

COMANDO DA AERONÁUTICA
CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE
ACIDENTES AERONÁUTICOS



RELATÓRIO FINAL
A-133/CENIPA/2022

OCORRÊNCIA:	ACIDENTE
AERONAVE:	PP-OBL
MODELO:	AT-502A
DATA:	18NOV2022

Este relatório substitui o RF A-133/CENIPA/2022, de 30 de julho de 2024, anteriormente publicado no site do CENIPA.



ADVERTÊNCIA

Em consonância com a Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986, Artigo 86, compete ao Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER): planejar, orientar, coordenar, controlar e executar as atividades de investigação e de prevenção de acidentes aeronáuticos.

A elaboração deste Relatório Final, lastreada na Convenção sobre Aviação Civil Internacional, foi conduzida com base em fatores contribuintes e hipóteses levantadas, sendo um documento técnico que reflete o resultado obtido pelo SIPAER em relação às circunstâncias que contribuíram ou que podem ter contribuído para desencadear esta ocorrência.

Não é foco da Investigação SIPAER quantificar o grau de contribuição dos fatores contribuintes, incluindo as variáveis que condicionam o desempenho humano, sejam elas individuais, psicossociais ou organizacionais, e que possam ter interagido, propiciando o cenário favorável ao acidente.

O objetivo único deste trabalho é recomendar o estudo e o estabelecimento de providências de caráter preventivo, cuja decisão quanto à pertinência e ao seu acatamento será de responsabilidade exclusiva do Presidente, Diretor, Chefe ou correspondente ao nível mais alto na hierarquia da organização para a qual são dirigidos.

Este Relatório Final foi disponibilizado à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (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).

Este relatório não recorre a quaisquer procedimentos de prova para apuração de responsabilidade no âmbito administrativo, civil ou criminal; estando em conformidade com o Appendix 2 do Anexo 13 "Protection of Accident and Incident Investigation Records" da Convenção de Chicago de 1944, recepcionada pelo ordenamento jurídico brasileiro por meio do Decreto nº 21.713, de 27 de agosto de 1946.

Outrossim, deve-se salientar a importância de se resguardarem as pessoas responsáveis pelo fornecimento de informações relativas à ocorrência de um acidente aeronáutico, tendo em vista que toda colaboração decorre da voluntariedade e é baseada no princípio da confiança. Por essa razão, a utilização deste Relatório para fins punitivos, em relação aos seus colaboradores, além de macular o princípio da "não autoincriminação" deduzido do "direito ao silêncio", albergado pela Constituição Federal, pode desencadear o esvaziamento das contribuições voluntárias, fonte de informação imprescindível para o SIPAER.

Conseqüentemente, o seu uso para qualquer outro propósito, que não o de prevenção de futuros acidentes aeronáuticos, poderá induzir a interpretações e a conclusões errôneas.

SINOPSE

O presente Relatório Final refere-se ao acidente com a aeronave PP-OBL, modelo AT-502A, ocorrido em 18NOV2022, tipificado como “[LOC-I] Perda de controle em voo e [LALT] Operação a baixa altitude”.

Durante operação aeroagrícola, ao ser realizada uma manobra de reposicionamento para nova aplicação, a aeronave perdeu o controle vindo a colidir contra o terreno.

Constatou-se, por meio dos dados do voo, que nas cinco últimas curvas de reversão registradas no setor nordeste do circuito de pulverização, estavam sendo realizadas subidas em atitudes mais íngremes que as empregadas em outras fases equivalentes da operação.

A aeronave teve danos substanciais.

O piloto sofreu lesões fatais.

Houve a designação de Representante Acreditado do *Transportation Safety Board* (TSB) - Canadá, Estado de fabricação do motor.

Houve a designação de Representante Acreditado do *National Transportation Safety Board* (NTSB) - Estados Unidos da América, Estado de fabricação da aeronave.

ÍNDICE

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS E ABREVIATURAS	5
1. INFORMAÇÕES FACTUAIS.....	6
1.1. Histórico do voo.....	6
1.2. Lesões às pessoas.....	6
1.3. Danos à aeronave.	6
1.4. Outros danos.....	6
1.5. Informações acerca do pessoal envolvido.....	6
1.5.1. Experiência de voo dos tripulantes.....	6
1.5.2. Formação.....	7
1.5.3. Categorias das licenças e validade dos certificados e habilitações.....	7
1.5.4. Qualificação e experiência no tipo de voo.....	7
1.5.5. Validade da inspeção de saúde.....	7
1.6. Informações acerca da aeronave.....	7
1.7. Informações meteorológicas.....	7
1.8. Auxílios à navegação.....	8
1.9. Comunicações.....	8
1.10. Informações acerca do aeródromo.....	8
1.11. Gravadores de voo.....	8
1.12. Informações acerca do impacto e dos destroços.....	8
1.13. Informações médicas, ergonômicas e psicológicas.....	11
1.13.1. Aspectos médicos.....	11
1.13.2. Informações ergonômicas.....	11
1.13.3. Aspectos Psicológicos.....	11
1.14. Informações acerca de fogo.....	11
1.15. Informações acerca de sobrevivência e/ou de abandono da aeronave.....	11
1.16. Exames, testes e pesquisas.....	11
1.17. Informações organizacionais e de gerenciamento.....	17
1.18. Informações operacionais.....	17
1.19. Informações adicionais.....	18
1.20. Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação.....	19
2. ANÁLISE.....	19
3. CONCLUSÕES.....	20
3.1. Fatos.....	20
3.2. Fatores contribuintes.....	21
4. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA	22
5. AÇÕES CORRETIVAS OU PREVENTIVAS ADOTADAS.....	22

