



COMANDO DA AERONÁUTICA
CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE
ACIDENTES AERONÁUTICOS



ADVERTÊNCIA

O único objetivo das investigações realizadas pelo Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) é a prevenção de futuros acidentes aeronáuticos. De acordo com o Anexo 13 à Convenção sobre Aviação Civil Internacional (Convenção de Chicago) de 1944, da qual o Brasil é país signatário, não é propósito desta atividade determinar culpa ou responsabilidade. Este Relatório Final Simplificado, cuja conclusão baseia-se em fatos, hipóteses ou na combinação de ambos, objetiva exclusivamente a prevenção de acidentes aeronáuticos. O uso deste Relatório Final Simplificado para qualquer outro propósito poderá induzir a interpretações errôneas e trazer efeitos adversos à Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Este Relatório Final Simplificado é elaborado com base na coleta de dados, conforme previsto na NSCA 3-13 (Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da Aviação Civil conduzidas pelo Estado Brasileiro) e foi disponibilizado à ANAC e ao DECEA para que as análises técnico-científicas desta investigação sejam utilizadas como fonte de dados e informações, objetivando a identificação de perigos e avaliação de riscos, conforme disposto no Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil (PSO-BR).

RELATÓRIO FINAL SIMPLIFICADO

1. INFORMAÇÕES FACTUAIS

DADOS DA OCORRÊNCIA							
DATA - HORA			INVESTIGAÇÃO			SUMA N°	
03MAIO2021		16:30 (UTC)	SERIPA IV			A-061/CENIPA/2021	
CLASSIFICAÇÃO		TIPO(S)			SUBTIPO(S)		
ACIDENTE		[LOC-G] PERDA DE CONTROLE NO SOLO			NIL		
LOCALIDADE			MUNICÍPIO		UF	COORDENADAS	
AERÓDROMO CAMPO DE MARTE (SBMT)			SÃO PAULO		SP	23°30'24"S	046°38'02"W

DADOS DA AERONAVE			
MATRICULA	FABRICANTE		MODELO
PT-HUD	ROBINSON HELICOPTER		R22
OPERADOR		REGISTRO	OPERAÇÃO
AGD AVIATION ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL LTDA		PRI	INSTRUÇÃO

PESSOAS A BORDO / LESÕES / DANOS À AERONAVE							
A BORDO		LESÕES					DANOS À AERONAVE
		Ileso	Leve	Grave	Fatal	Desconhecido	
Tripulantes	2	-	2	-	-	-	Nenhum
Passageiros	-	-	-	-	-	-	Leve
Total	2	-	2	-	-	-	X Substancial
							Destruída
Terceiros	-	-	-	-	-	-	Desconhecido

1.1. Histórico do voo

A aeronave decolou do Aeródromo Campo de Marte (SBMT), São Paulo, SP por volta das 15h50min (UTC), a fim de realizar um voo de instrução local, com um instrutor e um aluno a bordo a bordo.

Durante a demonstração do exercício de pouso e decolagem em terreno inclinado, a aeronave colidiu contra o solo.

A aeronave teve danos substanciais e os tripulantes sofreram lesões leves.



Figura 1 - Vista do PT-HUB no local do acidente.

2. ANÁLISE (Comentários / Pesquisas)

Tratava-se de um voo de instrução local com um Instrutor (IN) e um Aluno (AL) a bordo.

O IN possuía as licenças de Piloto Comercial - Helicóptero (PCH) e estava com as habilitações de Helicóptero Monomotor Convencional (HMNC) e Instrutor de Voo - Helicóptero (INVH) válidas.

Ele possuía 1.559 horas totais de voo, das quais 1.500 horas correspondiam ao modelo R22. Ele estava qualificado e possuía experiência para a realização do voo.

O AL possuía as licenças de Piloto de Linha Aérea - Avião (PLA) e estava com as habilitações de Avião Monomotor Terrestre (MNTE), Avião Multimotor Terrestre (MLTE) e Voo por Instrumentos (IFRA) válidas.

