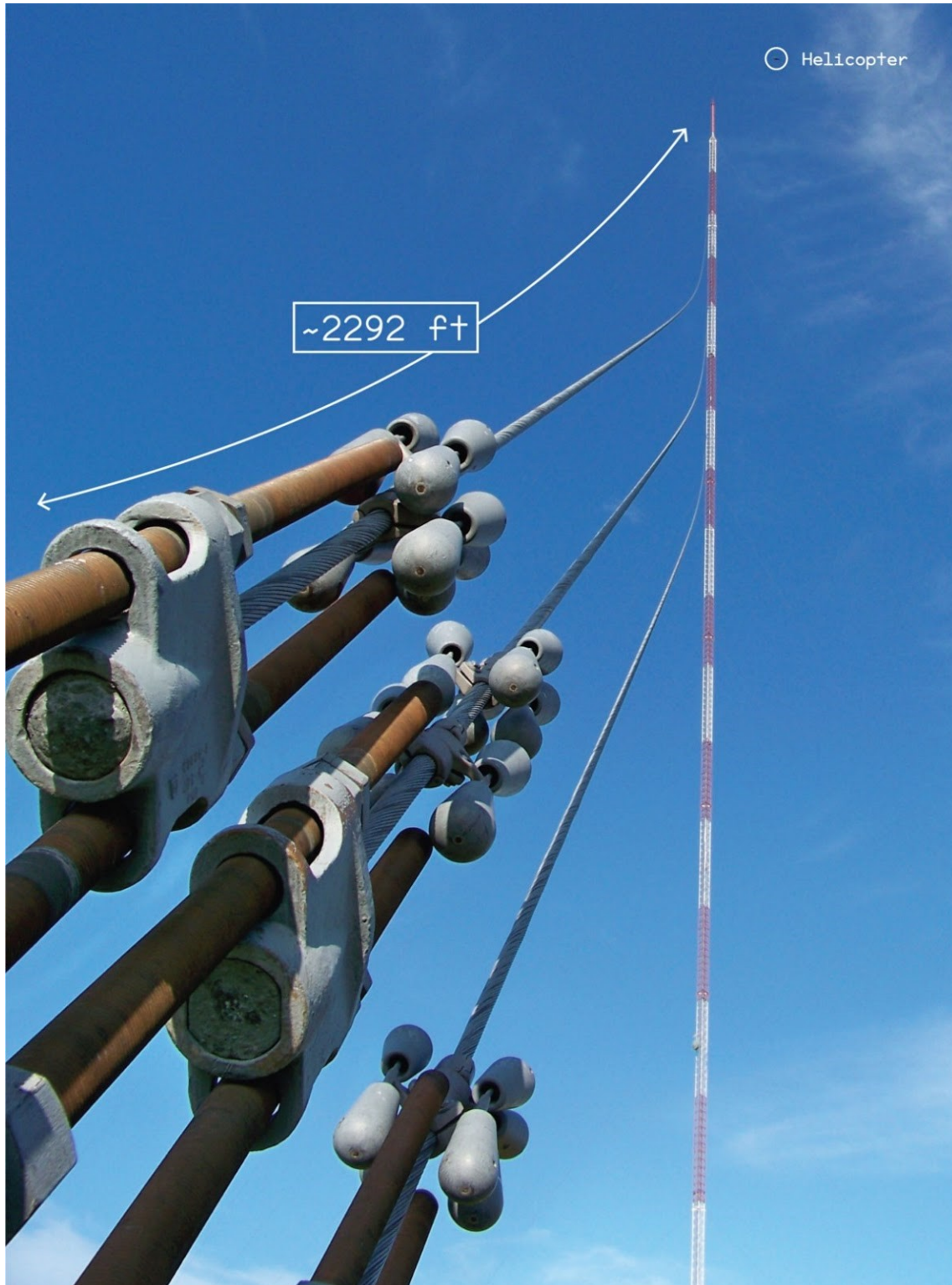
- *Wind* – vento: certifique-se da direção, e tente aproximar-se o mais aproudo com o vento possível;
- *Obstacle* – note os obstáculos ao redor da área;
- *Landing* – defina o melhor setor para realizar a descida. Evite descer circularmente. Faça uma perna base.
- *Forced* – verifique locais próximos para um pouso forçado se necessário durante a aproximação.
- *Surface* – repare nas características do solo no local (grama, grama alta, pedras, terreno irregular)
- *Departure* – durante o reconhecimento, já verifique em qual direção será a decolagem ou o percurso que se pretende fazer, tomando cuidado com os obstáculos e evitando vento de cauda.
- Não esqueça de levar em conta também a posição do Sol, pois ele pode ofuscar a sua visão.