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS E ABREVIATURAS

AFM	<i>Airplane Flight Manual</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AG-NAV	Fabricante de equipamentos de navegação aeroagrícola
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CIV	Caderneta Individual de Voo
CVA	Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade
GPS	<i>Global Positioning System</i> - sistema de posicionamento global
LABDATA	Laboratório de Análise de Dados de Gravadores de Voo
METAR	<i>Meteorological Aerodrome Report</i> - reporte meteorológico de aeródromo
MNTE	Habilitação de Classe Avião Monomotor Terrestre
PAGA	Habilitação de Piloto Agrícola - Avião
PCM	Licença de Piloto Comercial - Avião
PIC	<i>Pilot in Command</i> - piloto em comando
QAV	Querosene de Aviação
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
SBSO	Designativo de localidade - Aeródromo Regional de Sorriso Adolino Bedin, Sorriso, MT
SERIPA	Serviço Regional de Prevenção e Investigação de Acidentes Aeronáuticos
SIGWX	<i>Significant Weather Chart</i> - carta de tempo significativo
SIPAER	Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
SN	<i>Serial Number</i> - número de série
TCU	<i>Towering Cumulus</i> - cumulus encastelados
TPP	Categoria de Registro de Serviços Aéreos Privados
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i> - tempo universal coordenado

1. INFORMAÇÕES FACTUAIS.

Aeronave	Modelo: AT-502A Matrícula: PP-OBL Fabricante: AIR TRACTOR	Operador: Particular
Ocorrência	Data/hora: 18NOV2022 - 18:00 (UTC) Local: Fazenda Araçatuba Lat. 12°19'11"S Long. 055°30'15"W Município - UF: Vera - MT	Tipo(s): [LOC-I] Perda de controle em voo [LALT] Operação a baixa altitude

1.1. Histórico do voo.

A aeronave decolou da área de pouso para uso aeroagrícola da Fazenda Araçatuba, Vera, MT, por volta das 17h55min (UTC), a fim de realizar operação aeroagrícola, com um tripulante a bordo.

Com cerca de cinco minutos de voo, durante manobra de reposicionamento para nova aplicação de defensivos, a aeronave perdeu o controle vindo a colidir contra o terreno.

A aeronave teve danos substanciais.

O piloto sofreu lesões fatais.

1.2. Lesões às pessoas.

Lesões	Tripulantes	Passageiros	Terceiros
Fatais	1	-	-
Graves	-	-	-
Leves	-	-	-
llesos	-	-	-

1.3. Danos à aeronave.

A aeronave teve danos substanciais.

A seção dianteira da fuselagem e o conjunto motopropulsor foram severamente avariados. Houve enrugamento dos bordos de ataque das asas e amassamento significativo na parte superior da cabine de pilotagem.

1.4. Outros danos.

Não houve.

1.5. Informações acerca do pessoal envolvido.

1.5.1. Experiência de voo dos tripulantes.

Horas Voadas	
Discriminação	PIC
Totais	3.502:45
Totais, nos últimos 30 dias	61:00
Totais, nas últimas 24 horas	05:40
Neste tipo de aeronave	100:36
Neste tipo, nos últimos 30 dias	61:00
Neste tipo, nas últimas 24 horas	05:40

Obs.: os dados relativos às horas voadas foram obtidos por meio dos registros da Caderneta Individual de Voo (CIV) Digital do Piloto em Comando (PIC) e de registros do Diário de Bordo da Aeronave.

Os dados da CIV foram atualizados até o dia 26JUN2022.

Os dados do Diário de Bordo foram atualizados até o voo anterior ao acidente.

1.5.2. Formação.

O PIC realizou o curso de Piloto Privado - Avião (PPR) em 2011.

Não foi possível determinar, por meio dos registros de voo do piloto, a instituição onde foi realizada a sua formação.

1.5.3. Categorias das licenças e validade dos certificados e habilitações.

O PIC possuía a licença de Piloto Comercial - Avião (PCM) e estava com as habilitações de Avião Monomotor Terrestre (MNTE) e Piloto Agrícola - Avião (PAGA) em vigor.

1.5.4. Qualificação e experiência no tipo de voo.

Os registros do Diário de Bordo da Aeronave indicaram que o PIC operava a aeronave AT-502A, de matrícula PP-OBL, desde agosto de 2022, tendo acumulado 100 horas e 36 minutos de voo nessa aeronave.

A maior parte do histórico operacional do piloto se desenvolveu na operação aeroagrícola. Entre setembro de 2012 e a data do acidente, o piloto acumulou mais de 3.000 horas de voo em diversos modelos de aeronaves agrícolas.

O PIC estava qualificado e possuía experiência no tipo de voo.

1.5.5. Validade da inspeção de saúde.

O piloto estava com o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) em vigor.

1.6. Informações acerca da aeronave.

A aeronave, de número de série 502A-3223, foi fabricada pela *Air Tractor Inc.*, em 2019, e estava inscrita na Categoria de Registro de Serviços Aéreos Privados (TPP).

O Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA) estava válido até 08NOV2023.

As cadernetas de célula, motor e hélice estavam com as escriturações atualizadas.

A última inspeção da aeronave, do tipo "100 horas", foi realizada em 08NOV2022 pela organização de manutenção SMA - Sorriso Manutenção Aeronáutica, em Sorriso, MT.

Durante esse serviço, foram inspecionados a célula, o motor e a hélice da aeronave, contando todos esses itens com 1.421 horas e 48 minutos voados até aquela data.

Segundo os registros, a aeronave havia voado 28 horas e 54 minutos após a última inspeção.

Sistema de controle de flapes.

Os flapes eram operados eletricamente, podendo ser atuados para qualquer posição entre 0° e 26°.

Nas superfícies externas dos flapes existiam duas marcas visíveis da cabine indicando, respectivamente, 10° e 20° de atuação.

1.7. Informações meteorológicas.

Os *Meteorological Aerodrome Reports* (METAR - reporte meteorológico de aeródromo) de SBSO, distante 14 NM a sudoeste do local do acidente traziam as seguintes informações:

METAR SBSO 181700Z 33008KT 9999 SCT020 BKN080 27/25 Q1011

METAR SBSO 181800Z 31006KT 9999 SCT020 BKN080 27/24 Q1011

Verificou-se que as condições eram favoráveis ao voo visual com visibilidade acima de 10 km e poucas nuvens a 2.000 ft de altura. O vento tinha intensidade entre 06 e 08 kt.