Ele possuía cerca de 1.970 horas totais de voo em asa fixa e estava realizando sua formação de Piloto Privado - Helicóptero (PPH). No dia do acidente, o AL tinha um total de 7 horas e 35 minutos de voo no modelo desta ocorrência.

Eles estavam com o seus Certificados Médicos Aeronáuticos (CMA) válidos.

As condições meteorológicas eram propícias ao voo visual.

Segundo Informe Meteorológico Especial de Aeródromo (SPECI) de SBMT, das 16h26min (UTC), o campo operava sob condições meteorológicas visuais (VMC), com visibilidade acima de 10 km, vento com direção de 280° e intensidade de 5kt, com poucas nuvens a 4.600 ft:

SPECI SBMT 031626Z 28005KT 9999 FEW046 25/12 Q1019=

A aeronave, modelo R22, número de série (N/S) 2412, foi fabricada pela *Robinson Helicopter*, em 1994, e estava inscrita na Categoria de Registro Privada - Instrução (PRI).

De acordo com os registros constantes no Sistema Integrado de Informações da Aviação Civil da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA) estava válido até 17FEV2022.

As escriturações da caderneta de célula estavam atualizadas.

No entanto, o último lançamento de horas na "Parte 1" da caderneta do motor datava de fevereiro de 2021, portanto estava desatualizada, conforme previa a Instrução Suplementar (IS) 43.9-003, Revisão B, Item 5.6.2, de 28FEV2020 da ANAC:

A atualização da Parte I das cadernetas de célula, de motor e de hélice, obrigatoriamente, deverá ser feita até o quinto dia do mês subsequente, sempre que houver alteração dos tempos de funcionamento citados nos parágrafos 4.4 e 4.5 desta IS. Desta forma, caso uma aeronave, motor ou hélice opere, após um período inativo maior que um mês, deverá ser citada essa inatividade numa única linha no campo Controle Mensal das Partes I das respectivas cadernetas. Ex: Não totalizadas horas de 30/04/02 a 30/09/02 - motivo IAM.

A aeronave operava dentro dos limites de peso e balanceamento.

O operador da aeronave era uma Escola de Aviação Civil, regida pelo Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica (RBHA) nº141 - "Escolas de Aviação Civil", com processo em andamento pela ANAC para certificação como Centro de Instrução de Aviação Civil (CIAC) e mudança de égide para o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº 141 - "Certificação e requisitos operacionais: Centros de Instrução de Aviação Civil".

O voo consistia na sexta missão do treinamento básico para formação de PPH. Foram executados exercícios de pouso e decolagem, deslocamentos aéreos, giros e quadrados de proa constante e variável.

Após os exercícios previstos terem sido realizados e, em função de o AI ter atingido proficiência na missão, o IN decidiu assumir os comandos e realizar o taxiamento aéreo para um gramado ao lado da área de *run up* de SBMT, a fim de demonstrar um pouso e decolagem em terreno inclinado. Todavia, não foi efetuado um *briefing* anterior sobre o exercício a ser demonstrado.

O IN realizou o pouso em um terreno com declive lateral à direita, com proa oeste (W). O esqui esquerdo ficou apoiado na grama, enquanto o esqui direito permaneceu no ar, aproximadamente, a 1 ou 2 pés do solo. O IN manteve-se nessa condição por alguns segundos, enquanto comentava as técnicas de pilotagem necessárias para a realização do procedimento. Na sequência, o helicóptero rolou pela esquerda e colidiu contra o terreno.

Durante a coleta de dados, a Comissão de Investigação realizou uma análise do terreno e não foi encontrado nenhum ponto ou objeto que pudesse ter se prendido ao esqui, bem como não foram encontradas quaisquer marcas ou danos no esqui da aeronave que corroborasse essa possibilidade.

Durante a inspeção da área, foi observado que a inclinação escolhida pela tripulação era de aproximadamente 9°, conforme mostra a Figura 2.



Figura 2 - Inclinação da área escolhida para realização do terreno inclinado.