5.7 OUTRAS CONSIDERAÇÕES

O vídeo de HAI e outras publicações similares ainda contém as seguintes informações:

- 60% das vezes o piloto nunca chega a ver o fio que atingiu.
- Em 40% dos casos, o piloto sabia que o obstáculo estava lá, mas se distraiu.
- A média de idade entre os pilotos envolvidos em wire-strikes é 43.5 anos, com 78% dos acidentes envolvendo pilotos entre 40 e 59, com a experiência média de 3,575 horas de voo.
- Estudos da FAA recomendam que helicópteros não façam cruzeiro abaixo de 750 pés se a operação permitir.
- Em 85% das ocorrências o teto era superior a 1000 pés.
- Existem torres que ultrapassam 2000 pés de altura, e elas podem conter fios tensores ao seu redor.
- É uma boa prática passar a uma distância da torre pelo menos igual à sua altura.
- Muitas torres com linhas de transmissão possuem fios mais finos e quase invisíveis nas laterais do seu topo. Esses fios têm a função de para-raios.

Foto 5: Torre alta com fios tensores.



Fonte: Licotelecom (2016)

5.8 SCUD RUNNING

Outra prática perigosa e não recomendável que pode levar à colisão com fios é o *scud running*, que consiste em voar a baixa altura para permanecer fora das nuvens, mantendo referência visual com o solo. Certos regulamentos terminam por facilitar ou permitir esta prática, como o VFR especial, que permite o voo com teto de apenas 1000 pés. A distância de nuvens em espaço aéreo classe G a baixas alturas limita-se a manter-se fora delas, ter contato visual com a superfície e 5km de visibilidade. Essa prática é considerada perigosa, e aumenta as chances de uma colisão com linhas de força, terreno ou outros obstáculos.

Conheça seus limites meteorológicos. Helicópteros podem voar mais lentamente do que aviões, e em condições de baixa visibilidade e altura isso pode ser recomendável.

5.9 VIDEO DA AERIAL AGRICULTURAL ASSOCIATION OF AUSTRALIA

Uma outra publicação interessante sobre prevenção contra colisões com fios é o vídeo publicado pela Aerial Agricultural Association of Australia disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=R5UI9YPDuk4>. O vídeo foi feito para aviões pulverizadores, no entanto, as suas recomendações são perfeitamente úteis para helicópteros, tendo em vista que ambos com frequência voam a baixa altura.

Do vídeo, pode inferir-se os seguintes pontos:

- Existe uma tendência em se tornar complacente com coisas que nos tornamos bons.
- Não confiar apenas na memória sobre onde estão os obstáculos.
- Procurar lembrar mentalmente onde estão os obstáculos no início de cada corrida, e disciplinar-se para atualizar o seu foco para onde os fios estão.
- Estar atento aos perigos da distração e complacência.
- Realizar um reconhecimento antes da primeira corrida procurando obstáculos.
- É uma boa prática destacar nas cartas ou imagens aéreas do local onde estão os obstáculos, e redobrar a sua atenção sempre que estiver voando perto deles.
- Procure gerenciar a sua carga de trabalho, de forma que quando precisar realizar tarefas em voo não seja necessário estar procurando por fios.
- Relembre a posição dos fios após cada curva.