A *Significant Weather Chart* (SIGWX - carta de tempo significativo) atualizada às 14h48min (UTC), com validade até às 06h00min (UTC) de 19NOV2022, mostrava a presença de poucas nuvens *Towering Cumulus* (TCU - *cumulus* encastelados) com a base no FL025 e topo no FL250.

Ainda, segundo observadores, as condições meteorológicas eram favoráveis à operação sob as regras de voo visuais.

1.8. Auxílios à navegação.

Nada a relatar.

1.9. Comunicações.

Nada a relatar.

1.10. Informações acerca do aeródromo.

A ocorrência se deu fora de aeródromo.

1.11. Gravadores de voo.

Não requeridos e não instalados.

Entretanto, a aeronave estava equipada com um “AG-NAV *Guia*” *Real-Time Navigation Guidance System*, Modelo P152, *Serial Number* (SN - número de série) 152180112, Rev. KG, fabricado pela AG-NAV Inc.

O equipamento, danificado pelo acidente, foi encaminhado ao Representante da AG-NAV no Brasil, onde foi realizado o *download* dos dados armazenados em sua memória.

O equipamento continha dados relativos ao voo da ocorrência e anteriores.

1.12. Informações acerca do impacto e dos destroços.

Os destroços foram localizados concentrados em uma área de vegetação cerrada, constituída de árvores de médio e grande porte. O relevo era predominantemente plano no local do impacto. A vegetação circundante estava relativamente preservada.

De acordo com as evidências físicas, a aeronave colidiu contra a copa das árvores e, posteriormente, contra o solo em um ângulo bastante acentuado (Figura 1).



Figura 1 - Vista lateral dos destroços e da vegetação.

A seção dianteira da fuselagem foi severamente avariada e o conjunto motopropulsor ficou enterrado no terreno.

Houve enrugamento dos bordos de ataque das asas e amassamento significativo na parte superior da cabine de pilotagem.

A seção traseira da aeronave ficou relativamente mais preservada, apresentando deformações advindas da desaceleração e do impacto contra a vegetação.

O eixo longitudinal da aeronave estava alinhado com a proa magnética 260° e a fuselagem sobre o solo em posição de dorso.



Figura 2 - Seção dianteira da aeronave enterrada no solo e posicionamento dos flapes.

A aeronave estava com os flapes estendidos próximos à posição de 10°, evidenciado pela visualização de um retângulo preto em seu extradorso, conforme demonstram as Figuras 2 e 3.



Figura 3 - Marcação indicativa de 10° de flapes (um retângulo preto).

A hélice impactou o tronco de uma árvore instantes antes da colisão contra o terreno. A ponta de uma das pás ficou presa ao tronco, tendo esta parte sido seccionada do restante do componente, conforme apresenta a Figura 4.



Figura 4 - Ponta da pá de uma das hélices presa a um tronco de árvore.

O painel de instrumentos foi severamente danificado, impossibilitando a leitura de eventuais indicações, entretanto foi possível recuperar os dados do Sistema de Navegação “AG-NAV Guia”.

Não houve evidências de qualquer falha ou mau funcionamento nos sistemas de controle de voo antes do impacto.

1.13. Informações médicas, ergonômicas e psicológicas.

1.13.1. Aspectos médicos.

O exame pericial concluiu que o piloto sofreu lesões condizentes com a natureza do acidente.

1.13.2. Informações ergonômicas.

Nada a relatar.

1.13.3. Aspectos Psicológicos.

Nada a relatar.

1.14. Informações acerca de fogo.

Não houve evidência de fogo em voo, ou após o impacto.

1.15. Informações acerca de sobrevivência e/ou de abandono da aeronave.

Nada a relatar.

1.16. Exames, testes e pesquisas.

Análise dos dados de voo.

Os dados obtidos do sistema de navegação da aeronave foram analisados pelo Laboratório de Análise de Dados de Gravadores de Voo (LABDATA) do CENIPA. Os seguintes parâmetros de interesse do voo do acidente e de alguns voos anteriores foram registrados: trajetória de voo, *groundspeed* (velocidade da aeronave em relação ao solo), altitude *Global Positioning System* (GPS - sistema de posicionamento global), proa verdadeira e horário.

Outro aspecto evidenciado durante a análise foi que os instantes anteriores ao impacto não foram gravados na memória do equipamento.



Figura 5 - Trajetória registrada do voo do acidente.

Constatou-se que os eixos de pulverização estavam orientados, de forma geral, nas proas magnéticas 056° e 236°, tendo sido realizadas duas curvas de reversão nos setores nordeste e sudoeste do circuito de aplicação, respectivamente.

O circuito foi realizado em sentido anti-horário, ou seja, as curvas eram executadas pela esquerda. A análise do voo anterior ao acidente demonstrou um padrão semelhante de voo.

Na Figura 6 foram representadas as trajetórias do voo anterior em azul claro, destacando-se os últimos 15 minutos na cor azul escura, e a trajetória do voo do acidente na cor vermelha.

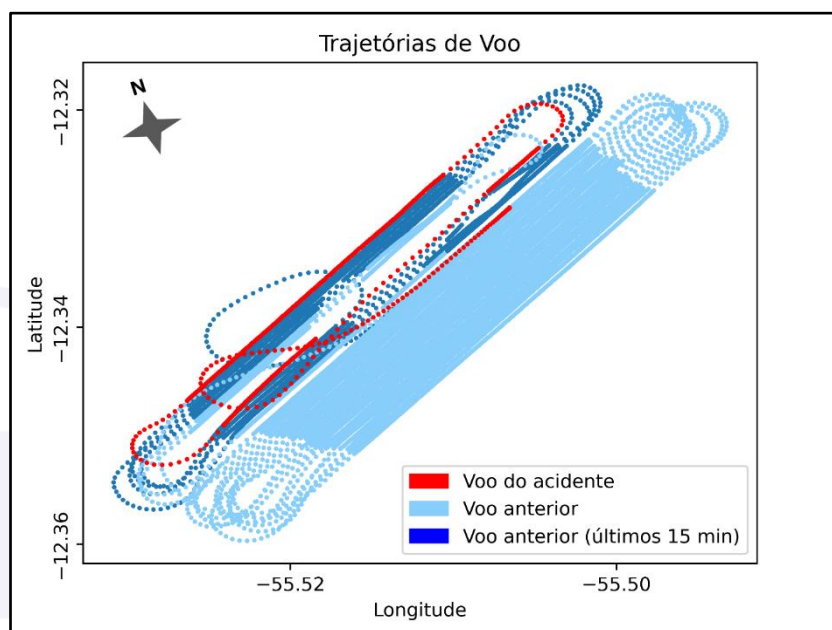


Figura 6 - Comparação de trajetórias de voo.

