

COMANDO DA AERONÁUTICA
CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE
ACIDENTES AERONÁUTICOS



RELATÓRIO FINAL
A - Nº 032/CENIPA/2012

<u>OCORRÊNCIA:</u>	ACIDENTE
<u>AERONAVE:</u>	PR-UUT
<u>MODELO:</u>	EMB-500
<u>DATA:</u>	17FEV2010



ADVERTÊNCIA

Conforme 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 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 podem ter contribuído para desencadear esta ocorrência.

Não é foco do mesmo quantificar o grau de contribuição dos fatores contribuintes, incluindo as variáveis que condicionaram o desempenho humano, sejam elas individuais, psicossociais ou organizacionais, e que interagiram, propiciando o cenário favorável ao acidente.

O objetivo exclusivo deste trabalho é recomendar o estudo e o estabelecimento de providências de caráter preventivo, cuja decisão quanto à pertinência a acatá-las será de responsabilidade exclusiva do Presidente, Diretor, Chefe ou o que corresponder ao nível mais alto na hierarquia da organização para a qual estão sendo dirigidas.

Este relatório não recorre a quaisquer procedimentos de prova para apuração de responsabilidade civil ou criminal; estando em conformidade com o item 3.1 do Anexo 13 da Convenção de Chicago de 1944, recepcionada pelo ordenamento jurídico brasileiro através do Decreto nº 21.713, de 27 de agosto de 1946.

Outrossim, deve-se salientar a importância de resguardar as pessoas responsáveis pelo fornecimento de informações relativas à ocorrência de um acidente aeronáutico. A utilização deste Relatório para fins punitivos, em relação aos seus colaboradores, macula o princípio da "não autoincriminação" deduzido do "direito ao silêncio", albergado pela Constituição Federal.

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

ÍNDICE

SINOPSE.....	4
GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS E ABREVIATURAS.....	5
1 INFORMAÇÕES FACTUAIS	7
1.1 Histórico da ocorrência.....	7
1.2 Danos pessoais	7
1.3 Danos à aeronave	7
1.4 Outros danos	7
1.5 Informações acerca do pessoal envolvido.....	8
1.5.1 Informações acerca dos tripulantes.....	8
1.6 Informações acerca da aeronave	8
1.7 Informações meteorológicas.....	9
1.8 Auxílios à navegação.....	12
1.9 Comunicações.....	12
1.10 Informações acerca do aeródromo.....	12
1.11 Gravadores de voo	12
1.12 Informações acerca do impacto e dos destroços	14
1.13 Informações médicas, ergonômicas e psicológicas.....	14
1.13.1 Aspectos médicos.....	14
1.13.2 Informações ergonômicas	14
1.13.3 Aspectos psicológicos	15
1.14 Informações acerca de fogo	15
1.15 Informações acerca de sobrevivência e/ou de abandono da aeronave.....	15
1.16 Exames, testes e pesquisas	15
1.17 Informações organizacionais e de gerenciamento	20
1.18 Aspectos operacionais.....	20
1.19 Informações adicionais.....	20
1.20 Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação	23
2 ANÁLISE	26
3 CONCLUSÃO.....	31
3.1 Fatos.....	31
3.2 Fatores contribuintes	32
3.2.1 Fator Humano.....	32
3.2.2 Fator Material	32
4 RECOMENDAÇÃO DE SEGURANÇA DE VOO (RSV)	33
5 AÇÃO CORRETIVA OU PREVENTIVA JÁ ADOTADA.....	34
6 DIVULGAÇÃO.....	34
7 ANEXOS.....	35

SINOPSE

O presente Relatório Final refere-se ao acidente com a aeronave PR-UUT, modelo EMB-500, ocorrido em 17FEV2010, classificado como saída de pista.

Durante pouso sob forte chuva, sem ter comando efetivo nos freios, o piloto comandou o freio de emergência.

A aeronave saiu pela lateral direita da pista, tendo parado após a quebra do trem de pouso principal esquerdo.

A aeronave teve danos graves.

O piloto e os passageiros saíram ilesos.

Não houve designação de representante acreditado.

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS E ABREVIATURAS

ABAG	Associação Brasileira de Aviação Geral
AFM	<i>Aircraft Flight Manual</i> – Manual de voo da aeronave
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APPA	Associação de Pilotos e Proprietários de Aeronaves
ATS	<i>Air Traffic Services</i> – Serviços de tráfego aéreo
CCF	Certificado de Capacidade Física
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CGE	Centro de Gerenciamento de Emergências
CHT	Certificado de Habilitação Técnica
CIV	Caderneta Individual de Voo
CMC	<i>Central Maintenance Computer</i> – Computador central de manutenção
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CVDR	<i>Combined Voice and Data Recorder</i> – Gravador de dados de voo e de voz de cabine
E50P	Aeronave tipo EMB-500
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
EPB	<i>Emergency Parking Brake</i> – Freio de emergência
FOL	<i>Flight Operational Letter</i> – Carta operacional de voo
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellites</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i> – Sistema de posicionamento global
hPa	<i>HectoPascal</i> – Unidade de pressão atmosférica
IAC	Instrução da Aviação Civil
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i> – Regras de voo por instrumentos
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	<i>Integrated Pilot Training</i> – Treinamento integrado de pilotos
Lat	Latitude
Long	Longitude
METAR	<i>Aviation Routine Weather Report</i> – Informe Meteorológico Aeronáutico Regular
PFD	<i>Primary Flight Display</i> – Painel primário de voo
PLA	Piloto de Linha Aérea – Avião
PPR	Piloto Privado – Avião
QNH	Pressão reduzida ao nível do mar pelo gradiente vertical da atmosfera padrão
QRH	<i>Quick Reference Handbook</i> – Manual de referência rápida

RSV	Recomendação de Segurança de Voo
SBBR	Designativo de localidade – Aeródromo de Brasília, DF
SBMT	Designativo de localidade – Aeródromo de Campo de Marte, SP
SERIPA	Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
SIPAER	Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
SPECI	<i>Aviation selected special weather report</i> – Informe meteorológico aeronáutico especial selecionado
TWR	<i>Aerodrome Control Tower</i> – Torre de controle de aeródromo
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i> – Tempo Universal Coordenado
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> – Regras de voo visual
Vref	Velocidade de referência para aproximação para pouso

AERONAVE	Modelo: EMB-500 Matrícula: PR-UUT Fabricante: EMBRAER	Operador: Air Minas Linhas Aéreas Ltda.
OCORRÊNCIA	Data/hora: 17FEV2010 / 20:07 UTC Local: Aeródromo de Campo de Marte (SBMT) Lat. 20°30'25"S – Long. 046°38'03"W Município – UF: São Paulo – SP	Tipo: Saída de pista

1 INFORMAÇÕES FACTUAIS

1.1 Histórico da ocorrência

A aeronave decolou do aeródromo de Brasília, DF (SBBR), para o aeródromo de Campo de Marte, SP (SBMT), às 18h24min, com um piloto e três passageiros.

Durante o voo, as condições meteorológicas, que eram favoráveis, deterioraram-se. Na chegada ao destino, o aeródromo passou a operar sob condições de VFR Especial, sendo o piloto orientado pela torre de controle (TWR) a realizar a aproximação para a cabeceira 30.

O pouso ocorreu sob chuva forte e, durante a corrida após o pouso, ao aplicar os freios, o piloto percebeu que não tinha efetividade na frenagem da aeronave. Com isso, comandou o freio de emergência.

A aeronave saiu da pista pela lateral direita (*veer-off*), tendo parado após a quebra do trem de pouso principal esquerdo.

1.2 Danos pessoais

Lesões	Tripulantes	Passageiros	Terceiros
Fatais	-	-	-
Graves	-	-	-
Leves	-	-	-
Ilesos	01	03	-

1.3 Danos à aeronave

A aeronave teve danos nas seguintes partes:

- Cone de cauda e *tail cone fin*;
- Porta do compartimento elétrico;
- Revestimento inferior das asas direita e esquerda;
- Aileron esquerdo;
- Flapes direito e esquerdo;
- Carenagem externa esquerda do profundor;
- Trem de pouso principal direito;
- Pneus; e
- Sistema de degelo do bordo de ataque das asas.

1.4 Outros danos

Não houve.

1.5 Informações acerca do pessoal envolvido

1.5.1 Informações acerca dos tripulantes

HORAS VOADAS	
DISCRIMINAÇÃO	PILOTO
Totais	17.000:00
Totais nos últimos 30 dias	22:00
Totais nas últimas 24 horas	03:30
Neste tipo de aeronave	22:00
Neste tipo nos últimos 30 dias	13:00
Neste tipo nas últimas 24 horas	03:30

Obs.: Os dados relativos às horas voadas foram obtidos através dos registros na Caderneta Individual de Voo (CIV) do piloto.

1.5.1.1 Formação

O piloto realizou o curso de Piloto Privado – Avião (PPR) no Aeroclube de São Paulo, em 1980.

1.5.1.2 Validade e categoria das licenças e certificados

O piloto possuía a licença de Piloto de Linha Aérea – Avião (PLA) e estava com as habilitações técnicas de aeronave tipo E50P (aeronave EMB-500) e de voo por instrumentos (IFRA), válidas.

1.5.1.3 Qualificação e experiência de voo

O piloto estava qualificado e possuía experiência suficiente para realizar o tipo de voo.

1.5.1.4 Validade da inspeção de saúde

O piloto estava com o Certificado de Capacidade Física (CCF) válido.

1.6 Informações acerca da aeronave

A aeronave, de número de série 5000093, foi fabricada pela EMBRAER, em 2009.

O certificado de aeronavegabilidade (CA) estava válido.

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

O peso máximo de decolagem era de 4.750 kg e o peso máximo de pouso era de 4.430 kg. A aeronave possuía um sistema de freios *power-by-wire*, controlado pelos pedais dos dois postos de pilotagem, direito e esquerdo.