- Muitos pilotos afirmam que é quase impossível ver apenas o fio por si mesmo.
- Tenha um mapa mental da localização dos fios, aumentando sua consciência situacional.
- Faça callouts em voz alta de “wind and wires”, ou “vento e fios”, quando fizer os callouts dos checklists, por exemplo “luzes apagadas, indicações normais, circuit breakers ligados, vento de proa, fios próximos à esquerda, e distantes à frente”.

5.10 SN-16

Como foi comentado, a Robinson Helicopter Company possui tradição em publicações de segurança de voo, os SN – Safety Notices. O SN-16, emitido originalmente em Abril de 1984 e revisado em Junho de 1994 é específico para prevenção contra colisões com fios, e pode ser traduzido da seguinte forma:

Estar atento às torres. Você não verá os fios a tempo.

Voar diretamente acima das torres ou postes quando possível.

Podem haver fios mais finos e difíceis de ver acima dos fios visíveis.

Procurar torres no terreno elevado ao redor da trajetória de voo. Podem haver fios entre essas torres.

Sempre manter-se acima de 500 pés de altura, exceto para decolagem e pouso. Isso elimina a maior parte da possibilidade de uma colisão com fios. Estar atento às torres. Você não verá os fios a tempo.

Voar diretamente acima das torres ou postes quando possível.

Podem haver fios mais finos e difíceis de ver acima dos fios visíveis.

Procurar torres no terreno elevado ao redor da trajetória de voo. Podem haver fios entre essas torres.

Sempre manter-se acima de 500 pés de altura, exceto para decolagem e pouso. Isso elimina a maior parte da possibilidade de uma colisão com fios.

(RHC. 1994. Tradução nossa)

Safety Notice SN-16 – Power Lines are Deadly

ROBINSON
HELICOPTER COMPANY

Safety Notice SN-16

Issued: Apr 84 Rev: Jun 94

POWER LINES ARE DEADLY

Flying into wires, cables, and other objects is by far the number one cause of fatal accidents in helicopters. Pilots must constantly be on the alert for this very real hazard.

- * Watch for the towers; you will not see the wires in time.
- * Fly directly over the towers when crossing power lines.
- * Allow for the smaller, usually invisible, grounding wire(s) which are well above the larger more visible wires.
- * Constantly scan the higher terrain on either side of your flight path for towers.
- * Always maintain at least 500 feet AGL except during take-off and landing. By always flying above 500 feet AGL, you can virtually eliminate the primary cause of fatal accidents.

Fonte: Robinson Helicopter Company (1994)

5.11 SN-41

Além do SN-16, o SN-41 também parece ser pertinente para a prevenção contra colisões com fios. Ele trata das distrações do piloto, e pode ser traduzido da seguinte maneira:

É importante focar a atenção do lado de fora do helicóptero e minimizar distrações durante o voo.

Ajustes nos aviônicos que levem mais do que alguns segundos devem ser feitos no solo.

Durante o pairado, mantenha as duas mãos nos comandos.

Se for necessário sintonizar outra frequência ou tarefa similar, pause antes o helicóptero e baixe e trave o coletivo.

Se precisar lidar com distrações durante o voo, diminua a velocidade e olhe constantemente para o lado de fora.

Ocasionalmente pilotos podem esquecer de travar a porta. Nunca faça isso durante o pairado ou voo. É mais seguro pousar antes o helicóptero.

(RHC. 2013. Tradução nossa)

SN-41 Pilot Distractions

ROBINSON HELICOPTER COMPANY

2901 Airport Drive, Torrance, California 90505

Phone (310) 539-0508 Fax (310) 539-5198

Safety Notice SN-41

Issued: May 2013

PILOT DISTRACTIONS

Distractions in the cabin have caused pilots to lose control of the helicopter. Reading charts, programming avionics, or attending to passengers are some common distractions. During flight, it is important to keep eyes focused outside and minimize distractions to avoid an accident. Any avionics programming that takes more than a few seconds should be done while on the ground.