Foi executada uma inspeção visual e teste de funcionamento do sistema de comandos da aeronave e não foram identificadas anormalidades ou possíveis falhas.

Por meio das imagens das câmeras de segurança do aeródromo, relato dos tripulantes e da aferição da inclinação da área escolhida pela tripulação, a Comissão concluiu que houve um rolamento dinâmico do PT-HUD.

De acordo com o Manual do Comando da Aeronáutica (MCA) 3-6, Manual de Investigação do SIPAER, de 2017:

O rolamento dinâmico ocorre tipicamente quando o ângulo de rolamento crítico é excedido. Esse ângulo, também conhecido como ângulo de rolamento dinâmico, é definido como a inclinação máxima além da qual a autoridade de comando do piloto não é capaz de contrariar a velocidade angular em torno de um ponto de pivô. Este ângulo pode ser de apenas 7° e varia de acordo com a razão de rolamento, o peso e a tração do rotor principal.

Sobre o tema, o MCA 3-6 registrou que, durante decolagens e pousos, uma das partes do trem de pouso pode atuar como pivô, favorecendo o surgimento de um momento de rolamento sobre o ponto de contato com a superfície. O ponto pivô pode ser caracterizado como qualquer ponto em que ocorra um atrito ou apoio, de forma que cause uma força contrária ao sentido de deslocamento da aeronave.

O peso da aeronave se opõe ao momento de rolamento. Essa força de oposição, no entanto, se torna menos eficaz à medida que a aeronave rola progressivamente para ângulos mais acentuados. O helicóptero alcança valores de inclinação (ângulo de rolamento crítico) tais que tornam o rolamento irreversível (Figura 3).

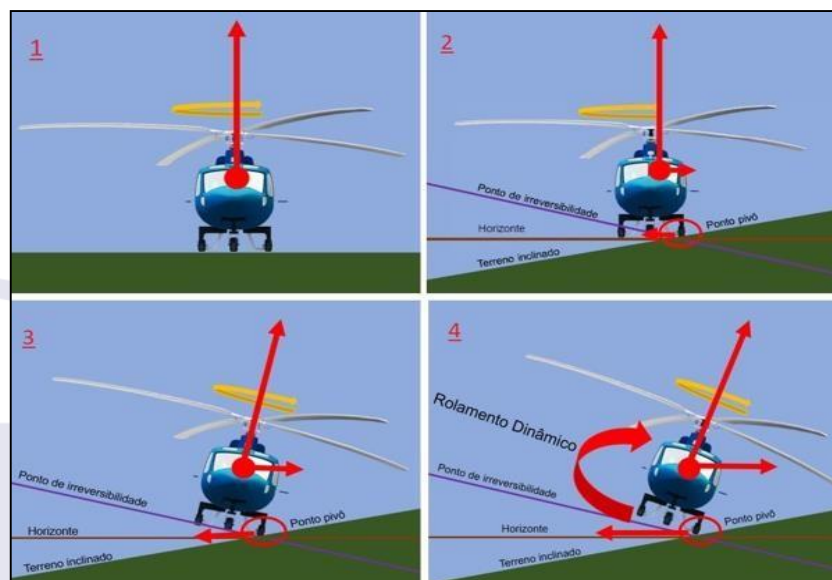


Figura 3 - Croqui da decomposição de forças que influenciaram o PT-HUD.

A imagem 1 da Figura 3 acima, mostra uma aeronave realizando uma decolagem em terreno nivelado, no qual a força resultante (sustentação) está para cima, no sentido do deslocamento da aeronave.

A imagem 2, representa o PT-HUD após o deslocamento aéreo e pouso na área gramada, onde têm-se uma inclinação do terreno à direita e o apoio do esqui esquerdo (o esqui direito permanece no ar). Nesse momento, o piloto deveria utilizar o comando de cíclico levemente à esquerda e aplicar o comando coletivo conforme o necessário, de forma que a aeronave permanecesse equilibrada sem deslocamentos laterais (forças horizontais nulas).