O sistema possuía proteções para travamento de roda (*anti-skid*), para evitar o pouso com roda travada e frenagem no recolhimento do trem de pouso, bem como dispunha de um sistema segregado de emergência (EPB), que atuava, diretamente, por meio de um punho no console central e que podia ser modulado pelo piloto, para a adequada frenagem da aeronave.

A aeronave foi certificada sem sistema de reversores nos motores e sem sistemas aerodinâmicos geradores de arrasto, como *ground spoilers* ou *speed brakes*.

Na aviãoica da aeronave existia um campo nos dois painéis primários de voo (PFD) (direito e esquerdo), no qual era informada a direção e a intensidade média do vento.

Essa informação deveria ser configurada pelo piloto, conforme as opções existentes.



Figura 1: Informações de vento nos PFD e opções.

A aeronave tinha 22 horas de voo totais e estava em perfeitas condições de operação.

A aeronave estava dentro dos limites de peso e do centro de gravidade (CG) especificados pelo fabricante.

1.7 Informações meteorológicas

Na tabela abaixo estão apresentadas as mensagens METAR e SPECI (destaque em amarelo) da área São Paulo, referentes à data e ao período do acidente.

Data	(METAR/SPECI)						
17/02/2010	SBMT	171900Z	15008KT	8000	BKN022	FEW035TCU	24/21 Q1015
17/02/2010	SBSP	171900Z	15009KT	9999	BKN012	24/21	Q1016
17/02/2010	SBGR	171900Z	11008KT	4000	TSRA BR	SCT013 BKN040 BKN045CB	23/20 Q1016 WS R27L
17/02/2010	SBGR	171925Z	07008KT	6000	FEW015	BKN023 OVC080	22/21 Q1016 RETSRA
17/02/2010	SBMT	172000Z	10006KT	6000	-RA	BKN022 FEW035TCU	24/20 Q1016
17/02/2010	SBMT	172005	12004KT	3000	RA BR	BKN008 BKN022 FEW035TCU	23/20 Q1016
17/02/2010	SBMT	172040Z	33003KT	0800	TSRA	BKN005 BKN022 FEW035CB	OVC100 20/19 Q1017
17/02/2010	SBSP	172000Z	15009KT	9999	BKN012	BKN040	24/21 Q1017
17/02/2010	SBGR	172000Z	13006KT	5000	BR	FEW008 BKN036 OVC100	22/21 Q1016 RETSRA
17/02/2010	SBKP	172000Z	12005KT	9999	-TSRA	FEW040 FEW050CB	24/22 Q1014
17/02/2010	SBKP	172025Z	17010KT	9999	FEW040	23/20	Q1015 RETS

Figura 2: Informações meteorológicas em horários próximos ao do acidente.

As informações meteorológicas do Campo de Marte (SBMT), das 20h (UTC), indicavam vento de 100 graus, com velocidade de 06 nós, visibilidade horizontal de 6.000

metros, chuva leve, camada de 5 a 7 oitavos de nuvens a 2.200 pés, 1 a 2 oitavos de nuvens a 3.500 pés, nuvens cúmulos de grande extensão vertical, temperatura do ar de 24 graus Celsius, temperatura do ponto de orvalho de 20 graus e ajuste e pressão (QNH) de 1016 hPa.

Às 20h05min (UTC), próximo ao horário da ocorrência, foi gerado um informe meteorológico especial (SPECI), indicando degradação das condições meteorológicas de SBMT.

A visibilidade e teto reduziram-se para 3.000 metros (mínimo para VFR especial) e 800 pés (abaixo do mínimo para VFR especial), com chuva moderada para forte e, às 20h40 (UTC), chegaram a 800 metros e 500 pés, com chuva moderada e trovoada.

Apesar de no SPECI constar o vento de 120 graus com 04 nós, a informação transmitida ao piloto, por ocasião da aproximação final para pouso, foi de vento de 100 graus, com velocidade de 02 nós.

A entrada de frente fria, responsável pela forte chuva na região, pode ser observada na imagem de satélite (figura 3) do INPE / CPTEC.



Figura 3: Foto do Satélite GOES, das 18h UTC do dia 17FEV2010

Com a utilização de imagens radar (figura 4) sequenciais da formação meteorológica, foi possível verificar que as formações pesadas estavam deslocando-se no sentido sudeste.

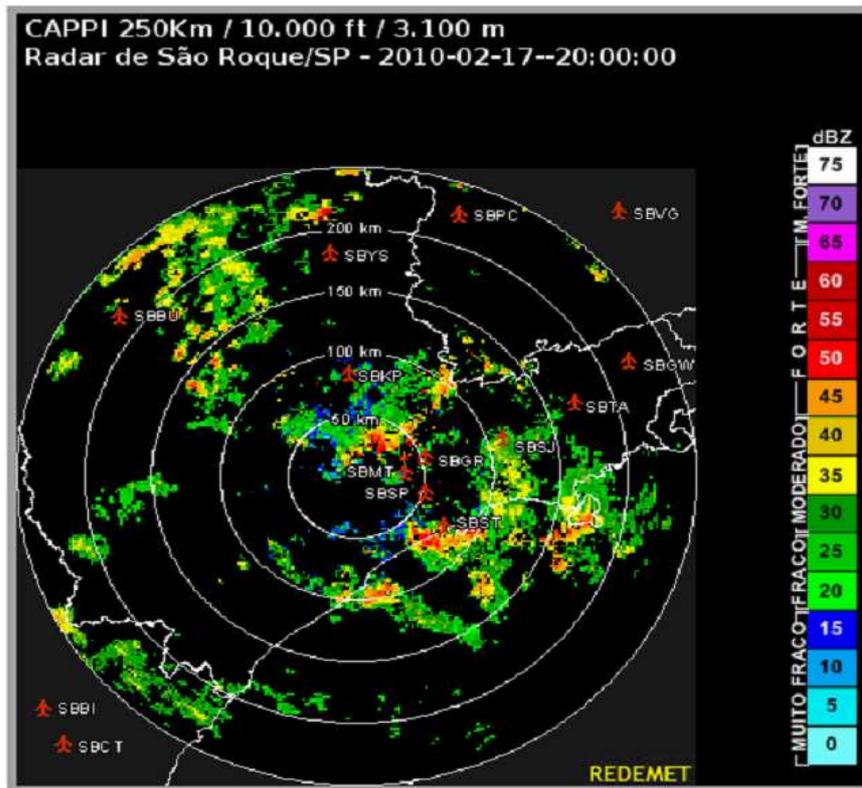


Figura 4: Imagem do Radar Meteorológico de São Roque

A fim de ser determinada a intensidade da chuva no momento do acidente, foi feito contato com o Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) da Prefeitura de São Paulo, que forneceu informações precisas sobre o índice pluviométrico do período.

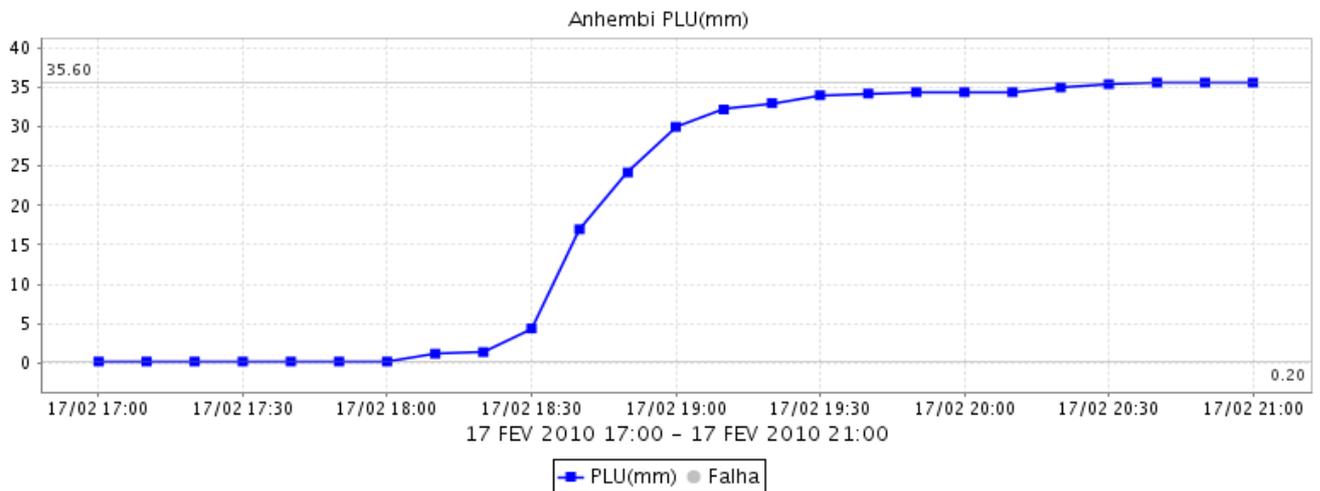


Figura 5: Gráfico com o volume acumulado de água (35,6 mm em uma hora)



Figura 6: Posicionamento do pluviômetro.

O Posto de Monitoramento do Anhembi, distante 1,3 km do centro da pista de SBMT, por meio de coleta em instrumentos daquela estação (pluviômetros), registrou o acúmulo de 35,6 milímetros de água em um período de pouco mais de uma hora, comprovando o grande volume de água no momento da ocorrência.

Como o sentido de deslocamento das formações meteorológicas era para sudeste e em face da pequena distância do pluviômetro ao centro da pista do aeródromo, pode-se considerar que o volume de água coletado pelo instrumento de medida foi, aproximadamente, o mesmo volume precipitado na vertical do aeródromo.

Ainda, de acordo com informações do CGE, a zona norte da cidade de São Paulo, no período das 18h às 20h, encontrava-se com a classificação de Estado de Emergência no grau de Atenção, em razão das fortes chuvas na região.