When hovering, keep both hands on the controls. If tuning a radio or other task is required, first land and reduce collective pitch. When dealing with distractions in forward flight, reduce power, slow down, and frequently look outside to verify straight and level flight.

Occasionally, pilots neglect to latch a door before taking off. Never attempt to latch a door while hovering or in flight. It is safer to land before closing a door.

Fonte: Robinson Helicopter Company (2013)

5.12 OUTRAS RECOMENDAÇÕES

Para finalizar esta parte sobre prevenção contra colisões com fios, a experiência e anos de estudos, além de convívio com profissionais e cultura de segurança, ensinam algumas recomendações interessantes. São elas:

- Ao passar próximo a torres de alta tensão, passe a uma distância igual ou maior que a altura da torre.
- Ao voar a baixa altura, não sobrevoar linhas de transmissão e fios elétricos. O aspecto limpo do solo abaixo das linhas passa a ilusão de serem um local razoável para um pouso forçado, e no caso de uma falha de motor dificilmente haverá tempo para desviar dos fios.
- Checar todas as fontes de informação pertinentes ao voo, como **ADC** (Carta de Aeródromo), **AOC** (Carta de Obstáculos), **VAC** (Carta de Aproximação Visual) e consultando outros mapas como a **WAC** (Carta Aeronáutica Mundial), e NOTAMs.
- Cuidado ao sobrevoar rios. Frequentemente há fios nas suas margens e cruzando-as.
- Não seja “bitolado”. Você pode fazer uma pequena curva (planejada) na final para diminuir o risco de colisão, ou aproximar-se a partir de uma altura mais elevada, ou mesmo de maior ângulo.
- Os especialistas recomendam que a decolagem seja feita em linha reta até atingir uma altitude segura.
- Não passe entre dois postes ou torres elétricas, nem mesmo em decolagens e pousos. Há uma boa chance de haver fios entre elas e você não estar vendo.
- Sempre presuma que há fios. Na dúvida, presuma que os fios estão lá.
- Fique atento à outros indicadores de fios, como bolas sinalizadoras, feitas geralmente na cor laranja, e com cerca de 50cm de diâmetro, ou isoladores, que apontam a direção do fio.
- Não se esqueça que os fios, postes e torres podem estar camuflados entre a vegetação.
- Visualizar os fios também está sujeito ao campo de visão do piloto e à sua acuidade visual.

- Se você precisa de óculos, use-os. Em dias de grande luminosidade, utilize óculos de sol com grau.
- Varra seu campo de visão em pequenos setores, em breves intervalos de 3 ou 4 segundos. Nunca foque sua visão em um ponto ou sua atenção demasiadamente dentro da cabine.
- Quando estiver voando próximo a torres, ou em um ambiente em que haja torres, se a operação permitir, voe acima da altura delas.
- Um bom CRM também pode ser a chave para evitar colisões com fios, de acordo com os especialistas da *Utility Aviation Specialists*. Todos os membros da tripulação devem informar imediatamente qualquer obstáculo pertinente, em voz alta, sem inibição, e com o apoio do comandante.
- Além disso, o comandante deve estar aberto aos alertas da tripulação e dos passageiros, sem arrogância ou prepotência.

6 CONCLUSÃO

Concluimos que este trabalho cumpre o objetivo proposto, que é atualizar e aprimorar a cultura de segurança de voo no Brasil, pois nele foi contextualizado o panorama de acidentes e incidentes graves, aprofundando os três modelos de helicópteros que mais se envolvem em acidentes. Foi ainda abordado a manobra clássica de auto-rotação, algumas emergências como estol da pá que recua, rolagem dinâmica e ressonância com o solo. Abordamos profundamente a emergência de estado de vórtice, com críticas à bibliografia nacional e foi ensinado a manobra inovadora de recuperação criada pelo comandante Claude Vuichard. Também o *mast bump* foi abordado com profundidade.