Já a imagem 3, representa a tentativa de decolagem utilizando o cíclico com amplitude lateral excessiva e deslocamento vertical insuficiente (coletivo), gerando uma tendência de deslocamento lateral da aeronave à esquerda. Uma vez que o esqui esquerdo também está apoiado no solo, o ponto pivô foi gerado, ocasionando uma força contrária ao sentido de deslocamento. A aeronave ainda poderia permanecer em equilíbrio se o ponto de irreversibilidade não fosse ultrapassado.

Por fim, a imagem 4 simboliza a ultrapassagem do ângulo de rolamento crítico, atingindo o ponto de irreversibilidade, onde qualquer ação de pilotagem seria insuficiente para impedir o capotamento da aeronave.

Segundo o MCA 3-6, as principais causas de rolamento dinâmico são *inputs* de controle inapropriados e falhas na adoção de medidas corretivas por parte dos pilotos. Movimentos laterais de cíclico ou derrapagem da aeronave resultam em uma componente lateral de tração. Essa componente lateral de tração tende a mover lateralmente o helicóptero ou a incliná-lo em torno de um ponto de pivô (imagem 3). O momento de rolagem pode ocorrer em decolagens com cíclico lateral excessivo.

Durante a decolagem, o AL reportou que sentiu o cíclico da aeronave tocando sua perna esquerda, condição que até aquele momento ele não havia presenciado.

Ainda de acordo com o MCA 3-6, as operações em terreno inclinado representam a maioria dos acidentes com rolamento dinâmico.

O Manual descrevia as técnicas recomendadas para a decolagem, enfatizado que se deve deslocar o cíclico lateralmente na direção da parte mais alta do solo, enquanto o

coletivo é aplicado para cima. Isso deve ser realizado suavemente, à medida que o piloto busca uma atitude nivelada antes de levantar totalmente o trem de pouso do solo.

No entanto, prosseguia a publicação, se o coletivo for puxado rapidamente antes de a aeronave sair totalmente do solo, um excessivo momento de rolamento se verifica. Em outras palavras, se a aeronave não estiver estabilizada antes de sair do solo, um efeito ricochete pode ocorrer enquanto o ponto pivô move-se rapidamente do esqui de volta para o CG da aeronave. Devido à inércia, essa mudança pode aumentar em cinco vezes o momento de controle, tornando a aeronave completamente instável. O resultado pode ser catastrófico, como no caso em questão.

Por ocasião da análise dos destroços após o acidente, foi identificado que o coletivo estava aplicado em sua plenitude, indicando que durante o início do rolamento, o piloto aplicou elevada potência na tentativa de decolar (Figura 4).



Figura 4 - Posição do coletivo do PT-HUD.

O Chapter 7, R22 Maneuver Guide, do *Flight Training Guide* da Robinson Helicopter descrevia os requisitos e as técnicas recomendadas para a operação em terreno inclinado (*Slope Operations*) (Figura 5):

ROBINSON FLIGHT TRAINING GUIDE	
SLOPE OPERATIONS	
PURPOSE:	To land from a hover and takeoff to a hover from a sloping surface.
DESCRIPTION:	Prior to conducting slope operations, the pilot must be thoroughly familiar with dynamic rollover characteristics and mast bumping. For training, use a maximum slope angle of 5°.
Slope Landings:	Position the helicopter cross slope at a stabilized 5-foot hover headed into the wind. Lower the collective slightly to establish a slow rate of sink. When upslope skid contacts the ground, begin applying lateral cyclic in the direction of the slope (upslope) to hold the skid against the slope. Maintain heading with pedals. Continue to apply cyclic into slope as the collective is lowered until the down slope skid is firmly on the ground. Once the collective is full down, center the cyclic to allow safe "head clearance" on the upslope side.
Slope Takeoffs:	The procedure for a slope takeoff is almost the exact reverse of that for a slope landing. Apply cyclic into the slope (upslope) and slowly begin to increase the collective. As the helicopter becomes light on the skids, pause and neutralize any aircraft movement. Continue to increase the collective maintaining heading with pedals. When the down slope skid breaks ground, slowly begin to center the cyclic. As a level attitude is reached, the cyclic should be approximately neutral. Continue to increase collective, maintaining position over the ground with cyclic and heading with pedals until a stabilized 5-foot hover is attained.