As linhas contínuas indicam a trajetória onde foi feita uma etapa da pulverização, popularmente conhecida como “tiro”. Já os pontos visivelmente espaçados indicam os locais onde o sistema de aplicação de insumos da aeronave estava desligado.

Dessa forma, ficou evidenciado que as áreas-alvo de aplicação nos dois voos eram contíguas. O sentido de giro e as proas de aplicação também eram semelhantes.

A fim de elucidar os fatores que teriam contribuído para essa perda de controle, foi construído, a partir dos dados recuperados do sistema de navegação da aeronave, um modelo simplificado para avaliar o padrão de voo realizado com a aeronave, correlacionando-o com dados de performance.

Por meio de um processo de derivação matemática dos dados, foi possível calcular outros parâmetros importantes à compreensão do evento, tais como a atitude da aeronave e as razões de subida/descida e de curva.

Ainda no que tange à investigação dos dados de voo, verificou-se que, a partir da razão de curva e da velocidade da aeronave, seria possível estimar a inclinação de asas do avião.

Muito embora este cálculo fosse uma estimativa para as condições de curva nivelada e sustentada (com manutenção de velocidade constante), para o perfil de voo experimentado pela aeronave no topo das curvas de reversão, essa aproximação foi considerada aceitável. Dessa forma, o estimador de inclinação de asas foi utilizado com o intuito de comparação com as velocidades nominais de estol constantes no manual de voo.

Com base na distância entre a última coordenada registrada no GPS e o local da queda (2.826 metros), estimou-se que os 50 segundos finais de voo foram perdidos, devido à inexistência dos dados imediatamente anteriores ao impacto.

Foi construído um perfil vertical do voo da ocorrência, a fim de representar graficamente os dados obtidos (Figura 7).

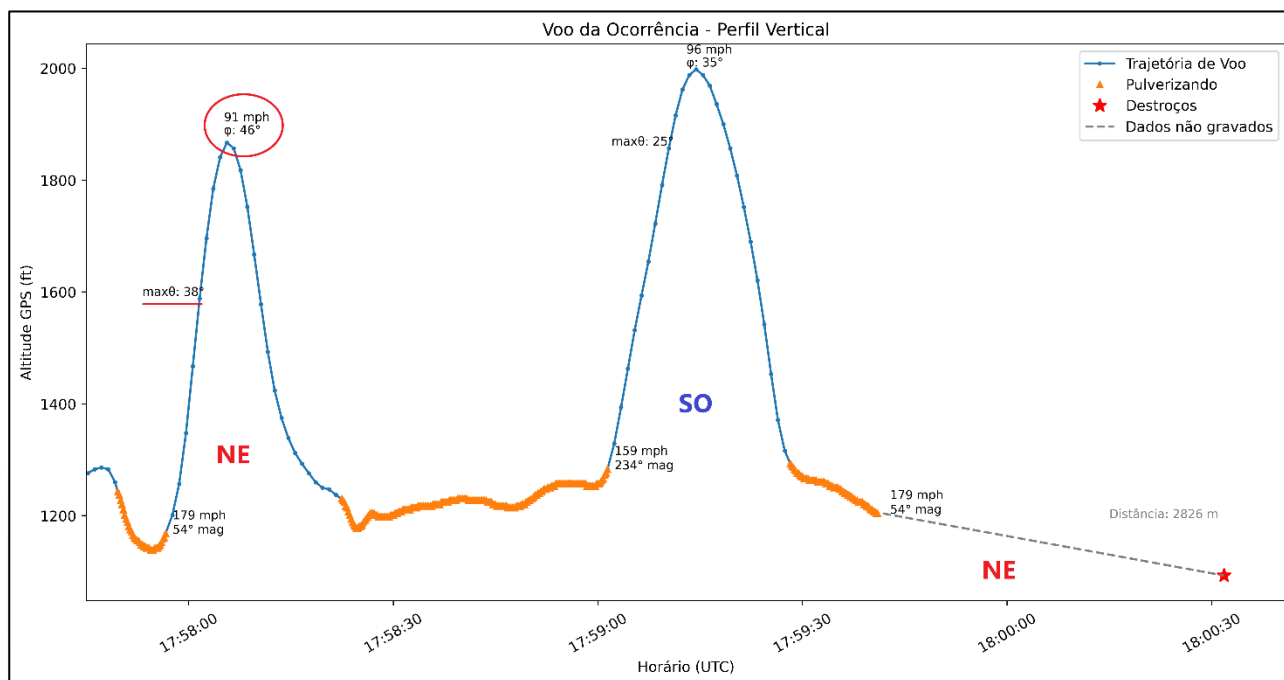


Figura 7 - Perfil vertical do voo do acidente.

Na figura, foram representadas, no início e no topo das curvas de reversão, as velocidades em milhas/hora (mph), as proas magnéticas e a inclinação das asas da aeronave (ϕ). Foram também representadas as atitudes máximas de subida atingidas em cada uma destas manobras ($\max\theta$).

Chamou a atenção o fato de que a atitude empregada durante a subida na curva de reversão do setor nordeste (NE) atingiu 38° , considerada elevada para o tipo de aeronave e significativamente superior aos 25° utilizados no setor oposto (SO).