Foi trazido um tema da cultura de segurança de voo que por vezes é deixado de lado nas escolas de aviação que é a tomada de decisão eficiente e SRM – *Single Pilot Resource Management*. Começamos com recomendações de especialistas, o manejo de risco e instrumentos para tal, como o modelo 3P, e tratamos da consciência situacional e os obstáculos para mantê-la.

Por fim, abordamos a prevenção contra colisões com fios, que é um tema de extrema importância por ser a causa número 1 de fatalidades envolvendo acidentes de helicópteros, e muito pouco abordado no Brasil, então com este trabalho também buscamos suprir esta deficiência. Fizemos comentários breves sobre falha de motor e um estudo de caso sobre perda de controle em voo, e seguimos com muitas recomendações de profissionais acerca da prevenção contra colisões com fios.

O trabalho cumpre seu objetivo pois reforça e corrige conceitos importantes da segurança de voo, bem como traz novos conceitos e aborda temas importantes que frequentemente são negligenciados. Parece bem claro que qualquer piloto que leia atentamente este trabalho estará mais seguro após a leitura.

Observamos na parte inicial que existe uma correlação entre o tipo de operação e tipo de acidente, levando em conta ainda que os três modelos de aeronave possuem tipicamente funções diferentes, sendo que o R44 e o AS350 Esquilo convergem para a operação particular, ao passo que o R22 é utilizado quase que inteiramente para instrução. É interessante mencionar que colisões com fios são uma causa presente de acidentes com estes três tipos de aeronaves, e uma proteção eficaz contra este tipo de acidente é o “corta-fio”, ou, WSPS – *Wire Strike Protection System* (sistema de proteção contra colisão com fios, tradução nossa). Este sistema está disponível para o AS350 Esquilo, porém não para o R44 e o R22, no entanto, ele está disponível para o Robinson R66, que possui dimensões quase idênticas às do

R44, portanto seria muito interessante que este equipamento fosse adaptado e homologado para o R44, que é uma aeronave que existe em muito maior quantidade. Já para o R22, dificilmente o proprietário faria tal investimento para uma aeronave de valor mais baixo e com a finalidade quase exclusiva de voos de instrução. Curiosamente, na aviação os instrutores de voo pouco tempo atrás eram alunos. Eles começam a dar instrução com pouca experiência, adquirindo a experiência no processo. A aviação é uma atividade bastante delicada, então talvez fosse mais interessante que os instrutores fossem profissionais mais experientes, e que se começasse a adquirir a experiência na aviação geral antes de dar instrução. O que provavelmente impede que seja desta forma é que as escolas de aviação teriam que cobrar demasiado caro dos alunos para remunerar adequadamente instrutores muito experientes, tornando a atividade inviável, no entanto, muitas escolas possuem alguns instrutores ou chefes de instrução com bastante experiência. O excesso de burocracia, impostos e taxas também já encarecem muito a instrução e operação aeronáutica, principalmente de helicópteros.

Quando tratamos das emergências em caráter didático, atingimos o objetivo de aprofundar os assuntos. Começando pela manobra de auto-rotação, foi demonstrado que é possível estender ou encurtar o planeio, bem como realiza-la verticalmente, e ainda foram explanados os principais erros cometidos em todas as variantes, extraídos do *Helicopter Flying Handbook* (FAA, 2019). Apesar desta ser uma manobra normal dos cursos de helicóptero, é interessante frisar estes pontos, porque na eventualidade de uma pane de motor, estender ou encurtar o planeio pode muito bem garantir um pouso muito mais seguro. Ainda dentro dos tópicos didáticos, falamos sobre o estol da pá que recua. Todo piloto está familiarizado com o conceito de Vne (Velocidade Nunca Exceder), no entanto, é muito comum os pilotos não levarem em conta os fatores de temperatura e pressão, e com isso, a altitude densidade, e o efeito que estes fatores tem sobre a Vne, podendo reduzi-la. Com o tópico sobre o estol da pá que recua, nós frisamos a importância deste ponto, que é frequentemente negligenciado. Em seguida, ainda neste tópico, comentamos brevemente a ressonância com o solo, e também com mais detalhes a emergência do estado de vórtice, tecendo uma crítica à bibliografia nacional e apresentando a inovadora manobra da Recuperação de Vuichard, que é pouquíssimo conhecida no Brasil. Além disso, também abordamos o *mast bump* detalhadamente com o boletim de segurança da *New Zealand Helicopter Association*, o que certamente irá conscientizar os pilotos de helicópteros bi-pá sobre a severidade deste tipo de acidente e como melhor preveni-lo, levando em conta questões como turbulência e velocidade. É fato que o *mast bump* é um assunto muito