Figura 5 - Slope Operations - Flight Training Guide R22.

O Guia destacava que os pilotos, para realizarem essa operação, deveriam estar previamente familiarizados com as características do *rollover* (rolamento dinâmico) e *mast bumping* (batida da canga no mastro). Com relação ao treinamento, a publicação estabelecia uma inclinação máxima de 5°.

Para o pouso, deve-se tocar, primeiramente, o esqui esquerdo e, após, ir suavemente baixando o coletivo, levando o cíclico no sentido contrário ao declive (cíclico à esquerda), de forma que o disco se mantenha paralelo ao horizonte até o toque do esqui direito. Depois do toque, deve-se retornar o cíclico novamente à posição neutra, para que o disco rotor termine paralelo à inclinação do terreno escolhido.

Para a decolagem, deve-se, inicialmente, aplicar potência de maneira controlada e utilizar o cíclico à esquerda de forma que o disco rotor fique paralelo ao horizonte e a aeronave realize sua decolagem na vertical. Caso o rotor principal não esteja paralelo ao horizonte, a aeronave terá a tendência de decolar com deslocamentos laterais, o que poderá ser bastante perigoso a depender da área escolhida.

Assim, verificou-se que, durante a demonstração do exercício de pouso e decolagem em terreno com 9° de inclinação, superior à inclinação prevista no *Flight Training Guide* da *Robinson Helicopter*, permitiu-se que o helicóptero saísse lateralmente do solo e com um dos esquis em contato com o terreno. Sem a adequada correção, por meio da redução do passo coletivo, isso aumentou o momento angular e a rotação em torno do ponto pivô, ocasionando a colisão das pás do rotor principal contra o solo.

3. CONCLUSÕES

3.1. Fatos

- a) os pilotos estavam com os seus Certificados Médicos Aeronáuticos (CMA) válidos;
- b) o IN estava com as habilitações de Helicóptero Monomotor Convencional (HMNC) e Instrutor de Voo - Helicóptero (INVH) válidas;
- c) o AL estava em formação para obtenção da licença de Piloto Privado - Helicóptero (PPH);
- d) o IN estava qualificado e possuía experiência no tipo de voo;
- e) a aeronave estava com o Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA) válido;
- f) a aeronave estava dentro dos limites de peso e balanceamento;
- g) as condições meteorológicas eram propícias à realização do voo;
- h) a escrituração da caderneta de motor estava desatualizada;
- i) o IN decidiu demonstrar o exercício de pouso e decolagem em terreno inclinado em uma área gramada com 9° de inclinação;
- j) o R22 *Maneuver Guide* estabelecia uma inclinação máxima de 5° para execução do treinamento de terreno inclinado;
- k) não foi realizado *briefing* para o exercício demonstrado;
- l) a aeronave teve um rolamento dinâmico e colidiu contra o solo;
- m) a aeronave teve danos substanciais; e
- n) o IN e o AL sofreram lesões leves.

3.2 Fatores Contribuintes

- Aplicação dos comandos - contribuiu;
- Atitude - contribuiu;
- Capacitação e Treinamento - indeterminado;
- Julgamento de pilotagem - contribuiu;
- Processo Decisório - contribuiu; e
- Planejamento de voo - contribuiu.

4. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

À Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), recomenda-se:

A-061/CENIPA/2021 - 01

Emitida em: 17/04/2023

Divulgar os ensinamentos colhidos na presente investigação aos Centros de Instrução de Aviação Civil (CIAC) que ministram cursos de helicóptero, a fim de que essas organizações possam incluir em seus materiais de instrução/promoção da segurança operacional os conhecimentos relacionados ao risco de rolamento dinâmico associados à execução de pousos e decolagens em terreno inclinado.

5. AÇÕES CORRETIVAS OU PREVENTIVAS ADOTADAS

Nada a relatar.

Em, 17 de abril de 2023.