Foi observado também que a velocidade inicial da primeira curva de reversão foi 20 mph superior à segunda, entretanto, a velocidade atingida no topo foi 7 mph inferior. Dessa maneira, considerou-se que o emprego de atitude bastante cabrada tenha contribuído para o decréscimo de velocidade observado.

Ainda sobre a performance de voo no topo da curva nordeste, foi observado que a velocidade registrada era de 91 mph e que a inclinação de asas estimada foi de 46° .

Uma vez que as áreas de aplicação do final do voo anterior eram contíguas às do voo do acidente, passou-se a observar o segmento final daquele voo a fim de verificar se houve um comportamento de pilotagem semelhante.

A análise do voo anterior mostrou que nas quatro últimas curvas de reversão do setor nordeste (NE) foram empregadas atitudes de subida também superiores a 30° e que as velocidades no topo destas manobras eram significativamente inferiores às do setor sudoeste do circuito (Figura 8).

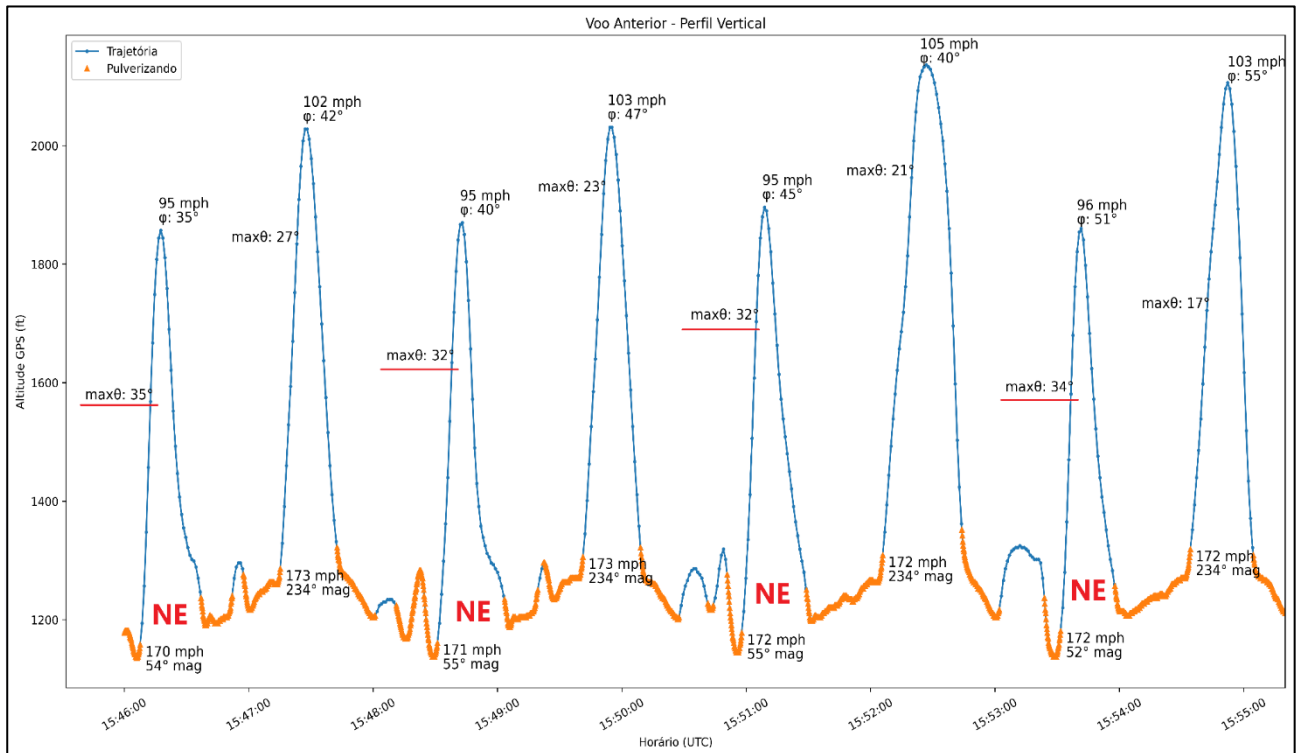


Figura 8 - Perfil vertical do voo anterior ao do acidente.

Observando a projeção da trajetória de voo no terreno (perfil horizontal), percebeu-se que os cinco últimos “tiros” na direção sudoeste foram iniciados cerca de 1.400 metros à frente do través de onde estes haviam se encerrado no sentido oposto. Isso se devia ao fato de essa faixa do terreno constituir-se de uma região de mata fechada, conseqüentemente, não havendo necessidade de pulverização (Figura 9).

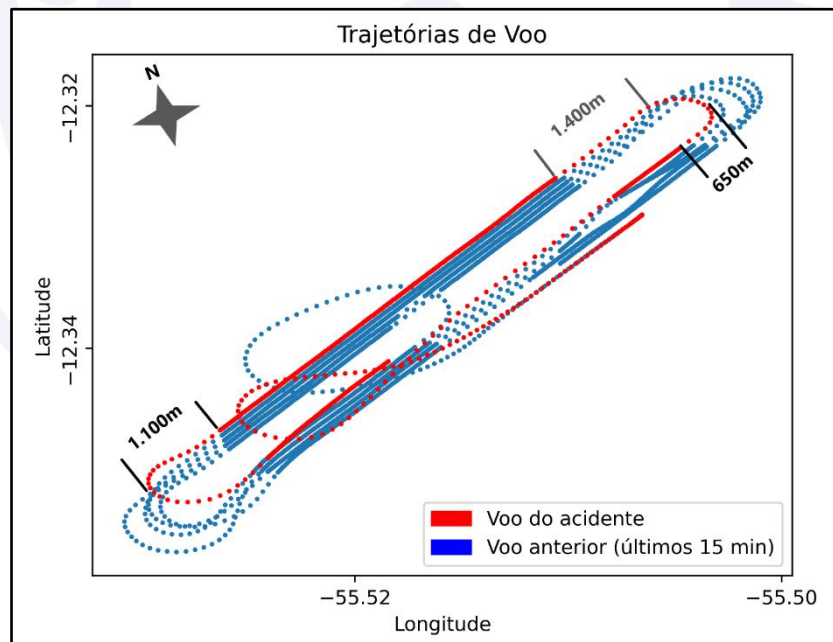


Figura 9 - Perfil horizontal da trajetória dos voos.