1.8 Auxílios à navegação

Nada a relatar.

1.9 Comunicações

Nada a relatar.

1.10 Informações acerca do aeródromo

O aeródromo do Campo de Marte (SBMT) é público, administrado pela INFRAERO e opera VFR (voo visual), em período diurno e noturno.

A pista é de asfalto, com cabeceiras 12/30, dimensões de 1.600m x 45m, com elevação de 2.368 pés.

Para o pouso na cabeceira 30, a distância útil a ser considerada é de 1.450 metros, uma vez que a cabeceira é deslocada.

Durante a Ação Inicial foram verificadas várias rachaduras no asfalto da pista e várias marcas de tinta branca demarcando pontos de acúmulo de água.



Figuras 7 e 8: Pontos demarcados de acúmulo de água na pista de pouso de SBMT

Perto de 26 minutos depois do acidente, após ter passado momentaneamente a chuva, foi observado o espelhamento de toda a extensão da pista decorrente da excessiva quantidade de água, evidenciando, naquele momento, a condição de pista contaminada.



Figuras 9 e 10: A pista com acúmulo de água e com espelhamento

Foi observado que o nível de água na lateral da pista, acumulada em grande quantidade, estava no mesmo nível do asfalto e nenhum sistema de drenagem de água foi identificado nas imediações.



Figuras 11 e 12: Nível de água da lateral no mesmo nível do asfalto

Cerca de 20 horas após a ocorrência, no dia seguinte, ainda existiam poças de água na pista e no local da parada da aeronave.

A pista de pouso não tinha *grooving*.

Em 25FEV2010, em cumprimento à IAC 4302 – Requisitos de Resistência a Derrapagem para Pistas de Pouso e Decolagem, à Resolução Nº 88, de 11MAIO2009 e ao Manual MP-22.04-MNT – Manual de Procedimentos Operacionais para a Medição de Atrito de Textura e Remoção de Borracha nas Pistas de Pouso e Decolagem dos Aeroportos foi emitido pela INFRAERO o Relatório Técnico RT/SBMT – 001/2010, que atestou que a pista estava dentro das especificações mínimas requeridas.

Foi também constatado que, da posição da torre de controle do aeródromo, o controlador não tinha a visão da cabeceira 12, tampouco de parte da pista principal e da pista de táxi em função de arvoredos existentes nas laterais da pista.

1.11 Gravadores de voo

O equipamento CVDR – *Combined Voice and Data Recorder* equipava todas as aeronaves PHENOM 100, mesmo não sendo requisito de certificação para essa categoria de aeronave.

O CVDR, apesar de estar instalado na aeronave, não se encontrava operacional desde a entrega da aeronave ao operador, aguardando evolução posterior do *software* da aviônica. A ativação do equipamento após a entrega dependia da incorporação de dois Boletins de Serviço: 500-31-0001 (*Installation of G1000 Load 25.30 Avionics Software*) e 500-31-0002 (*Activation of the CVDR System*), que estavam disponíveis desde 18NOV2009.

Para a análise da ocorrência foram utilizados os dados gravados no computador central de manutenção (CMC) da aeronave – que registrava eventos significativos de voo e registros de dados de manutenção, incluindo as falhas dos diversos sistemas da aeronave.

1.12 Informações acerca do impacto e dos destroços



Figuras 13 e 14: Posição da aeronave após a parada total.

Com o recolhimento da perna do trem de pouso principal esquerdo, a aeronave girou 180 graus, causando o impacto do flape esquerdo e do cone de cauda contra o solo, na área gramada da lateral da pista de pouso.

1.13 Informações médicas, ergonômicas e psicológicas

1.13.1 Aspectos médicos

Não pesquisados.

1.13.2 Informações ergonômicas

Nada a relatar.

1.13.3 Aspectos psicológicos

Não pesquisados.

1.13.3.1 Informações individuais

Nada a relatar.

1.13.3.2 Informações psicossociais

Nada a relatar.

1.13.3.3 Informações organizacionais

Nada a relatar.

1.14 Informações acerca de fogo

Não houve fogo.

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

Após a parada da aeronave, todos os ocupantes saíram ilesos pela porta principal.

1.16 Exames, testes e pesquisas

Em virtude das características da ocorrência, mesmo não sendo observadas falhas do sistema de freio nas gravações do CMC, durante a Ação Inicial foram retirados onze itens do sistema de freios da aeronave para a investigação de possíveis falhas não anunciadas, que poderiam, se necessário, serem submetidos a testes e análises pelos subfornecedores do fabricante da aeronave, conforme listados a seguir:

Nome	Part Number (Pn)	Serial Number (Sn)
1) Brake Control Unit	90005034-2-1REV	MAY09-1057
2) Proximity Switch RH	80-057-01	21392
3) Proximity Switch LH	80-057-01	21200
4) Servo valve-Brake LH	90005035-1REV	09-01-0228
5) Checkvalve LH	90005191-1	JAN09-0203
6) Servo valve-Brake RH	90005035-1REV	09-03-0248
7) Checkvalve RH	90005191-1	JAN09-0192
8) Shutoff (Brake)	90005027 REV C	FEV09-0140
9) Wheel Speed Transducer LH	90005036 REV E	APR09-0304
10) Wheel Speed Transducer RH	90005036 REV E	JAN09-0208
11) Transducer da Célula de Carga	20-017500	830514

Com o auxílio do equipamento GPS, foi levantado o perfil da pista e os traçados (*tracks*) das marcas brancas de hidroplanagem deixadas pelos pneus da aeronave.

Como o período de gravação entre os diferentes registros dos dados foi muito próximo, a maioria dos erros inerentes ao sistema de navegação GPS são minimizados, fazendo com que a precisão dos cálculos apresentados tenha um desvio de poucos metros.

Na Ação Inicial, com o apoio do fabricante da aeronave, foi feito o *download* do CMC, no qual são gravadas as falhas de diversos componentes de sistemas da aeronave, ocorrência de mensagens para a tripulação e alguns eventos significativos de operação da aeronave.

Com base nos dados gravados do GPS e do CMC, confrontados com a declaração do piloto, foi elaborado o croqui da dinâmica da ocorrência apresentados na figura 15.



Figura 15: Croqui das marcas e distâncias da ocorrência

Por meio de cálculos de desempenho e com base nos dados do CMC que registrou a velocidade calibrada dos dois sensores da aeronave no momento do toque, foi estimado que a aeronave estava 8,5 nós acima da V_{ref} na aproximação final. Com isso, considerando o vento de cauda de 02 nós, a aeronave tocou a pista com a velocidade de solo igual a 105 nós. O toque deu-se a 65 metros da cabeceira da pista.

Calculando-se a velocidade de entrada em condição de hidroplanagem, usando a expressão $Vel. (nós) = 7,7 \times \sqrt{\text{pressão dos pneus (PSI)}}$, tendo como pressão de pneus do trem de pouso principal prevista pelo manual da aeronave o valor de 166 a 176 PSI (AMM 2432, Rev 8, Feb 26/10, pág. 4), obtém-se a velocidade de 100 ± 2 nós.

Como a velocidade de saída da condição de hidroplanagem pode ser de até 13 nós abaixo da velocidade de entrada, considera-se a velocidade de saída igual a 87 ± 2 kt.

Na condição de hidroplanagem, nesse caso, caracterizada como viscosa, o sistema de freio da aeronave com *anti-skid* liberava uma pressão mínima suficiente para frenagem sem que ocorresse o travamento das rodas.

Na figura 16 é feito um detalhamento do croqui da ocorrência, no qual é considerada a distância entre o ponto de toque e a aplicação do freio de emergência EPB.

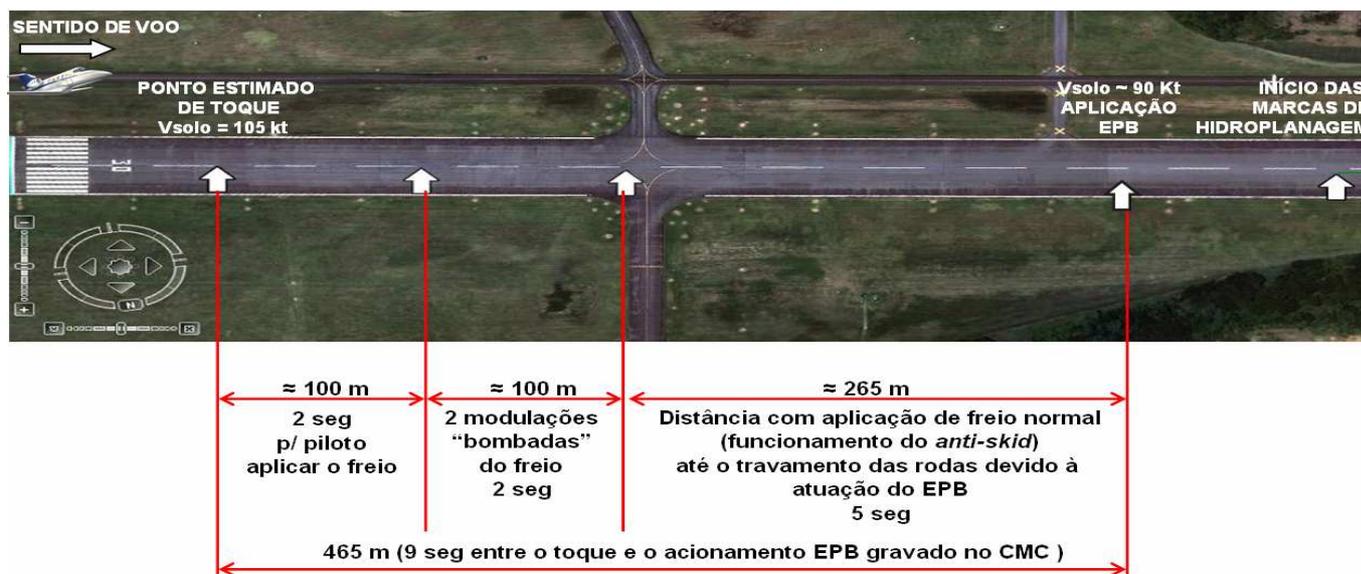


Figura 16: Detalhamento do croqui da ocorrência

Após o toque da aeronave no solo, o piloto, normalmente, levaria cerca de 2 segundos para aplicar os freios (dados baseados em voos de ensaio da aeronave com um piloto).

