



Boletim Especial de Aeronavegabilidade (*Special Airworthiness Bulletin*)

ATA: 30 – Proteção contra chuva e gelo

BEA Nº 2023-03

Assunto: Operação em condições de gelo – correto **Data:** 12 de maio de 2023
atendimento aos procedimentos

1. INTRODUÇÃO

Este Boletim Especial de Aeronavegabilidade (BEA) tem por objetivo fornecer orientações aos operadores e proprietários da aeronave Embraer EMB-500 a respeito do sistema de proteção contra gelo e um alerta para a importância da adoção correta dos procedimentos estabelecidos pelo fabricante.

Este documento possui recomendações de caráter informativo e não mandatórias, desta forma, até o presente momento não se justifica a emissão de uma Diretriz de Aeronavegabilidade de acordo com os requisitos do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) Nº 39.

Fabricante: Embraer

Produtos Aeronáuticos Afetados: Aviões modelo EMB-500

2. HISTÓRICO

2.1 Acidente em Le Bourget, França

Em 08 de fevereiro de 2021 ocorreu um acidente com um avião Embraer EMB-500 (denominação comercial Phenom 100) em um voo de Veneza, Itália com destino a Le Bourget, França. O relatório associado ao evento foi publicado pelo BEA (*Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile*).

Os dados da investigação indicam que a tripulação selecionou as velocidades para pouso, consistente com o manual de referência (QRH – *Quick Reference Handbook*), para operações sem condições de gelo, em que o sistema de degelo das asas e estabilizador está desligado.

Antes de iniciar a descida para o aeroporto de destino, a tripulação recebeu informações sobre as condições meteorológicas, tendo ciência de condições severas de gelo entre 3.000 e 5.000 pés.

A aproximação foi realizada seguindo os procedimentos normais de acordo com as instruções do fabricante do avião, para aproximações sem condições de gelo. Nessa condição, a velocidade de aproximação selecionada ficou 22 nós abaixo da velocidade de aproximação em condições de gelo e, de acordo com o fabricante, muito próxima da velocidade de estol quando existe contaminação por gelo.

Em 3.000 pés, a tripulação ativou o sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal (*WINGSTAB de-ice*) por um período de 21 segundos, que corresponde a um ciclo de

degelo. A tripulação indicou que observou através da janela da cabine que o gelo havia se partido e desativaram o sistema sem voltar a ligá-lo novamente para o restante do voo.

Na aproximação final a velocidade reduziu, o ângulo de ataque aumentou de 10 para 28° e o alarme de estol foi anunciado. Nessa configuração do avião, com o sistema de degelo das asas e estabilizador ativado, o alarme de estol seria anunciado com um ângulo de ataque de 9,5°. Houve estol do avião com um ângulo de rolagem de aproximadamente 10°, seguido de um pouso duro na pista e subsequente quebra do trem de pouso principal direito e do trem de pouso de nariz.

A investigação identificou a presença de gelo nas asas e no estabilizador horizontal após o acidente, indicando que a desativação do sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal pode ter levado à nova formação de gelo no final da aproximação ou que o sistema não ficou ativado pelo tempo suficiente para que toda a formação de gelo nas asas e estabilizador horizontal quebrasse completamente.

Entre as hipóteses para que o sistema não tenha sido novamente ligado estão: possível dificuldade em se identificar a contaminação por gelo em uma condição de baixa luminosidade e nuvens; possibilidade de a tripulação não ter permanecido monitorando a asa; ou a tripulação ter identificado a formação de gelo e subestimado sua consequência.

2.2 Acidente em Gaithersburg, Maryland, EUA

Em 08 de dezembro de 2014, um avião Embraer EMB-500 operado pela Sage Aviation LLC caiu durante a aproximação para a pista do aeroporto de Gaithersburg, Maryland. A investigação do acidente foi conduzida pelo *National Transportation Safety Board* (NTSB).

Os dados da investigação indicam que a tripulação selecionou as velocidades para pouso, consistente com o manual de referência QRH, para operações sem condições de gelo, em que o sistema de degelo das asas e estabilizador está desligado.

Dados de gravação do avião mostram que a temperatura total de ar ficou abaixo de 10° C quando o avião estava em 6.000 pés e abaixo de 5° C quando estava em 5.000 pés. Relatos de pilotos indicam que havia presença de nuvens e o passageiro sentado no assento de copiloto indicou a presença de neve próximo ao aeroporto. A investigação concluiu que o avião operou por diversos minutos em temperaturas baixas e com presença de umidade visível, condição em que a formação de gelo é prevista, sem ligar qualquer sistema de proteção contra gelo.