Ficou evidenciado também que, na região do acidente, as curvas a nordeste afastavam-se menos longitudinalmente de onde eram iniciadas. No voo da ocorrência, por exemplo, as distâncias foram: NE - 650 m / SO - 1.100 m.

Análise do Grupo Motopropulsor

O Grupo Motopropulsor foi levado para uma organização de manutenção homologada, onde foi avaliada por membros da Comissão de Investigação.

A hélice Hartzell HC-B4TN-3C, SN CDA535, foi inspecionada visualmente com a finalidade de identificar as avarias ao componente.

A caderneta da hélice não possuía registros de reparos ou intervenções que pudessem ter afetado o seu desempenho.

As quatro pás da hélice apresentavam dobras em suas pontas, marcas e arranhões em sentido perpendicular ao seu eixo longitudinal. Duas das pás tiveram fraturas próximo às suas pontas, tendo parte do material sido seccionado (Figura 10).



Figura 10 - (a) hélice, aspecto geral e marcas perpendiculares (b) ponta de pá seccionada pelo impacto contra árvore (c) ponta de pá dobrada.

Via de regra, quando a rotação e o ângulo das pás da hélice são compatíveis com valores suficientes para produzir reações aerodinâmicas capazes de manter a aeronave voando, haverá uma força resultante que tende a dobrar as pás para frente, no sentido contrário à sua força de tração.

O nível de deformação evidenciado na pá, cuja ponta foi encontrada no tronco de árvore, condiz com a existência de rotação na hélice. Sua fratura, do tipo frágil devido ao impacto, é característica de imposição de elevado esforço em um curto intervalo de tempo, possivelmente, em razão da conversão do torque existente no eixo da hélice no momento da colisão. Essas observações corroboraram a hipótese de existência de potência no eixo do conjunto de hélice no instante do impacto.

O motor *Pratt & Whitney*, modelo PT6A-140AG, SN PCE-VB0075, que equipava o PP-OBL, foi analisado com a finalidade de se identificar evidências sobre o seu funcionamento.

As análises do motor evidenciaram danos severos de flambagem no case do motor, em especial no *Exhaust Duct*. Esse tipo de falha ocorre em elementos estruturais de parede fina devido à aplicação de esforço de compressão, decorrentes, possivelmente, do impacto com um elevado ângulo (Figura 11).



Figura 11 - Danos por flambagem.

Os demais exames do motor não foram conclusivos do ponto de vista de desenvolvimento de potência devido ao elevado nível de destruição pós-impacto.

Observando as evidências encontradas na análise do grupo motopropulsor, considerou-se ser provável que a aeronave desenvolvesse potência até a colisão com obstáculos, muito embora não tenha sido possível quantificar a potência do motor ou a rotação da hélice.

1.17. Informações organizacionais e de gerenciamento.

A aeronave agrícola, de propriedade particular, vinha sendo operada pelo mesmo piloto desde agosto daquele ano.

1.18. Informações operacionais.

Tratava-se de um voo para operação aeroagrícola na Fazenda Araçatuba, segundo os requisitos do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº 137.

Segundo registros obtidos no Diário de Bordo da aeronave, a primeira decolagem do dia ocorreu às 09h20min (UTC) a fim de transladar a aeronave da Fazenda Paranatinga para a Fazenda Araçatuba, onde pousou às 09h38min (UTC).

Logo após isto, às 10h00min (UTC) foi realizado um voo para aplicação de insumos com duração de 3 horas.

Às 14h57min (UTC), foi iniciado mais um voo de aplicação, interrompido após o transcurso de uma hora, segundo observadores, devido à ocorrência de chuva.

Às 17h55min (UTC), foi realizada a última decolagem, tendo a aeronave se acidentado cerca de cinco minutos após.

O peso básico operacional, descrito na ficha de peso e balanceamento da aeronave, era de 2.230 kg.

Segundo o relato de observadores, a aeronave teria sido abastecida com cerca de 600 litros (QAV-1) para início do voo anterior, não tendo ocorrido reabastecimento entre os

voos. Estimou-se que, no momento da queda, a aeronave estivesse com 350 litros (QAV-1), uma massa aproximada de 280 kg de combustível.

Ainda segundo observadores, a aeronave estaria abastecida com cerca 400 litros de fungicida no momento do acidente, massa aproximada de 440 kg.

Considerando que o piloto equipado pesasse, aproximadamente, 90 kg, estimou-se que a aeronave tivesse massa aproximada de 3.040 kg, no momento da ocorrência.

A aeronave estava dentro dos limites de peso e balanceamento.

O *Airplane Flight Manual* (AFM - manual de voo de aeronave), *Air Tractor Document* 01-0163, seção 5, pág. 5-8, apresentava as seguintes velocidades de estol (Figura 12):

5.8 STALL SPEEDS					
Indicated stall speeds at 3166 Kg (6,980 lbs) gross weight, power idle are as follows:					
Angle of Bank (Degrees)	0	15	30	45	60
Stall Speed (KNOTS) Flaps Up	67	70	72	80	94
Stall Speed (KNOTS) Flaps Down	57	59	60	67	80
Stall Speed (MPH) Flaps Up	77	80	82	92	109
Stall Speed (MPH) Flaps Down	65	68	70	77	92

Figura 12 - Velocidades de estol.

Os valores aplicados nessa tabela se referiam à aeronave com peso de 3.166 kg, valor mais próximo disponível em relação ao estimado na ocorrência, potência reduzida (*idle*), para diversos valores de inclinação (*angle of bank*) nas configurações de flapes recolhidos e totalmente distendidos (*up* e *down*).