Com isso, a distância percorrida foi da ordem de 100 metros, uma vez que a velocidade de toque da aeronave foi de 105 nós ou 54 m/s.

Os dois acionamentos no freio normal, com interrupções momentâneas de frenagem, calculadas em cerca de 1 segundo por modulação, causou uma perda de, aproximadamente, 100 metros de pista útil para parada da aeronave.

Depois de percorrer cerca de 265 metros (em aproximadamente 5 segundos) com uma velocidade em torno de 90 nós (calculada em função da performance da aeronave desacelerando em uma pista contaminada, sem freios e com flape todo baixado (*full*), o piloto acionou (inevitavelmente) o freio de emergência da aeronave travando as rodas do trem de pouso principal.

O freio de emergência foi acionado justamente quando a aeronave estava próxima de sair da condição de hidroplanagem viscosa, atingindo a velocidade de 87 ± 2 kt.

As distâncias e as velocidades calculadas foram confirmadas com o tempo de aplicação entre o toque da aeronave e o acionamento do EPB gravado no CMC da aeronave, que foi de 9 segundos.

De acordo com os danos observados na aeronave e sua posição final, é possível estimar que a velocidade de saída da pista estivesse em torno de 30 nós.

Na pista foram observadas marcas brancas contínuas, apresentando características de hidroplanagem, com 585 metros de extensão, finalizando no ponto de parada da aeronave, conforme figura abaixo.



Figura 17: Marcas brancas na pista

As marcas brancas na pista começaram muito sutilmente, depois de 123 metros após o acionamento do EPB, isso porque a temperatura foi aumentando gradativamente até a ocorrência de formação do vapor de água entre o pneu e a lâmina de água, que efetivamente “limpou” a pista de pouso deixando as marcas brancas observadas na pista.

Foi constatado que os pneus do trem de pouso principal esquerdo e direito foram desgastados em somente uma área da banda de rodagem, conforme as figuras a seguir.



Figuras 18 e 19: Marcas de desgaste dos pneus esquerdo e direito

A aeronave *PHENOM 100*, após ter realizado uma extensa campanha de ensaios, tem a sua performance conhecida em diversas situações.

Com base nestes dados, nas gravações GPS das marcas na pista e nos dados gravados do CMC, foi traçado o gráfico (figura 20) a seguir, que apresenta a performance de frenagem da aeronave (considerando o peso, velocidade na final, flapes, temperatura, altura do aeródromo e vento) para as condições de pista seca, molhada, contaminada, bem como é apresentado um pouso em pista contaminada, mas com a V_{ref} correta que deveria ser mantida na aproximação final.

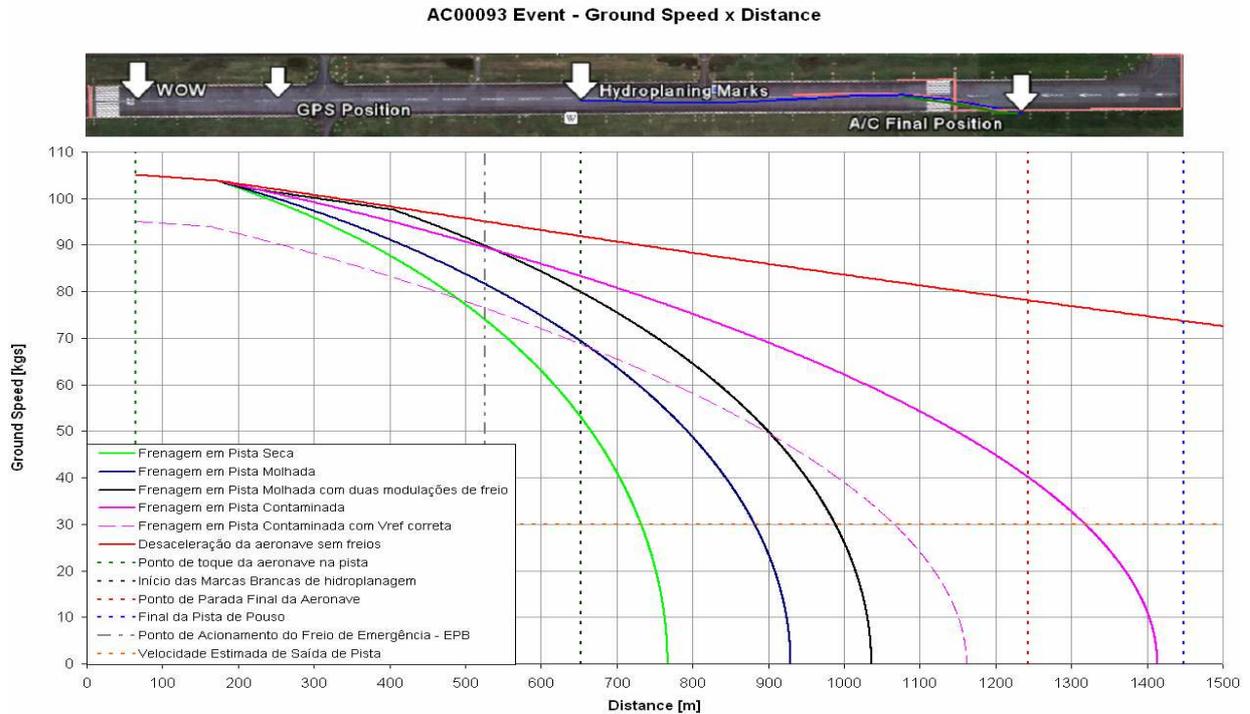


Figura 20: Gráfico de Performance de Frenagem para diversas condições (Velocidade X Comprimento de pista)

Para os cálculos de performance de frenagem em “pista molhada” (curva azul e a preta), foi utilizado o fator conservativo indicado pelo fabricante da aeronave de 1,25, aplicado no software de performance da aeronave e nas tabelas dos manuais.

Para os cálculos de performance de frenagem em “pista contaminada” (curva magenta), foi utilizado o *software de performance* da aeronave, que considera a espessura variável da lâmina de água para os cálculos. Na curva traçada considerou-se o pior caso (maior distância de parada).

No gráfico pode-se observar que a distância necessária requerida para o pouso (pista não fatorada) cresce significativamente para condições de pista molhada e contaminada.

Em todos os casos, mesmo considerando os desvios na manutenção da V_{ref} e aplicação dos freios de emergência, a aeronave deveria parar dentro do comprimento de pista disponível caso não tivesse perdido o controle direcional e saído pela sua lateral.

Se o piloto mantivesse a correta V_{ref} na aproximação final (curva de cor magenta tracejada), a aeronave deveria parar com cerca de 1.170 metros a partir do ponto de toque dos trens de pouso na pista.

No gráfico a seguir (figura 21) é apresentada a performance de desaceleração da aeronave para as mesmas condições anteriores:

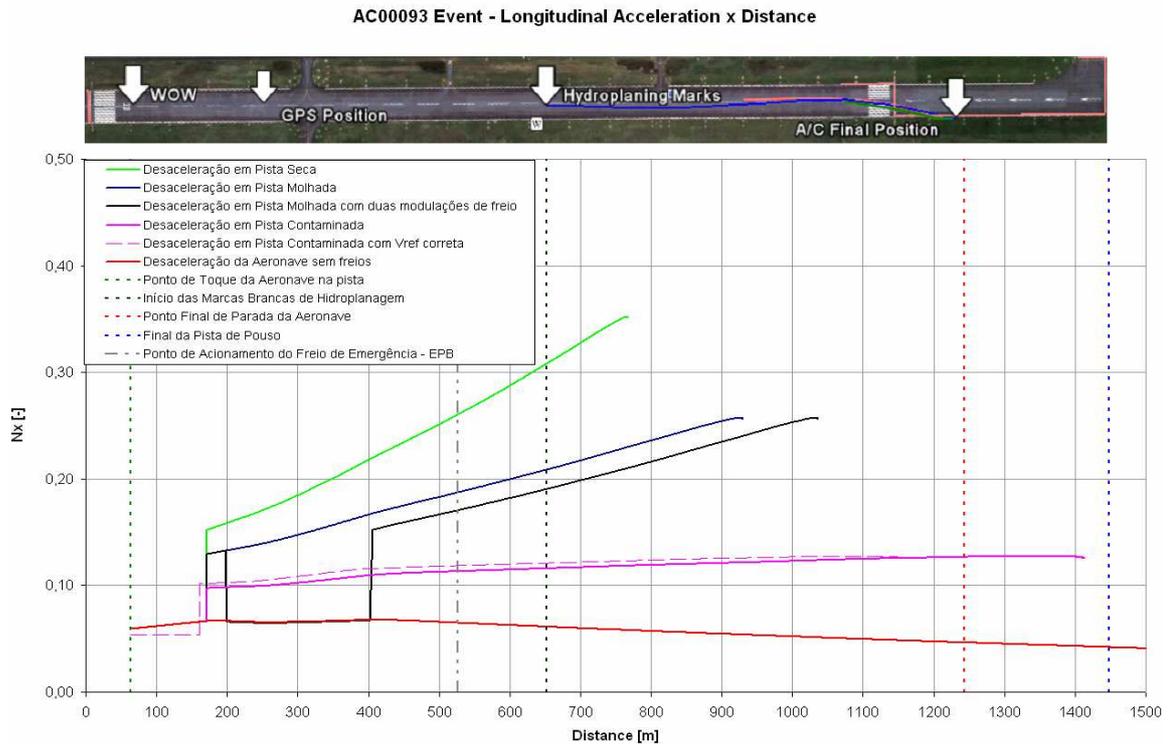


Figura 21: Gráfico de performance de frenagem para diversas condições
(Aceleração longitudinal X Comprimento de pista)

Comparando-se as desacelerações das diferentes condições de pista, observa-se que para o caso de pista contaminada (curva de cor magenta) os valores são razoavelmente pequenos, fazendo com que a sensação de frenagem da aeronave seja praticamente imperceptível pelo piloto durante todo o deslocamento da aeronave na pista, conforme declarado pelo mesmo.