abordado, mas parece que é abordado muito superficialmente e com total foco em não realizar movimentos bruscos para a frente com o cíclico após uma subida, se colocando em baixo G. Raramente se menciona o agravante da turbulência e alta velocidade, como se fez aqui, além de expor as recomendações daqueles profissionais para evitar o *mast bump*, bem como as recomendações da própria *Robinson Helicopter Company*.

O próximo assunto do qual tratamos refere-se a fator humano e tomada de decisão eficiente. Este assunto é tratado nas escolas de aviação muito vagamente, muitas vezes resumindo-se a perguntar se o aluno “está bem”, se dormiu e se alimentou direito. Aqui, nós abordamos modelos de gerenciamento de risco como o 3P, e os checklists de segurança IM SAFE e PAVE, que são menos conhecidos no Brasil, além de vermos formas de graduar o risco, sobre a consciência situacional e seus obstáculos, abordando com mais profundidade o importante aspecto da segurança de voo que é a fadiga. Além disso, ainda nesta seção do trabalho, tratamos do tema SRM – *Single Pilot Resource Management*, que é um tema recente no mundo e pouco conhecido no Brasil. Este tema aborda gerenciamento de risco, de carga de trabalho, entre outros, e é muito importante para a operação de helicóptero porque a maioria dos voos de asas rotativas, pelo menos na aviação geral, ocorre com apenas um piloto.

Para finalizar, abordamos ainda um assunto que é um dos mais negligenciados na cultura de segurança de voo, apesar de ser certamente um dos mais importantes, que é a prevenção contra colisão com fios. Este tema é de extrema importância porque é a causa número 1 de fatalidades na operação de helicópteros. Nesta seção, iniciamos por temas periféricos ao assunto, porém ainda centrais à segurança de voo, que são a perda de controle em voo, realizando um estudo de caso com um acidente trazido por um artigo de uma graduação do ITA (Instituto Brasileiro de Aeronáutica), e em seguida tratamos brevemente dos acidentes causados por falha de motor em voo. Foi pertinente abordar estes assuntos na seção de prevenção contra colisão com fios porque apesar das colisões com obstáculo em voo serem a primeira causa de fatalidades, eles são a terceira causa de acidentes, e a primeira e segunda são a perda de controle em voo e falha de motor, portanto é correto abordar a primeira e segunda causa antes de partir para a central da seção que é a prevenção contra colisão com fios. No cerne desta seção, analisamos vídeos de entidades internacionais como a HAI (*Helicopter Association International*), e também da AAAA (*Aerial Agricultural Association of Australia*). Também analisamos publicações da *Robinson Helicopter Company* e recomendações de outros profissionais experientes.

A cultura de segurança de voo de um país ou organização é formada por um amálgama de assuntos, e é construída e aprimorada por meio de esforços individuais e coletivos, como este trabalho, ou seminários de segurança de voo, como aqueles realizados pelo SERIPA (Serviço de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos). Por meio deste trabalho, muitos assuntos que são pouco abordados ou muito desconhecidos encontram um veículo para chegar aos profissionais. Com isso, podemos concluir que este trabalho pode cumprir seu objetivo de aprimorar a segurança de voo no Brasil, uma vez que seja publicado e lido por pilotos e instrutores.