Apesar de não haver um gráfico de velocidade de estol nas condições relacionadas à ocorrência (flapes 10°, peso de 3.040 kg e ângulo de inclinação de 46°) estimou-se que a velocidade de estol para a configuração da aeronave no momento do acidente era de, aproximadamente, 87 mph.

1.19. Informações adicionais.

Parafusos:

A Seção 3 do AFM, *Emergency Procedures*, 3.2.17 *Spins* informava que as características do parafuso nesse modelo de aeronave não haviam sido completamente investigadas, bem como as técnicas de recuperação não haviam sido estabelecidas. Entretanto, na eventualidade de entrada inadvertida em parafuso, sugeria a adoção dos seguintes procedimentos conforme Figura 13.

3.2.17 Spins:	
The spinning characteristics of this aircraft have not been fully investigated and spin recovery techniques have not been established. In the event of an inadvertent spin, the following procedure is suggested:	
POWER LEVER.....	IDLE
AILERONS.....	NEUTRAL
RUDDER.....	FULL, OPPOSITE DIRECTION OF SPIN
ELEVATOR.....	FULL FORWARD
After Spin Stops:	
RUDDER.....	NEUTRAL
ELEVATOR.....	RECOVER FROM DIVE

Figura 13 - Procedimento sugerido para a recuperação de parafuso.

O voo em curva em velocidades próximas ao estol pode favorecer a entrada inadvertida em parafuso, situação em que a aeronave, ao perder sustentação

assimetricamente, gira em torno de seu eixo longitudinal em trajetória acentuadamente descendente.

As ações para a recuperação de parafuso sugeridas no AFM incluíam a redução do motor para potência mínima (*idle*) e aplicação de leme direcional no sentido oposto ao giro da aeronave.

A Figura 14a representa a entrada na condição de parafuso durante a realização de uma curva à esquerda. A Figura 14b representa a trajetória final estimada do voo do acidente.

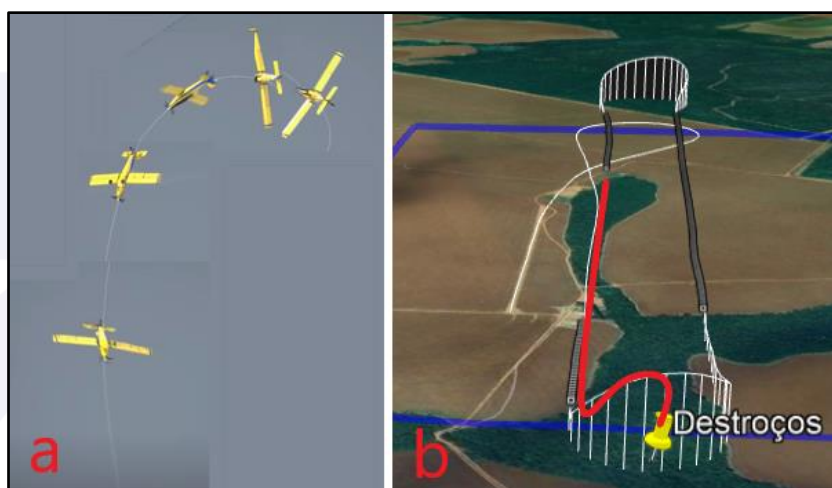


Figura 14 - Imagem (a) parafuso e imagem (b) trajetória final estimada do voo (linha vermelha).

1.20. Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação.

Foram empregados cálculos de atitude e estimadores de inclinação com dados do Sistema de Navegação “AG-NAV Guia”.

2. ANÁLISE.

A aeronave *Air Tractor 502A* estava registrada na categoria TPP.

De acordo com os registros de manutenção, as cadernetas de célula, motor e hélice estavam com as escriturações atualizadas. A última inspeção da aeronave, do tipo “100 horas”, foi concluída no dia 08NOV2022, estando com 28 horas e 54 minutos voados. O Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA) estava válido até 08NOV2023. No diário de bordo não foram identificadas quaisquer discrepâncias que tivessem resultado em mau funcionamento de algum sistema.

Os destroços estavam dispostos de maneira concentrada. O eixo longitudinal da aeronave estava alinhado com a proa magnética 260° e a fuselagem sobre o solo em posição de dorso. O grupo motopropulsor estava enterrado no solo e toda a seção frontal da aeronave estava destruída. A vegetação circundante estava relativamente preservada. As asas apresentavam deformação plástica (“enrugamento”) característica de rápida desaceleração. Todos esses elementos em conjunto indicaram que o impacto, provavelmente, ocorreu com ângulo e velocidade elevados.

As evidências físicas encontradas no local do acidente, marcas lineares na casca de uma árvore justapostas a uma ponta de pá hélice cravada em seu tronco, denotavam que a aeronave desenvolvia potência no momento do impacto.

A análise do grupo motopropulsor reforçou essa hipótese, evidenciada pelos danos rotacionais sofridos pelo motor e hélice durante o impacto contra as árvores e o terreno em

grande ângulo. Entretanto, não foi possível determinar a potência ou rotação desenvolvida por esses componentes.

A observação dos destroços revelou que a aeronave estava configurada com 10° de flapes, denotado pela marcação aparente nos extradorsos dessas superfícies.

A partir das análises realizadas, estimou-se que a velocidade no topo da curva de reversão nordeste realizada no circuito de pulverização anterior ao acidente seria de 91 mph. Essa condição daria pouca margem em relação à velocidade de estol estimada na configuração da aeronave durante a ocorrência.

Com relação à projeção da trajetória de voo horizontal no terreno, percebeu-se que os cinco últimos “tiros” na direção sudoeste foram iniciados cerca de 1.400 metros à frente do través de onde estes haviam se encerrado no sentido oposto. Isso se devia ao fato de que essa faixa do terreno se constituía de uma região de mata fechada sem a necessidade de pulverização.

Evidenciou-se também que as curvas a nordeste se afastavam menos longitudinalmente de onde eram iniciadas. Verificou-se que no voo da ocorrência, as distâncias à NE foram de 650 m e à SO de 1.100 m. Possivelmente, essa condição foi uma consequência direta da utilização de atitudes mais cabradas naquele setor.