1.17 Informações organizacionais e de gerenciamento

O piloto possuía contrato de trabalho com a empresa Air Minas Linhas Aéreas Ltda. e estava regularizado.

1.18 Aspectos operacionais

O voo estava sendo executado segundo as regras do RBHA 91 (Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica nº 91), por um único tripulante, em operação *single pilot*, que havia voado 22 horas nessas condições.

A experiência pregressa do piloto, que estava há cerca de um ano afastado da atividade aérea, antes de iniciar a voar o *PHENOM 100*, era como tripulante de empresa aérea, operando aeronaves de grande porte (*Boeing 767*) segundo o RBHA 121.

A aeronave cumpria um Plano de Voo “Y”, voando inicialmente por instrumentos (IFR), com ponto de mudança para regras de voo visual (VFR).

No momento da decolagem, as condições meteorológicas no aeródromo de destino permitiam o pouso por referências visuais, porém durante o trajeto, as condições meteorológicas deterioraram-se, passando o aeródromo a operar sob VFR Especial.

O piloto iniciou a descida em condições visuais, em coordenação com os órgãos de controle de tráfego aéreo. Relatou certa dificuldade em obter autorização para a mudança de regras de voo IFR para VFR.

A aproximação, inicialmente, teria sido feita para a pista 12, em função do vento predominante, porém, em face do início da precipitação na vertical do aeródromo, a pista em uso passou a ser a 30.

Neste ínterim, o comandante, ainda na perna base, avistando a pista, foi orientado a realizar uma curva de 360 graus, com a finalidade de separação de tráfego aéreo, tendo em vista a presença de outras três aeronaves no sequenciamento para pouso.

Enquanto isso, na vertical do aeródromo, começou a chover forte em toda a extensão da pista de pouso.

Ao ingressar na final, a torre informou ao comandante que a pista estava molhada. De acordo com o áudio da fraseologia, pôde-se constatar que nenhuma informação significativa sobre as condições da pista estar contaminada ou alagada, foi passada para o piloto pela torre de controle de SBMT.

Apesar de a visibilidade ter se reduzido em razão da forte chuva, o piloto configurou a aeronave e, preparou-se para o pouso no Campo de Marte.

Em entrevista, o piloto declarou que estava “condicionado” a pousar, a despeito das condições meteorológicas adversas, em função de ter encontrado dificuldades na coordenação com o órgão de controle para realizar o pouso em condições visuais, alegando que uma possível arremetida para pouso no aeródromo alternativo iria causar maiores conflitos de tráfego aéreo.

Ao ingressar na aproximação final, a cerca de 800 pés, o piloto perdeu, momentaneamente, o contato visual com a pista, vindo a aeronave a ficar acima da rampa de aproximação.

O piloto relatou que, ainda na final, ao passar pela vertical da linha do metrô, distante 650 metros da cabeceira da pista, estava alto e um pouco acima da Vref, mas a aeronave estava com o peso e a configuração dos flapes para o pouso. Nesse momento, reduziu totalmente a potência dos motores (*flight idle*).

O piloto informou que estava considerando, para o pouso na cabeceira 30, um vento de 310 graus com 8 nós (proa).

A informação de vento pode ser consultada na aviônica da aeronave, mostrada nos *displays* primários de voo, contudo, o piloto reportou não ter consultado essa informação, em função da informação passada pelo controlador da torre.

Na curta final, sob forte chuva em toda a extensão da pista, a aeronave cruzou a cabeceira e o piloto comandou o pouso firmemente, conforme o manual da aeronave e as orientações do fabricante apresentadas em reunião de operadores do *PHENOM 100*, vindo a tocar as rodas do trem de pouso a, aproximadamente, 65 metros da cabeceira da pista.

Após o pouso, o piloto aplicou os freios normais da aeronave, imediatamente, com a máxima intensidade.

Contudo, com a sensação de que a aeronave não estava desacelerando, o piloto atuou por duas vezes (deu duas “bombadas”) no freio normal, mesmo sabendo não ser esta a ação correta, uma vez que a aeronave dispunha de sistema de freio com *anti-skid*.

Ainda sem a sensação de desaceleração, o piloto comandou o freio de emergência, primeiramente, de maneira gradual e, sem notar qualquer reação na

aeronave, aplicou totalmente o freio de emergência. Conforme procedimento previsto no QRH – *Quick Reference Handbook*, o freio de emergência deveria ser aplicado somente em casos de falha do sistema normal de freios.

O EPB, quando aplicado nas condições de falha do sistema normal de freios, deve ser modulado para que não ocorra o travamento das rodas. O piloto declarou que recebeu essa instrução no treinamento em simulador de voo.

Ao ser questionado sobre o motivo de não ter arremetido após ter a sensação da não desaceleração da aeronave, em vez de ter comandado o freio de emergência, o piloto disse que, caso arremettesse, iria entrar no meio da formação meteorológica pesada, além do perigo que enfrentaria com os obstáculos altos na cabeceira oposta da pista, motivo pelo qual estava decidido a pousar.

As características de frenagem do *PHENOM 100* foram detalhadas para os operadores da aeronave no documento *FOL – Flight Operational Letter*, ISR 8000012238 – Rev. 1, de 11NOV2009, bem como apresentadas na Reunião de Operadores realizada em 09DEZ2009, na qual o piloto estava presente.

Nesse documento aos operadores, o fabricante da aeronave descrevia que, em uma condição de frenagem em pista seca, a sensação de desaceleração somente era significativa quando a aeronave estivesse com velocidade entre 80 e 70 nós.

Foi constatado que outro documento, também emitido pelo fabricante, enviado e apresentado aos operadores, foi o Boletim Operacional Nº 500-005/09 - *Correction Factor for Wet Runways*, de 11NOV2009, que estabeleceu o fator de correção de 1,25 para o cálculo de distância de pouso para pista “molhada” (lâmina de água menor ou igual a 3 mm de espessura), índice desconhecido pelo piloto quando questionado na Ação Inicial.

Após o pouso, por meio dos pedais (*steering* e leme direcional conjugados), foi possível manter o controle direcional com a aeronave praticamente no centro da pista, contudo, após comandado o freio de emergência e ao perder velocidade, a aeronave veio a derrapar, fazendo cerca de 110 graus de giro para a direita, vindo a sair pela lateral direita da pista.

Ao sair da pista pela lateral direita, ocorreu a quebra da perna do trem de pouso principal esquerdo, vindo a aeronave a parar sobre uma área gramada, cerca de 180 graus com o sentido original de deslocamento, a 212 metros do final da pista.



Figura 22: Ponto de parada final da aeronave na lateral direita da pista

O pouso da aeronave deu-se com 3.955 kg, sendo o peso máximo de pouso igual a 4.430 kg, considerando-se que se encontrava dentro dos limites de peso e balanceamento.

Após o pouso da aeronave, o controlador da TWR informou o horário de pouso e solicitou informar “pista livre”. Nesse momento, o piloto de uma aeronave que havia pousado, que já tinha livrado a pista, informou à torre que tinha ocorrido um “cavalo de pau” e que haveria necessidade de ajuda para a aeronave sair da lateral da pista.

Depois de ser solicitada a confirmação, o piloto informou que a aeronave PR-UUT tinha efetuado uma parada de emergência.

O piloto não soube informar precisamente a posição da aeronave. O controlador perguntou se havia condições de outra aeronave pousar, sendo respondido que “somente se a aeronave garantisse que sairia na taxi-way “C”.

Duas outras aeronaves que estavam na sequência para pouso, depois de informarem estarem avistando a aeronave fora da pista e, em coordenação com a torre de controle, prosseguiram para pouso, o que foi realizado após os ocupantes abandonarem a aeronave acidentada.

De acordo com relato do piloto, comprovado na leitura da transcrição das comunicações, após todos os ocupantes terem abandonado a aeronave acidentada, duas aeronaves que estavam na sequência para pouso, após seus pilotos declararem estarem avistando a aeronave fora da pista e em coordenação com a torre de controle, prosseguiram para o pouso.

1.19 Informações adicionais

1.19.1 Considerações sobre o programa de treinamento

O Programa de Treinamento da EMBRAER, do qual o piloto participou, foi certificado pela ANAC e era composto por 47 horas totais, sendo o *Ground School* realizado num período de 6 dias, com avaliação escrita e, para treinamento *Single Pilot*, um total de 14 horas em simulador “Classe C”, compreendendo 7 voos de instrução com duração de 02 horas cada.

O Centro de Treinamento da aeronave *PHENOM 100* é sediado na *Embraer CAE Training Services (ECTS)*, em *Dallas, Texas, USA*, onde estão localizados os simuladores *FFS (Full Flight Simulator)*.