Na aproximação final a velocidade começou a reduzir e o ângulo de ataque aumentar. Em aproximadamente 300 pés o alarme de estol foi anunciado pela primeira vez quando o ângulo de ataque chegou a 21° e permaneceu sendo anunciado por diversas vezes. Nessa configuração do avião, com o sistema de degelo das asas e estabilizador ativado, o alarme seria anunciado com um ângulo de ataque de 9,5°. Houve oscilação do ângulo de rolagem até que atingiu 100° a direita e continuou até um valor aproximado de 154,5°. O avião se chocou com três casas e houve incêndio na aeronave e em uma das casas, após o impacto.

2.3 Acidente em Berlim, Alemanha

Em 15 de fevereiro de 2013 ocorreu um acidente envolvendo um avião Embraer EMB-500 em um voo de Welvelgem, Bélgica com destino à Berlim, Alemanha. A investigação do acidente foi conduzida pela BFU (*Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung - German Federal Bureau of Aircraft Accident Investigation*).

Os dados da investigação indicam que a tripulação selecionou as velocidades para pouso, consistente com o manual de referência QRH, para operações sem condições de gelo, em que o sistema de degelo das asas e estabilizador está desligado.

Quando o avião passou por 9.700 pés durante a descida, os pilotos verificaram o checklist e concluíram que as velocidades de pouso deveriam ser consistentes com a condição sem gelo porque não havia sinais de umidade.

Os dados meteorológicos mostram que havia uma condição de gelo moderada abaixo de 3.000 pés, com nuvens entre 1.400 pés e 3.000 pés, mas apenas os sistemas de proteção contra gelo dos motores e para-brisa foram ativados. Os dados de gravação do avião indicam uma temperatura aproximada de $-1,5^{\circ}$ C quando a aeronave voava no topo da nuvem (3.000 pés). Nesta condição, o avião iniciou a descida abaixo de 3.000 pés entrando na nuvem com apenas o sistema de proteção contra gelo do motor e do para-brisa ativados. O sistema de degelo das asas e estabilizador não foi ativado, mesmo com temperatura baixa e umidade visível, pois os pilotos se basearam apenas na identificação visual de gelo na asa.

Na aproximação final a velocidade começou a reduzir e o ângulo de ataque aumentou, atingindo $17,2^{\circ}$. A aeronave começou a rolar para esquerda atingindo um ângulo de rolagem de 30° . A asa esquerda tocou a pista, levando a aeronave a rolar para a direita e houve o pouso duro com o trem de pouso principal direito. O trem de pouso fraturou e a aeronave deslizou ao longo da pista.

A investigação apontou para a presença de gelo nas asas e no estabilizador horizontal após o acidente.

3. EFEITOS DA FORMAÇÃO DE GELO EM AVIÕES

O objetivo deste BEA não é revisar todos os efeitos de gelo. A ANAC recomenda o curso disponível pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em <https://aircrafticing.grc.nasa.gov/index.html> para uma visão bastante abrangente do tema. Aqui serão revisados apenas os conceitos mais importantes utilizando figuras desta referência.

Conforme mostrado na Figura 1, a formação de gelo diminui tanto o ângulo de ataque para ocorrência de estol quanto a sustentação máxima que o aerofólio é capaz de causar. Por isso, a velocidade de estol aumenta.