REFERÊNCIAS

- Airbus. (2021). *H125*. Acedido em 05 de Julho de 2021, no *Web site* da: Airbus: em: <https://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/intermediate-single/h125.html>.
- ALMEIDA, C. A.; NASCIMENTO, J. V.; FARIAS, J. L. et al. *Helicópteros Sumário Estatístico 2006-2015*. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). Brasília. 2016. BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Regras E Procedimentos Especiais De Tráfego Aéreo Para Helicópteros. ICA 100-4. [Rio de Janeiro], 2016.
- ANAC. (2011). *Carta de segurança operacional*. 4a Edição. 14 de abril de 2011. Acedido em em 18 de Maio de 2018, em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/carta/edicao-4>.
- ATSB. (20-?). *WIRESTRIKES involving known wires: A manageable aerial agriculture hazard*. Acedido em 18 de Maio de 2018, em: <https://www.youtube.com/watch?v=R5UI9YPDuk4>.
- FAA. (2019). *Helicopter Flying Handbook*. U.S. Department of Transportation.
- HAI. (2010). *Wire Strikes: surviving the wire enviroment*. Acedido em 18 de Maio de 2018, em: <https://www.rotor.org/Publications/HAIVideosLibrary/SurvivingtheWiresEnvironment.aspx>.
- International Helicopter Safety Team. (2016). *HELICOPTER ACCIDENTS: Statistics, Trends and Causes*. Acedido em: 18 de Maio de 2018, em: http://www.ihst.org/portals/54/symposium/2016/Presentation%20IHST-CIS_2016.pdf.
- Jeppesen. (2019). *Helicopter Pilot Textbook*. Englewood.
- Joffily, K. (2000). *Aerodinâmica do Helicóptero*. 1. ed. Curitiba.

- Kühr, K. (2018). A recuperação de Vuichard na instrução e operação de asa rotativa. *Lift Aviation*, Acedido em 05 de Julho de 2021, em: <https://liftaviation.com.br/blog/recuperacao-de-vuichard/>.
- Licotelecom. (2016). *A Torre de Antena de TV mais alta do mundo!* Acedido em 05 de Julho de 2021, em <http://licotelecom.blogspot.com/2016/05/torres-de-alta-escala.html>
- New Zealand Helicopter Association. (20-?). *Low-G situations, mast bump and turbulence*. Acedido em 5 de Julho de 2021, em: <https://www.aia.org.nz/site/aianz/NZHA%20safety%20bulletin%20number%204%20pdf.pdf>.
- Resende. (2016). *Wire Strike em Helicópteros. O que é e como evitar?* Acedido em 05 de Julho de 2021, em: <https://cmteresende.blogspot.com/2016/02/wire-strike-em-helicopteros-o-que-e-e.html>.
- Robinson Helicopter Company. (2021). *R44 Raven II & Clipper II*. Acedido em 05 de Julho de 2021, em: <https://robinsonheli.com/r44-specifications/>.
- Robinson Helicopter Company. (2021). *R22 Beta II especifications*. Acedido em 05 de Julho de 2021, em: <https://robinsonheli.com/r22-beta-ii-specifications/>.
- Robinson Helicopter Company. (1994). *Power Lines are Deadly*. Acedido em 05 de Julho de 2021, em: https://robinsonheli.com/wp-content/uploads/2015/12/rhc_sn16.pdf.
- Robinson Helicopter Company. (2013). *Pilot Distractions*. Acedido em 05 de Julho de 2021, em: https://robinsonheli.com/wp-content/uploads/2015/12/rhc_sn41.pdf.
- Rocha. (2013). *Teoria de Voo Helicópteros*. 2. ed. São Paulo.
- Rottaativa. (2016). *Perda de rpm do rotor e análise de acidentes de helicópteros*. Acedido em 18 de Maio de 2018, em: <http://www.rottaativa.com/perda-de-rpm-do-rotor-e-analise-de-acidentes-de-helicopteros/>.

SANTOS, L. C. B.; ALMEIDA, C. A.; FARIAS, J. L.; et al. Helicópteros - Sumário Estatístico 2008-2017. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). Brasília. 2018.