Foi verificado que, após a ocorrência, a EMBRAER inseriu no seu Programa de Treinamento, para a padronização de instrutores e formação de novos pilotos, 3 seções de treinamento teórico e 3 seções de treinamento prático em simulador, incluindo a operação de pouso em pista curta, levando em conta as diferentes condições de pista seca, molhada e contaminada, bem como melhorias e adaptações como:

- 1) Treinamento teórico específico:
 - Técnicas de pouso conforme estabelecido pelo manual de voo da aeronave (AFM);
 - Características do Sistema de Freio;
 - Procedimentos operacionais para “pouso curto”;
 - Estudo de caso dos eventos de Angra dos Reis e Campo de Marte; e
 - Novo Guia Suplementar de treinamento para operações em pista curta (ANAC / FAA).
- 2) Treinamento prático em Simulador:
 - Capacitação dos instrutores para ministrar instrução de “pouso curto”;

- Treinamento específico de operação em pistas curtas para pilotos;
- Simulações de pouso em pista molhada e contaminada; e
- Treinamento de acionamento do EPB – *Emergency Parking Brake*.

Como recursos de treinamento, também foram incluídos dois equipamentos que preparam o piloto antes da realização dos voos em simulador, a fim de melhorar a adaptação à aviônica *Garmin*, que equipa a aeronave:

– *Garmin Station*, com 3 seções de 2 horas obrigatórias, e seções livres até que seja atingido o devido grau de proficiência na operação da aviônica; e

– *Integrated Pilot Training (IPT)*, com 3 seções de 2 horas obrigatórias.

Com relação às fichas do piloto da aeronave PR-UUT, foi constatado que aquelas referentes ao treinamento em simulador na empresa ECTS demonstram que o piloto teve problemas de adaptação com a aeronave, referentemente à operação do Sistema *Garmim*, modelo 1000, que equipa a aeronave.

A ECTS recomendou mais seções complementares de simulador até o atendimento do grau de proficiência desejado, contudo, o treinamento foi complementado em seções na própria aeronave.

Para a conclusão do treinamento do piloto, foram realizados dois voos na aeronave, com o acompanhamento de instrutores da EMBRAER.

Após a realização de um terceiro voo, o piloto foi submetido a cheque por Inspetor da ANAC, sendo considerado “Apto” na função de “Comandante” da aeronave.

1.19.2 Pista contaminada

A IAC 121-1011, que tratava de procedimentos para ajuste de tração (potência) para decolagem (Aviões categoria transporte), definia que Pista Contaminada é *uma pista na qual mais de 25% do comprimento que está sendo usado está coberto com uma lâmina de água parada ou outro contaminante (por ex.: gelo, slush, ou neve) com mais de 3 mm de espessura.*

Também é considerada contaminada a pista em que o contaminante cobrir menos do que 25%, porém está cobrindo uma área relevante para a operação como, por exemplo, a área de rotação e saída do solo, ou o segmento da pista onde o avião está em alta velocidade na decolagem onde o efeito de arrasto é mais relevante, e que “pista molhada” é uma pista com água, mas não em quantidade, a ponto de ser considerada contaminada.

1.19.3 Considerações sobre hidroplanagem:

Tomando como base a análise do documento *NASA Technical Note D-2056 – Phenomena of Pneumatic Tire Hydroplaning* e o documento *Airplane Hydroplaning / Basic Principles and Frequent Questions* do Departamento de Segurança de Voo da EMBRAER, algumas considerações são apresentadas para o entendimento e a elucidação da ocorrência.

É importante caracterizar os três tipos de hidroplanagem (termo também conhecido como aquaplanagem), em que a aeronave esteve envolvida:

A “hidroplanagem viscosa” ocorre com a pista já definida como molhada, na qual uma pequena camada de água pode atuar como um lubrificante, permitindo que os pneus deslizem. Ela tem a agravante de poder ocorrer em velocidades menores que as dos outros

tipos e em uma camada de água extremamente delgada (cerca de um milionésimo de polegada).

A “hidroplanagem com vapor” ocorre quando, durante uma situação de hidroplanagem, são aplicados os freios (aeronave sem sistema de *anti-skid*) e a roda do trem de pouso é travada, deslizando sobre a camada de água.

Neste caso, o atrito é responsável pela elevação da temperatura que provoca a evaporação da água, causando o derretimento (reversão) da borracha da banda de rodagem dos pneus e aumentando, assim, a suspensão das rodas, o que contribui ainda mais para o efeito de hidroplanagem.

A “hidroplanagem dinâmica” ocorre com a completa suspensão dos pneus sobre a camada de água, por grandes distâncias, fazendo com que a roda diminua sua rotação e até venha a parar, em função da contínua camada de água por grandes extensões da pista de pouso. Nesse caso a hidroplanagem perdurará enquanto os fatores presentes mantiverem-se constantes (velocidade da aeronave e espessura da lâmina de água).

A condição de hidroplanagem é afetada pelos seguintes fatores: espessura da película de água sobre a pista, velocidade da aeronave, pressão dos pneus, qualidade da banda de rodagem, desenho da banda de rodagem, atrito da pista e sua construção.

Uma boa aproximação para a velocidade mínima de entrada na condição de hidroplanagem (*NASA Critical Speeds*) é dada por: $Vel (kt) = 7,7 \times \sqrt{\text{Pressão dos pneus (PSI)}}$, para as situações em que a aeronave toca a pista já com uma camada de água e as rodas ainda não estão girando.

Outra informação importante é que existe, no fenômeno de hidroplanagem, uma histerese, fazendo com que a velocidade de saída desta condição seja de até 13 nós abaixo da velocidade de entrada. A variação da força normal da aeronave, como, por exemplo, a abertura de uma superfície aerodinâmica tipo *ground spoiler* não tem influência na velocidade de entrada e saída de hidroplanagem, contudo, o arrasto desta superfície causa uma maior desaceleração na aeronave, fazendo com que o tempo de permanência na condição de hidroplanagem seja menor.

Na condição de hidroplanagem, a aplicação dos freios não causa desaceleração significativa da aeronave, uma vez que o atrito com o solo é muito pequeno.

As aeronaves equipadas com sistema de freio com *anti-skid* apresentam vantagem nessa condição, uma vez que não ocorre o travamento das rodas e, assim, a pressão para o freio é liberada gradativamente, até que o atrito com o solo seja restabelecido.

As marcas brancas deixadas na pista pelos pneus da aeronave, com 585 metros de extensão (figura 17), são características de hidroplanagem com vapor e dinâmica, decorrente do travamento das rodas como mostradas a seguir.

Quanto às condições dos pneus do trem de pouso principal esquerdo e direito (figuras 18 e 19) foi observada apenas uma área de desgaste, causada pela reversão da borracha, devido ao travamento das rodas e consequente condição de hidroplanagem com vapor.

No pneu do trem de pouso principal esquerdo (figura 23), observa-se que o baixo desgaste, em razão da reversão da borracha, não chegou a eliminar as estrias do pneu e, em razão do atrito do pneu com terra, no momento da saída da pista, podem-se observar as marcas de abrasão no sentido perpendicular às estrias.



Figura 23: Marcas no pneu do trem de pouso principal esquerdo

No pneu do trem de pouso principal direito, na figura 24, observa-se que o baixo desgaste não chegou a eliminar as estrias do pneu e, também, não existem marcas de abrasão devido ao baixo atrito do pneu com a pista, caracterizando a condição de hidroplanagem sobre uma espessa lâmina de água.



Figura 24: Marcas no pneu do trem de pouso principal direito

1.20 Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação

Não houve.

2 ANÁLISE

Para uma melhor compreensão do ocorrido, a análise está dividida em tópicos a serem considerados.

2.1 Considerações sobre a carga de trabalho e desvios

Considerando o voo realizado sob as regras gerais de operação do RBHA 91 e RBHA 121, o piloto, aviador experiente, por ter voado parte da sua carreira na aviação comercial, pilotando aeronaves de grande porte, operava sempre sob as regras gerais do RBHA 121.

Dessa forma, em termos de composição de tripulação e de gerenciamento de recursos da cabine (CRM), o piloto sempre teve a carga de trabalho dividida entre a tripulação técnica, piloto e copiloto, bem como, a disponibilidade de tripulantes para atender aos passageiros e pessoal de apoio para efetuar os preparativos de voo, como planejamento do voo, plano de voo, abastecimento, comissaria e outros.

Após estar afastado por um ano da atividade aérea, retornou para voar uma aeronave na aviação privada, operando sob as regras gerais do RBHA 91 que permite o voo conduzido por um único piloto. Assim, nesse tipo de operação ele é o responsável por todos os preparativos do voo, abastecimento, confecção do plano de voo, avaliação da documentação meteorológica, atendimento aos passageiros e por todas as atividades de cabine durante a operação da aeronave.

No relato do piloto, pôde-se notar que a carga de trabalho aumentou consideravelmente à medida que o circuito de tráfego para pouso estava conturbado devido às condições meteorológicas adversas, à mudança de cabeceira para pouso, à visibilidade da pista, às aeronaves para pouso e ao gerenciamento da sua aeronave e do seu voo. Sendo assim, essas condições, possivelmente, influenciaram diretamente a tomada de decisão, uma vez que poderia ter decidido seguir para o aeródromo de alternativa, em face das condições meteorológicas adversas.

Com a deterioração rápida das condições meteorológicas e a presença de outras aeronaves no sequenciamento para o pouso, a carga de trabalho do piloto estava elevada. Foi alegado pelo piloto que, caso arremettesse e se deparasse com a forte chuva, teria que entrar novamente na condição de voo por instrumentos, enfrentando uma nova situação e a necessidade de coordenação para novo circuito de tráfego e pouso em outra localidade.

O fato de o piloto estar considerando para o pouso um vento diferente daquele informado pela torre de controle, mostra questões no gerenciamento das informações para a consecução adequada das atividades de cabine, uma vez que, também, não considerou o auxílio das informações disponíveis na aviônica da aeronave, na qual é informada a direção e a intensidade do vento.