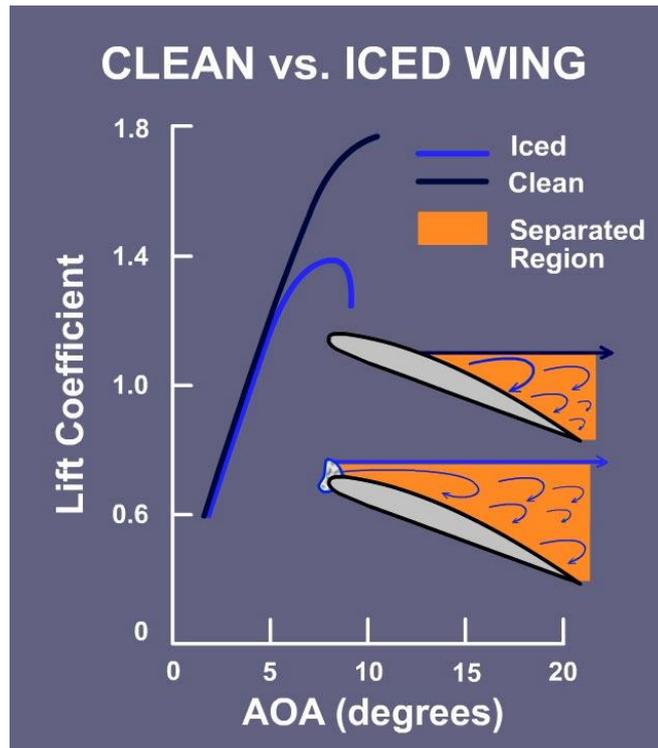


Figura 1: Efeito da formação de gelo no aerofólio. Fonte: <https://aircrafticing.grc.nasa.gov/>

4. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA GELO

O sistema de proteção contra gelo do avião EMB-500 consiste em:

- Sistema de proteção contra gelo térmico para a entrada de ar dos motores;
- Sistema de aquecimento elétrico para o para-brisa; e
- Sistema pneumático para as asas e estabilizador horizontal. O sistema pneumático consiste em *boots* infláveis para quebra do gelo que pode se formar no bordo de ataque das asas e estabilizador horizontal. Quando o sistema está ativado, os *boots* para degelo são inflados por 5 segundos a cada minuto, utilizando ar de sangria dos motores e são então desinflados para quebra do gelo formado no bordo de ataque das asas e estabilizador horizontal.

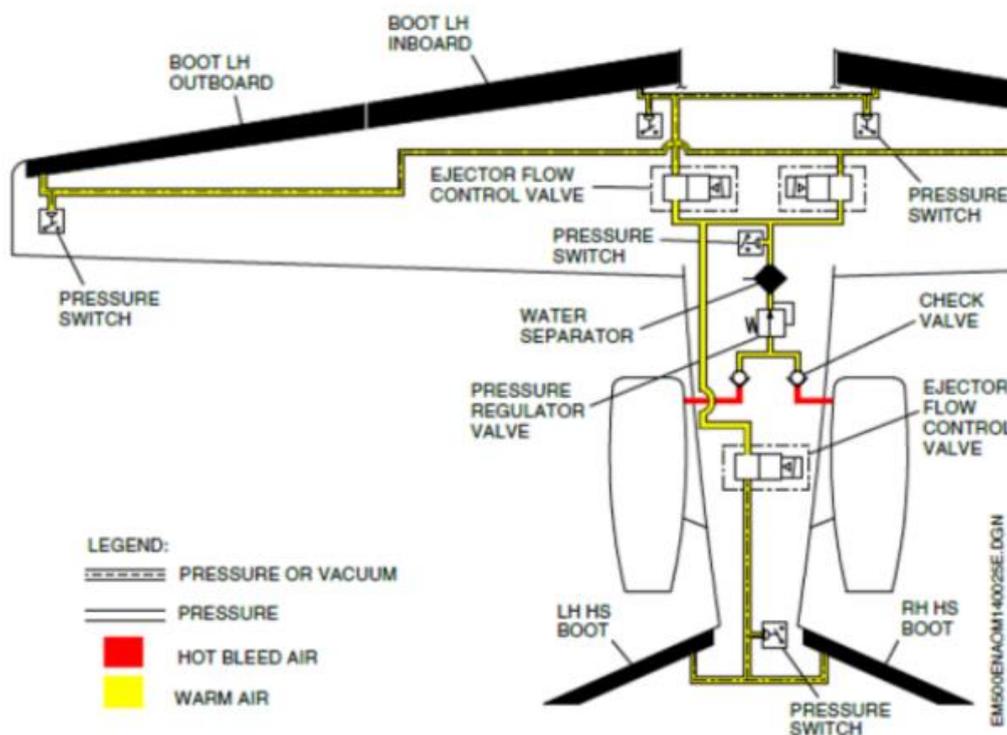


Figura 2 – Diagrama do sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal

5. SISTEMA DE ALERTA E PROTEÇÃO CONTRA ESTOL

No avião EMB-500 o sistema de alerta e proteção contra estol consiste em:

- Alerta à tripulação de um estol iminente através da ativação do alerta aural “*STALL, STALL*” e a indicação no Display Primário de Voo (*PFD - Primary Flight Display*) através das faixas amarela e vermelha nas indicações de velocidade
- Ativação do *stick pusher* quando o avião está em condições próximas ao estol

O Sistema de alerta e proteção contra estol é baseado no ângulo de ataque. A ativação do *stick pusher* e as faixas vermelha e amarela nas indicações de velocidade, assim como o alerta aural “*stall, stall*”, ocorrem quando os correspondentes limites de ângulo de ataque são atingidos, considerando a configuração específica do avião.