Analisando esses fatores, supôs-se que, na intenção de aumentar a eficiência da operação, tenha sido optado pela adoção de ângulos de subida mais elevados a fim de diminuir o tempo dispendido nas curvas, uma vez que os “tiros” no sentido oposto seriam iniciados em posição mais à frente que a usual.

Entretanto, com a realização desse tipo de técnica de pilotagem, as velocidades no ápice das curvas de reversão tornavam-se cada vez menores e, conseqüentemente, deixavam a aeronave mais suscetível a perda de sustentação.

Com as margens de controlabilidade da aeronave reduzidas, fatores como descoordenação da aeronave ou ocorrência de rajadas de vento poderiam afetar a sustentação do avião, propiciando que as asas atingissem repentinamente o ângulo de ataque crítico, conseqüentemente, causando o estol.

O voo em curva em velocidades próximas ao estol pode favorecer a entrada inadvertida em parafuso. Não foi possível determinar se o piloto teria percebido a entrada inadvertida em parafuso ou empregado as ações sugeridas para a recuperação da aeronave.

A hipótese de desenvolvimento de parafuso foi ainda suportada pelo ângulo de impacto do nariz da aeronave contra o solo e pela proa que a aeronave foi encontrada (260°). A fuselagem teria assumido a posição de dorso, em virtude da inércia do impacto em atitude superior a 90° picados.

Em resumo, os elementos obtidos na investigação fortalecem a hipótese de que a utilização de atitudes mais cabradas com maiores ângulos de inclinação no setor nordeste, no intuito de aumentar a eficiência da operação, teria resultado na redução das margens de controlabilidade durante as curvas de reversão. Essas condições podem ter contribuído para a perda de sustentação próximo ao topo da curva e a entrada inadvertida em parafuso, não tendo sido recuperado o controle da aeronave em tempo suficiente para evitar a colisão contra o solo.

3. CONCLUSÕES.

3.1. Fatos.

- a) o piloto estava com o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) em vigor;

- b) o piloto possuía a licença de Piloto Comercial - Avião (PCM) e estava com as habilitações de Avião Monomotor Terrestre (MNTE) e Piloto Agrícola - Avião (PAGA) em vigor;
- c) o piloto estava qualificado e possuía experiência no tipo de voo;
- d) a aeronave estava com o Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA) válido;
- e) a aeronave estava dentro dos limites de peso e balanceamento;
- f) as escriturações das cadernetas de célula, motor e hélice estavam atualizadas;
- g) as condições meteorológicas estavam acima das mínimas para a realização do voo;
- h) a primeira decolagem ocorreu às 09h20min (UTC), a fim de transladar a aeronave da Fazenda Paranatinga para a Fazenda Araçatuba;
- i) o piloto realizava o quarto voo do dia, totalizando 04 horas e 20 minutos;
- j) a aeronave estava equipada com um "AG-NAV Guia" *Real-Time Navigation Guidance System*, Modelo P152, SN 152180112, Rev. KG, fabricado pela AG-NAV Inc.;
- k) o equipamento continha dados relativos ao voo da ocorrência e anteriores;
- l) os eixos de pulverização, estavam orientados, de forma geral, nas proas magnéticas 056° e 236°, sendo o circuito de pulverização realizado com curvas à esquerda;
- m) nas cinco últimas curvas de reversão do setor nordeste foram empregadas atitudes de subida superiores a 30°;
- n) os cinco últimos "tiros" na direção sudoeste foram iniciados cerca de 1.400 m à frente do través de onde estes haviam se encerrado no sentido oposto;
- o) no setor do acidente, as curvas de reversão a nordeste afastavam-se menos longitudinalmente de onde eram iniciadas se comparadas às curvas de reversão do setor sudoeste;
- p) os destroços estavam dispostos de maneira concentrada e o grupo motopropulsor estava enterrado no solo e toda a seção frontal da aeronave estava destruída;
- q) a aeronave estava com os flapes estendidos na posição de 10°;
- r) o eixo longitudinal da aeronave estava alinhado com a proa magnética 260° e a fuselagem sobre o solo em posição de dorso;
- s) não houve evidências de falha ou mau funcionamento nos sistemas de controle de voo antes do impacto;
- t) a aeronave teve danos substanciais; e
- u) o piloto sofreu lesões fatais.

3.2. Fatores contribuintes.

- **Aplicação dos comandos - indeterminado.**

Foram empregadas atitudes cabradas superiores a 30° durante a parte ascendente das últimas curvas de reversão registradas no "AG-NAV Guia" pelo setor nordeste do circuito de pulverização. Essa característica pode ter contribuído para que fossem atingidas

velocidades próximas ao estol no momento da ocorrência, que reduziriam a margem de controle da aeronave, favorecendo uma entrada inadvertida em parafuso.

- **Julgamento de pilotagem - indeterminado.**

O emprego sequencial de velocidades próximas às condições de estol no topo das curvas de reversão do setor nordeste expunha a aeronave aos riscos decorrentes da perda de controle em voo. Essa inadequada avaliação dos parâmetros relacionados à operação da aeronave pode ter contribuído para o acidente.

- **Motivação - indeterminado.**

Considerou-se possível que, na intenção de aumentar a eficiência da operação, tenha sido optado por adotar ângulos de subida mais acentuados para diminuir o tempo dispendido nas curvas do setor nordeste. Essa motivação elevada pode ter propiciado um desempenho operacional inadequado.

- **Percepção - indeterminado.**

Não foi possível determinar se o piloto teria percebido a entrada inadvertida em parafuso ou empregado as ações para a recuperação da aeronave.

- **Processo decisório - indeterminado.**

É possível que a decisão de empregar atitudes cabradas superiores a 30° no setor nordeste do circuito de pulverização tenha contribuído para que fossem diminuídas as margens de controlabilidade da aeronave.

4. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

Não há.

5. AÇÕES CORRETIVAS OU PREVENTIVAS ADOTADAS.

Nada a relatar.

Em 9 de dezembro de 2024.