Em condições de emergência e/ou críticas, como foi o caso, a carga de trabalho (*work load*) aumenta consideravelmente e, se o piloto, por mais experiente que seja, não receber o treinamento adequado na operação dos equipamentos e sistemas da aeronave com a devida proficiência no gerenciamento da situação em que se encontrar, terá sua capacidade de gerenciamento, julgamento e tomada de decisão comprometida.

Dessa forma, apesar de experiente, como o piloto tinha somente 22 horas na aeronave, a adaptação à nova aviônica, naquele momento, pode ter contribuído, também, para o aumento da carga de trabalho no gerenciamento das informações necessárias para o voo.

Sujeito a uma elevada carga de trabalho e com a baixa visibilidade da pista de pouso, o piloto acabou deixando a aeronave ficar acima da rampa de aproximação e acima da velocidade que deveria ser mantida na aproximação final.

Ainda, quando voando sob as regras gerais do RBHA 121, o piloto deve pousar conforme os requisitos do regulamento, com uma margem de 67% a mais na distância requerida para o pouso na condição de pista seca e 92% para pista molhada. Assim, existe margem para possíveis desvios, permitindo pequenas variações na manutenção da exata velocidade de referência e altura na rampa de pouso, bem como um possível retardo na aplicação dos freios ou um arredondamento mais prolongado.

Como o piloto estava acostumado a voar sob essas regras, é possível que tenha sido mais tolerante aos desvios de velocidade e altura por ele cometidos. Quando operando sob as regras do RBHA 91, o pouso é realizado em uma “pista não fatorada”, ou seja, quando calculada a distância requerida para o pouso, “não existe margem alguma para desvios”, pois eles vão impactar diretamente na distância de pouso.

2.2 Programa de treinamento.

O Programa de Treinamento corrente na época em que o piloto realizou sua formação na aeronave e habilitação pela ANAC foi elaborado com base na categoria da aeronave e homologado conforme as regras gerais do RBHA 23, que tem como requisito, na elaboração dos manuais e, conseqüentemente nos dados de desempenho, somente o provimento de informações para o pouso em pista seca.

O programa não compreendia o treinamento específico para pouso em pistas curtas e para as variadas condições de pista, como molhada e contaminada.

O fabricante da aeronave incorporou esse treinamento e, também, as informações para operação em pista molhada e contaminada nos gráficos e tabelas dos manuais da aeronave e no *software* de desempenho, que é parte integrante dos manuais, após esta ocorrência.

Como o piloto, à época da sua formação na aeronave, não realizou o treinamento para pista molhada e/ou contaminada e, apesar da sua grande experiência em aeronaves a jato, existe a possibilidade de esse motivo ter contribuído na não identificação da condição de hidroplanagem e, conseqüentemente, no acionamento indevido do freio de emergência.

Por ocasião da sua formação, o piloto apresentou dificuldade em adaptação à aviônica da aeronave, ficando abaixo da proficiência desejada no simulador, completando o treinamento na própria aeronave.

Como ele tinha apenas 22 horas na aeronave, apesar de ter uma longa experiência de voo e ter passado no cheque da ANAC, é possível que o piloto não tenha conseguido superar todas as dificuldades apresentadas na sua formação, principalmente com respeito ao gerenciamento da carga de trabalho e à capacidade de decisão, considerando a operação com somente um piloto, sob condições meteorológicas adversas e com volume de tráfego aéreo intenso, traduzindo-se por uma carga de trabalho elevada na cabine de comando.

2.3 Aeródromo

A pista do Aeródromo do Campo de Marte, por não possuir um sistema de drenagem de água eficiente, permitia que ficasse contaminada e até alagada rapidamente, quando sujeitada a precipitações fortes.

Como observado, o desnível entre a faixa central e a lateral da pista era pequeno, permitindo que se formasse uma lâmina de água praticamente uniforme em toda a sua superfície.

Foi observado, também, que muitas poças de água permaneceram por muito tempo após ter cessado a chuva, devido à infiltração da água acumulada na área lateral gramada e pelas rachaduras existentes, fato já identificado pela administração do aeródromo, uma vez que estas áreas de empoçamento já estavam devidamente demarcadas com tinta branca.

O acúmulo de água, observado na Ação Inicial da investigação da ocorrência, permite dizer que a pista estava, no momento do acidente, "contaminada" em toda a sua extensão, o que contribuiu para a hidroplanagem e a conseqüente baixa efetividade de frenagem da aeronave.

O permanente acúmulo de água na pista, que é perigoso durante períodos de precipitação, também é prejudicial nos períodos de estiagem, pois faz com que o coeficiente de atrito da pista fique baixo em função do limo e detritos acumulados.

De acordo com os relatórios analisados, foi verificado que o coeficiente de atrito da pista do Aeródromo de Marte estava dentro das especificações técnicas.

Também a falta de informação do controlador para a aeronave sobre as reais condições da pista fez com que a consciência situacional do piloto, para este aspecto, estivesse baixa, à medida que outras aeronaves de menor desempenho haviam pousado.

Como a informação de que a pista encontrava-se alagada e sem condições de operação não chegou à cabine de comando, o piloto não tinha os dados necessários para que fizesse um julgamento coerente e procedesse à tomada de decisão apropriada, que seria de aguardar a melhora das condições de operação da pista e/ou prosseguir para um aeródromo alternativo.

O piloto esclareceu que outras aeronaves no sequenciamento pousaram e a torre de controle passou apenas a informação que a pista estava molhada, julgando que, da mesma maneira, poderia realizar o pouso.

Outra questão a ser considerada, é o fato de a Torre de Controle Marte ter autorizado o pouso de mais duas aeronaves, ainda com a aeronave acidentada na lateral da pista.

A ICA 100-12/2009 – Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo define como Aeródromo Impraticável, aquele cuja praticabilidade das pistas fica prejudicada devido à condição anormal (aeronave acidentada na pista, pista alagada, piso em mau estado etc.), determinando a suspensão das operações de pouso e decolagem.

Apesar de os pousos terem sido coordenados com a Torre de Controle de Marte houve uma condição de perigo, uma vez que a aeronave estava acidentada na lateral direita da pista e deveria haver a presença de pessoas e viaturas nas proximidades.

2.4 Interpretação dos dados

Após a decisão de pousar devido à elevada carga de trabalho, mesmo com a intensa chuva sobre todo o aeródromo, e sem considerar o vento de cauda, a aeronave, ao passar pela linha do metrô, distante 650 metros da cabeceira da pista, estava alta e acima da Vref.

A análise do desempenho dos dados do CMC, estimou que a aeronave tocou a pista com a velocidade de solo igual a 105 nós. O toque deu-se a 65 metros da cabeceira da pista.

O fato de o piloto ter reduzido totalmente a potência dos motores, *flight idle*, a 650 metros antes da cabeceira não corrigiu efetivamente os desvios cometidos na aproximação final e, apesar de ter tocado antes na pista, ainda estava com energia acima do esperado para o pouso.

Calculando a velocidade de entrada em condição de hidroplanagem chegou-se à velocidade de 100 ± 2 nós e velocidade de saída da condição de 87 ± 2 kt.

Portanto, em função do vento de cauda e do desvio da Vref cometido na aproximação final, a aeronave pousou acima da velocidade de entrada em hidroplanagem.

Na condição de hidroplanagem, nesse caso, caracterizada como viscosa, o sistema de freio da aeronave com *anti-skid* liberaria uma pressão mínima suficiente para frenagem sem que ocorresse o travamento das rodas.

Nessa condição, a desaceleração da aeronave seria pequena, explicando, com isso, o comportamento observado e descrito pelo piloto da sensação de não frenagem da aeronave.

A existência de recursos de desaceleração na aeronave, tais como reverso nos motores e superfícies aerodinâmicas tipo *ground spoilers*, não contribuiria para evitar a entrada da aeronave na condição de hidroplanagem, pois estes não afetam a velocidade de entrada em hidroplanagem. Contudo, fariam com que a aeronave desacelerasse mais rapidamente, saindo da condição em um tempo menor.

Após o toque da aeronave no solo, o piloto levou cerca de 2 segundos para aplicar os freios. Com isso, a distância percorrida foi da ordem de 100 metros, uma vez que a velocidade de toque da aeronave foi de 105 nós.

Ainda, após o toque e com a sensação de não desaceleração, o piloto realizou um procedimento não recomendado para o sistema de freio com *anti-skid*, fazendo dois acionamentos no freio normal da aeronave.

Estas interrupções momentâneas de frenagem causaram mais uma perda de, aproximadamente, 100 metros de pista útil para parada da aeronave.

Depois de percorrer 265 metros (em aproximadamente 5 seg) com uma velocidade em torno de 90 nós, o piloto acionou indevidamente o freio de emergência da aeronave travando as rodas do trem de pouso principal.

O freio de emergência foi acionado justamente quando a aeronave estava próxima de sair da condição de hidroplanagem viscosa, atingindo a velocidade de 87 ± 2 kt.

Como o comportamento de frenagem da aeronave já era conhecido pelo piloto, principalmente em condições de pista seca, na qual a sensação de desaceleração somente era significativa abaixo de 80 nós, a baixa consciência situacional fez com que o piloto aplicasse o freio de emergência que, conforme procedimento previsto no QRH (*Quick Reference Handbook*), deveria ser aplicado somente em casos de falha do sistema normal de freios.

O EPB, quando aplicado nas condições de falha do sistema normal de freios, deve ser modulado para que não ocorra o travamento das rodas. Esta instrução, conforme declaração do piloto foi dada ao mesmo por ocasião do treinamento no simulador.

O desgaste dos pneus em uma única área indica que a roda ficou travada em somente uma posição, mostrando que não houve modulação do freio de emergência.

Após o travamento das rodas, a aeronave entra em uma condição de “hidroplanagem a vapor”, que agrava a situação, uma vez que o vapor de água formado entre a pista e o pneu da aeronave faz com que este, mantenha-se em suspensão sobre a lâmina de água, com a ocorrência de reversão da borracha.