Entretanto, para a mesma configuração de aeronave, mas com o sistema de degelo das asas e estabilizador ativados, os limites de ângulo de ataque para ativação do sistema de alerta e proteção contra estol são menores e, portanto, as velocidades correspondentes são maiores. Esta característica de projeto protege a aeronave do efeito da formação de gelo já visto na Figura 1. Este ajuste é apresentado à tripulação através da mensagem *CAS advisory SWPS ICE SPEED*.

6. PROCEDIMENTOS ESTABELECIDOS NO MANUAL DE VOO E SUA RELAÇÃO COM A CERTIFICAÇÃO DA AERONAVE

6.1 Ativação do sistema

A seção de limitações e procedimentos normais do manual de voo do avião EMB-500 indicam que, durante a descida e aproximação, os pilotos devem verificar quando condições de gelo podem existir. Se a temperatura total do ar (*TAT – Total Air Temperature*) estiver abaixo de 10° C e com umidade visível, o sistema de proteção contra gelo do motor deve ser ativado. Ao primeiro sinal de formação de gelo em qualquer parte do avião ou quando TAT estiver abaixo de 5° C e com umidade visível, devem ser ativados os sistemas de proteção do motor, para-brisa e das asas e estabilizador.

A seção de limitações do manual de voo estabelece que condições de gelo podem existir quando TAT estiver a 10° C ou abaixo e umidade visível (como nuvens, neblina com visibilidade de uma milha ou menos, chuva, neve, granizo ou cristais de gelo). O manual de voo determina que os sistemas devem ser ativados quando o avião estiver nas condições em que pode haver a formação de gelo.

AFTER TAKEOFF/CLIMB, CRUISE, DESCENT OR APPROACH

The crew must activate the ice protection system when flying in icing conditions or if icing conditions are forecasted as follows:

If TAT is between 5°C and 10°C with visible moisture:

ENG 1 & 2 Switches ON

WINGSTAB Switch OFF

WSHLD 1 & 2 Switches OFF

The CAS messages A-I E1 (2) ON must be displayed after a delay of approximately 10 seconds.

If TAT is below 5°C with visible moisture, or at the first sign of ice accretion anywhere on the airplane, or ICE CONDITION message (if applicable) is displayed, whichever occurs first:

ENG 1 & 2 Switches ON

WINGSTAB Switch ON

WSHLD 1 & 2 Switches ON

The CAS messages A-I E1 (2) ON, D-I WINGSTB ON and SWPS ICE SPEED must be displayed after few seconds.

Figura 3 – Extrato do manual de voo na seção “Procedimentos normais”

Aqui é importante destacar que havia um entendimento antigo que, em aeronaves com sistema de boots, seria necessário aguardar uma formação de gelo mínima antes de acionar o sistema. Estudos confirmam que esse problema NÃO EXISTE em boots modernos, como é destacado pela NASA em seu curso (https://aircrafticing.grc.nasa.gov/1_1_3_7.html).

Desta forma, é muito importante que não haja qualquer atraso na ativação do sistema. A ativação do sistema de degelo das asas e estabilizador, conforme os procedimentos estabelecidos pelo fabricante da aeronave, é fundamental para que o sistema de alerta e proteção contra estol previna contra uma condição perigosa de estol.

6.2 Desativação do sistema

Ainda de acordo com o AFM, após a saída da condição de umidade visível ou da faixa de temperatura, os sistemas podem ser desligados, contanto que a tripulação tenha certeza de que não existe nenhuma formação de gelo nas asas, conforme é indicado na seção de Procedimentos Normais no manual de voo.

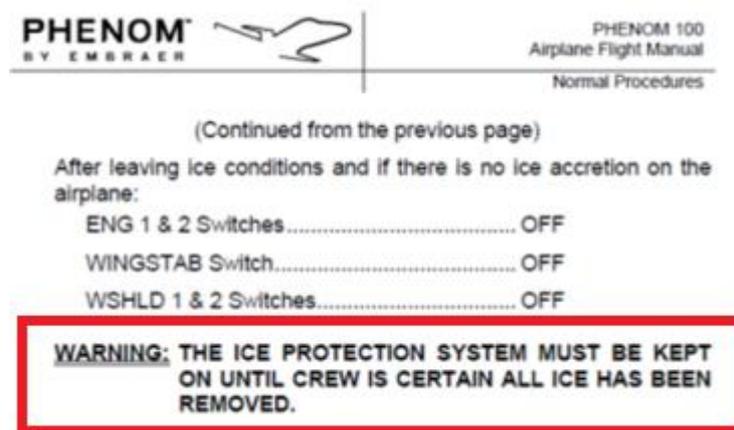


Figura 4 – Extrato do manual de voo na seção “Procedimentos normais”

A parte destacada acima é fundamental. Enquanto a aeronave está em condições de formação de gelo, o sistema de proteção irá minimizar o acúmulo de gelo nas áreas protegidas. Minimizar, entretanto, não significa eliminar completamente. Além disso, existem muitas partes da aeronave que não são protegidas, como as raízes e pontas de asa. Assim, ao sair de uma condição de gelo, é possível que ainda exista gelo na aeronave. Por isso, o sistema de proteção de estol ainda deve ser mantido na configuração de gelo (SWPS ICE SPEED) o que, no projeto do Phenom 100, significa manter o sistema de degelo ligado.

Existem algumas condições em que se há uma confiança grande que o gelo foi removido da aeronave. O exemplo mais comum é o caso em que a aeronave decola de um local frio e se dirige até um aeroporto em que a temperatura é positiva em camadas ainda altas da atmosfera. Um exemplo típico seria um voo entre Nova York e Miami em determinadas épocas do ano.

Nestes casos, não faz sentido ter a penalização de desempenho associada ao ajuste de gelo do sistema de proteção contra estol e, por isso, o manual permite que o sistema de

proteção seja desligado e, conseqüentemente, a proteção contra estol reajustada para a configuração sem gelo.

Assim, o sistema NÃO DEVE ser desligado em pousos em condições em que se há dúvidas da formação de gelo, como os casos em que os acidentes foram reportados.

Note que algumas aeronaves, como o Phenom 300 (EMB 505), permitem que o sistema de proteção contra gelo seja desligado sem que o sistema de proteção contra estol seja reconfigurado para a condição de aeronave sem gelo. Isso NÃO é possível no Phenom 100 e, por isso, o sistema de proteção contra gelo deve ser mantido ligado, com a mensagem SWPS ICE SPEED à vista, até que se haja confiança que não há gelo acumulado na aeronave.

7. DESEMPENHO DA AERONAVE

Com o sistema de degelo das asas e estabilizador ativado, os limites de ângulo de ataque para ativação do sistema de alerta e proteção contra estol são menores e as velocidades correspondentes são maiores. Conseqüentemente, as velocidades para aproximação e pouso são maiores, afetando a distância de pista requerida.

Essa perda de desempenho é usualmente maior em aeronaves equipadas com *boots* pois é natural a maior formação de gelo residual no bordo de ataque mesmo com o sistema funcionando adequadamente. No caso de sistemas de proteção térmicos, em geral o bordo de ataque se mantém mais limpo, apesar de haver a possibilidade de formação de gelo após a área protegida (por exemplo, o chamado *runback ice*). Veja a comparação na figura 5 a seguir:

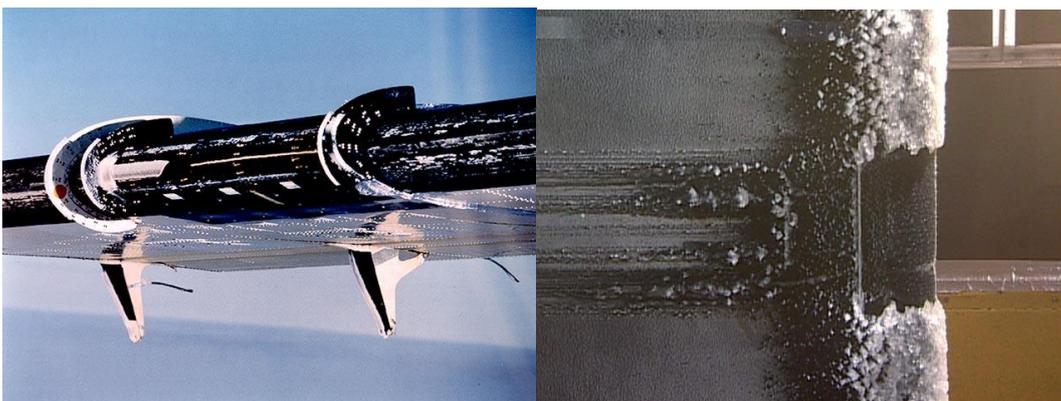


Figura 5: Gelo residual em sistema de boots (esquerda) e gelo de runback no caso de sistema de proteção térmico (direita). Fonte: <https://aircrafticing.grc.nasa.gov/>

Sendo assim, os requisitos de certificação para aeronaves equipadas com boots exigem a avaliação do controle do avião com uma contaminação por gelo em geral mais severa, o que leva o limite do ângulo de ataque a valores menores, resultando assim em velocidades mais altas para aproximação e pouso.