As marcas brancas na pista começaram muito sutilmente, depois de 123 metros após o acionamento do EPB, isso porque a temperatura foi aumentando gradativamente até a ocorrência de formação do vapor de água entre o pneu e a lâmina de água, que efetivamente “limpou” a pista de pouso deixando as marcas brancas observadas.

Como a lâmina de água cobria a superfície da pista em toda a sua extensão, a aeronave manteve a condição de “hidroplanagem a vapor e dinâmica” por 585 metros, até a sua parada, que foi a 212 metros do final da pista.

Durante o deslocamento da aeronave por estes 585 metros, com a perda da velocidade, ocorreu a perda da efetividade do leme de direção, único recurso capaz de

manter o controle direcional na condição de hidroplanagem, fazendo com que a aeronave viesse a girar cerca de 110 graus e sair da pista pela sua lateral direita.

Ao sair da pista, a aeronave entrou em uma área gramada encharcada fazendo com que ocorresse a quebra do trem de pouso principal esquerdo, vindo a parar a 180 graus com o sentido original de deslocamento.

Na análise dos gráficos de performance de frenagem, comparando-se as desacelerações das diferentes condições de pista, observa-se que para o caso de pista contaminada os valores são razoavelmente pequenos, fazendo com que a sensação de frenagem da aeronave seja praticamente imperceptível pelo piloto durante todo o deslocamento da aeronave na pista, conforme declarado pelo mesmo.

2.6 Outras considerações

As condições meteorológicas adversas influenciaram na medida que a pista ficou alagada e impraticável devido precipitação de chuva forte (tromba d'água), que interferiu na operação da aeronave e conduziu às circunstâncias anormais.

A legislação brasileira não estabelece como critério a necessidade da existência de equipamentos de medição de quantidade de água da chuva (pluviômetros) nos aeroportos.

Foi identificado que o aeródromo do Campo de Marte não possuía equipamento de medição de quantidade de chuva (pluviômetro). Com a medição, poderia ser definida uma tabela e convertida para uma possível medida de lâmina d'água, definindo-se a condição de operação do aeródromo e passada às aeronaves. Com isso, os pilotos poderiam fazer um julgamento baseado nas informações chegadas à cabine de comando a respeito da lâmina d'água para tomarem a decisão mais coerente e apropriada.

Apesar de o piloto ter informado não ter tido a necessária efetividade nos freios, não foi identificada deficiência no sistema de freios, estando a aeronave em perfeitas condições de operação.

Quanto à sensação descrita pelo piloto, da falta de freios, uma vez que a aeronave encontrava-se numa condição de hidroplanagem, realmente não haveria como ter a controlabilidade, nem a capacidade de atuação dos freios.

3 CONCLUSÃO

3.1 Fatos

- a) o piloto estava com o CCF válido;
- b) o piloto estava com o CHT válido;
- c) o piloto era qualificado e possuía experiência suficiente para realizar o voo;
- d) a aeronave estava com o CA válido;
- e) a aeronave estava dentro dos limites de peso e balanceamento;
- f) o piloto era qualificado e possuía experiência necessária para realizar o tipo de voo;
- g) durante o voo as condições meteorológicas se deterioraram;

- h) ao chegar ao destino, o piloto deparou-se com forte precipitação sobre o aeródromo, que passou operar VFR Especial;
- i) o pouso ocorreu sob chuva forte;
- j) o piloto comandou o freio de emergência, após perceber que não tinha efetividade dos freios;
- k) a aeronave saiu da pista pela lateral direita;
- l) após a saída, ocorreu a quebra do trem de pouso esquerdo;
- m) foi constatado ter havido hidroplanagem;
- n) a aeronave teve danos graves; e
- o) o piloto e os três passageiros saíram ilesos.

3.2 Fatores contribuintes

3.2.1 Fator Humano

3.2.1.1 Aspecto Médico

Nada a relatar.

3.2.1.2 Aspecto Psicológico

3.2.1.2.1 Informações Individuais

Nada a relatar.

3.2.1.2.2 Informações Psicossociais

Nada a relatar.

3.2.1.2.3 Informações organizacionais

Nada a relatar.

3.2.1.3 Aspecto Operacional

3.2.1.3.1 Concernentes a operação da aeronave

a) Condições meteorológicas adversas – contribuiu

A pista ficou alagada e impraticável devido precipitação de chuva forte que interferiu na operação da aeronave e conduziu às circunstâncias anormais.

b) Infraestrutura aeroportuária – contribuiu

Não havia sistema de drenagem eficiente no aeródromo, permitindo que, no momento do acidente, a pista estivesse contaminada em toda sua extensão, o que contribuiu para a hidroplanagem e a consequente baixa efetividade de frenagem da aeronave.

Não havia um procedimento padronizado para a avaliação da pista de pouso quanto à existência de lâmina d'água (molhada ou contaminada) e o seu repasse aos órgãos de tráfego aéreo para que informassem aos pilotos, o que contribuiu para que o piloto não soubesse antecipadamente que a pista estava contaminada.

c) Instrução – contribuiu

O programa de instrução da aeronave não compreendia o treinamento específico para pouso em pistas curtas e para as variadas condições de pista como molhada e contaminada.

d) Julgamento de Pilotagem – contribuiu

O piloto julgou que poderia utilizar os freios da aeronave de maneira diferente do especificado nos manuais, o que contribuiu para o travamento das rodas durante a corrida após o pouso.

3.2.1.3.2 Concernentes aos órgãos ATS

Não contribuiu.

3.2.2 Fator Material**3.2.2.1 Concernentes a aeronave**

Não contribuiu.

3.2.2.2 Concernentes a equipamentos e sistemas de tecnologia para ATS

Não contribuiu.

4 RECOMENDAÇÃO DE SEGURANÇA DE VOO (RSV)

É o estabelecimento de uma ação que a Autoridade Aeronáutica ou Elo-SIPAER emite para o seu âmbito de atuação, visando eliminar ou mitigar o risco de uma condição latente ou a consequência de uma falha ativa.

Sob a ótica do SIPAER, é essencial para a Segurança de Voo, referindo-se a um perigo específico e devendo ser cumprida num determinado prazo.

Recomendações de Segurança de Voo (RSV) emitidas pelo SERIPA IV:**Ao SERIPA IV, recomenda-se:****RSV (A) 12/2010 – SERIPA IV****Emitida em 14/10/2010**

1) Realizar Vistoria de Segurança de Voo Especial no aeródromo de SBMT.

À INFRAERO, recomenda-se:**RSV (A) 13/2010 – SERIPA IV****Emitida em 14/10/2010**

1) Coordenar uma operação de poda de algumas árvores nas laterais da pista de táxi, uma vez que foi constatado que o controlador da TWR Marte não tem condições de controlar visualmente, em parte do táxi, as aeronaves que se encaminham para o ponto de espera e as que estão na posição 3 da pista 12 e prontas para a decolagem, também a partir do meio da pista daquelas que pousam na cabeceira 30.

À EMBRAER, recomenda-se:**RSV (A) 14/2010 – SERIPA IV****Emitida em 14/10/2010**

1) Enfatizar no Programa de Treinamento ministrado aos clientes (pilotos), partes relacionadas à operação em pista molhada, bem como as características de operação da aeronave nesta condição.

RSV (A) 15/2010 – SERIPA IV**Emitida em 14/10/2010**

2) Emitir DIVOP para os operadores de aeronave *Phenom 100*, considerando as recomendações da *State Letter* emitida pela EMBRAER.

Recomendações de Segurança de Voo emitidas pelo CENIPA:**À Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), recomenda-se:****RSV (A) 141 / 2012 – CENIPA****Emitida em: 22/03/2012**

1) Realizar uma avaliação das condições de escoamento de água da pista de pouso do Aeroporto de Campo de Marte - SBMT, visando verificar se atende aos requisitos aplicáveis.

RSV (A) 142 / 2012 – CENIPA**Emitida em: 22/03/2012**

2) Realizar estudo, juntamente com o DECEA e a INFRAERO, quanto à viabilidade de se instalar nos aeroportos equipamentos de medição de quantidade de chuva (pluviômetros), bem como criar uma tabela de conversão de medida para o estabelecimento da lâmina d'água baseado no índice de precipitação, coordenar a difusão da informação e ainda estabelecer a regulamentação necessária.

À Air Minas Linhas Aéreas, recomenda-se:**RSV (A) 143 / 2012 – CENIPA****Emitida em: 22/03/2012**

1) Reforçar em seu Programa de Treinamento para pilotos a operação em pistas curtas e em condições meteorológicas adversas, dando especial atenção ao adequado uso dos freios da aeronave e ao cálculo da distância de pouso nos casos de pista molhada e contaminada.

Ao DECEA, recomenda-se:**RSV (A) 144 / 2012 – CENIPA****Emitida em: 22/03/2012**

1) Avaliar os procedimentos previstos de operação da Torre de Controle do Campo de Marte no tocante à presença de aeronave acidentada próxima à pista de pouso.

Aos SERIPA 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, recomenda-se:**RSV (A) 145 / 2012 – CENIPA****Emitida em: 22/03/2012**

1) Divulgar os ensinamentos deste relatório em sua área de atuação durante a realização de seminários, palestras e atividades afins.

5 AÇÃO CORRETIVA OU PREVENTIVA JÁ ADOTADA

A EMBRAER, em 10MAR2010 realizou, via *internet*, uma reunião dos operadores de *PHENOM100*, destacando pontos importantes na operação dessa aeronave.

6 DIVULGAÇÃO

- Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)
- Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO)
- Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER)
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA)
- Air Minas Linhas Aéreas
- Associação Brasileira de Aviação Geral (ABAG)

–Associação de Pilotos e Proprietários de Aeronaves (APPA)

–SERIPA 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7

7 ANEXOS

Não há.

Em, 22 / 03 / 2012