Adicionalmente, a extração de ar de sangria dos motores para o sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal resulta em uma perda de desempenho para a arremetida com um motor falhado, o que também pode impossibilitar o pouso no aeroporto de destino inicial

A ANAC alerta quanto ao risco associado para os pilotos que desligam os sistemas de proteção contra gelo, em desacordo com os procedimentos estabelecidos pelo fabricante. O não atendimento aos procedimentos, devido à tentativa de evitar o desvio a um aeroporto alternativo, compromete diretamente a segurança da operação, pois pode levar a um estol sem nenhum alerta. A ANAC ressalta que acidentes já ocorreram em decorrência da falta de aderência aos procedimentos estabelecidos pelo fabricante, conforme descritos na seção 2 deste BEA.

8. RECOMENDAÇÕES:

A ANAC alerta quanto à necessidade de se adotar os procedimentos estabelecidos pelo fabricante do avião, a fim de evitar formações de gelo não detectáveis, que podem levar a um estol sem alerta, no caso do Phenom 100:

- 8.1 Os sistemas de proteção contra gelo devem ser sempre ativados de acordo com as condições de temperatura e na presença de umidade visível, conforme definido no manual de voo do avião
- 8.2 Os sistemas de proteção contra gelo podem ser desativados apenas após a aeronave estar fora da condição em que pode existir gelo (temperatura e umidade visível) e se o piloto estiver seguro de que não há nenhuma formação de gelo no avião;
- 8.3 Sempre que houver encontro com condições de gelo, as velocidades de pouso devem ser correspondentes à configuração com sistema de proteção contra gelo ligado, exceto se, após a saída da condição de gelo, o piloto puder se certificar que não há nenhuma formação de gelo no avião.
- 8.4 Os sistemas não podem ser desligados para evitar uma penalização de desempenho do avião.
- 8.5 A ANAC recomenda que proprietários ou operadores fiquem cientes do vídeo informativo produzido pela Embraer

A ANAC ressalta que todos os aviões EMB-500 com Garmin 3000 instalado possuem um detector de gelo instalado como equipamento padrão. Aviões EMB-500 com Garmin 1000 instalado possuem o detector de gelo como opcional. O sistema de detecção de gelo facilita a identificação de condições de gelo, mas é responsabilidade primária da tripulação determinar a ativação e desativação do sistema de proteção contra gelo.

9. MAIS INFORMAÇÕES

9.1 A Embraer produziu um vídeo para orientar pilotos sobre o voo em condições de gelo. <https://www.youtube.com/watch?v=1EftwCgj3VM>

9.2 A NASA apresenta cursos online com diversas orientações para pilotos sobre formação de gelo. <https://aircrafticing.grc.nasa.gov/index.html>

Documentos de Referência:

1. BEA Report “Stall on short final in icing conditions, hard landing, rupture of main landing gear and nose gear, fire, runway veer-off”, disponível em https://bea.aero/fileadmin/user_upload/9H-FAM_EN.pdf
2. NTSB Report “Aerodynamic stall and loss of control during approach – Embraer EMB-500, N100EQ - Gaithersburg, Maryland – December 8, 2014”, disponível em <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1601.pdf>
3. BFU Report CX001-13, disponível em https://www.bfu-web.de/EN/Publications/FinalReports/2013/Report_13_CX001_EMB500_Berlin-SchF.pdf?__blob=publicationFile&v=1
4. Manual de voo da aeronave EMB-500

Para maiores informações contatar

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)
Gerência Técnica de Aeronavegabilidade Continuada (GTAC)
Rua Doutor Orlando Feirabend Filho, nº 230
Centro Empresarial Aquáriu - Torre B - 14º ao 18º andares
Parque Residencial Aquáriu
12246-190 – São José dos Campos – SPE-mail: pac@anac.gov.br