

# A Formação de Gelo em Aeronaves (FGA)

## Descomplicada

### Conheça e esteja preparado!

*Uma curiosidade: nesta capa, o produto de FGA baseado em satélite, processado em 02 de agosto de 2011, mostrou nuvens estratiformes, as realçadas em azul, com potencial de FGA, moderada a severa, sobre várias regiões do Brasil e da América do sul. Nesse dia, três aeronaves da FAB (2 Caravan e 1 Helicóptero) sofreram FGA quando voavam na FIR-CW.*

Por Cap Esp Met Brandão\*

## Um guia para pilotos

\*o autor é Oficial Especialista em Meteorologia Aeronáutica. Serve atualmente no Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica (CNMA/CINDACTA I), como previsor e Chefe da Seção de Meteorologia de Defesa. Possui Mestrado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com linha de pesquisa em Sensoriamento Remoto da Atmosfera. No Brasil, foi pioneiro em estudo científico sobre a Formação Gelo em Aeronaves.

Setembro de 2016

## 1 UMA BREVE INTRODUÇÃO

Prezado Piloto, para gerenciar efetivamente os riscos de voar em condições de Formação de Gelo em Aeronaves (FGA), é recomendável ter conhecimento suficiente sobre o fenômeno, para verificar quando e onde ele pode ser encontrado, e como tal fenômeno pode afetar a sua aeronave.

É interessante ressaltar que, em âmbito mundial, a FGA foi responsável pelo maior número de acidentes aeronáuticos. No Brasil, foram registrados, nos últimos anos, um elevado número de reportes de formação de gelo em aeronaves, com intensidade moderada e/ou severa, tendo muitos pilotos a necessidade de escapar das nuvens com potencial de FGA, fins de manter a segurança de voo.

Nesse guia, nós vamos abordar diversos tópicos, essenciais para que você possa realizar um voo com mais segurança. Esteja mais seguro com essa rápida leitura.

## 2 CONHECENDO A FGA

A FGA é a ocorrência de congelamento de gotículas de nuvem e/ou gotas de precipitação congelante sobre partes da estrutura aerodinâmica ou nos sistemas de ar e/ou combustível de uma aeronave em voo ou no solo. Da mesma forma que o cumulonimbus (CB) e a Turbulência em Ar Claro (TAC), a FGA pode representar um sério perigo à atividade aérea. Muitas aeronaves civis e militares voam acima dos limiares de temperatura para a presença de FGA. Todavia, as condições potenciais podem ser encontradas durante todas as fases do voo de subida, descida ou em situações de espera em voo (órbita), muitas vezes determinada por órgão de controle de tráfego aéreo, em virtude de excesso de tráfego nos aeroportos.

Tipicamente, os cenários de FGA (de nuvens estratiformes) são mais frequentes no outono e inverno, por apresentarem a presença de massas de ar frio atuando. Vale lembrar que as nuvens TCU e CB sempre poderão provocar FGA severa, pois o tamanho das gotículas desses tipos de nuvens são bem maiores que os das nuvens estratiformes.

Os sistemas meteorológicos que mais podem favorecer à FGA no Brasil são:

- 1- o lado frio de uma frente quente;
- 2- o lado frio de uma frente fria;
- 3- o lado frio de um ciclone extratropical; e
- 4- nuvens extensas da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

<b>Regra de Ouro nº 1</b>
<b>Se:</b> For voar ao longo de uma frente quente.
<b>Ação:</b> Se possível cruze a frente quente numa direção mais transversal. Voe no lado quente.
<b>Dicas:</b> Verifique as previsões disponíveis.
<b>Por quê:</b> Para diminuir a exposição da aeronave ao risco.

<b>Regra de Ouro nº 2</b>
<b>Se:</b> For voar ao longo de uma frente fria.
<b>Ação:</b> Se possível cruze a frente fria numa direção mais transversal. Ao cruzar, tome cuidado com as formações convectivas. Desvie utilizando radar meteorológico de bordo, se disponível. Voe no lado quente.
<b>Dicas:</b> Verifique as previsões disponíveis.
<b>Por quê:</b> O levantamento vertical da rampa frontal fria pode favorecer a severas condições de FGA.

### 3 O IMPACTO DA FGA

A FGA oferece efeitos desfavoráveis sobre os voos. Quando a FGA ocorre com intensidade severa, os pilotos em comando geralmente são obrigados a mudar de rota e/ou de nível de voo, com o escopo de minimizar os impactos causados na aerodinâmica da aeronave.

O gelo quando formado na estrutura da aeronave pode destruir o suave fluxo do ar e, conseqüentemente, aumentar (diminuir) o arrasto (a sustentação) do voo, podendo também causar problemas de controle da aeronave. Sob condições de FGA, moderada a severa, principalmente em uma aeronave de pequeno porte, a continuidade do voo pode se tornar impossível. A Figura 1 mostra o balanço de forças em uma aeronave.





**Figura 1: Esquema mostrando o balanço de forças que atuam sobre uma aeronave em voo.**  
**Fonte: NASA (2010).**

#### **4 O RISCO DE FGA**

A temperatura da nuvem é um parâmetro relevante para a formação de gelo em aeronaves, já que significativa formação ocorre somente em nuvem ou precipitação compostas de gotículas super-resfriadas. Ao voar dentro de nuvem ou sob precipitação congelante, o piloto deve verificar a temperatura estática (SAT) para saber se está em uma camada super-resfriada com potencial de FGA. O Fenômeno é mais frequente quando a temperatura estática está entre  $+2^{\circ}\text{C}$  e  $-20^{\circ}\text{C}$ , embora possa ocorrer fora desse intervalo, conforme mostra a Tabela 1, que esboça o risco por tipo de nuvem. É isso mesmo! Mesmo voando sob temperatura positiva (entre  $+2^{\circ}\text{C}$  e  $0^{\circ}\text{C}$ ) é possível formar FGA, pois as gotículas ao se chocarem na estrutura da aeronave, perdem calor e podem se congelar.

Outra variável a ser considerada é a temperatura da superfície da aeronave. Para que haja a formação de significativa quantidade de gelo em aeronaves, além da presença de água líquida super-resfriada, a superfície da aeronave deve estar mais fria que  $0^{\circ}\text{C}$ .

A quantidade do gelo formado na superfície da aeronave depende do tempo de

exposição, da densidade de água líquida super-resfriada presente e da eficiência de coleta. Um aumento nessa eficiência de coleta está relacionado diretamente ao aumento da velocidade da aeronave e ao tamanho das gotículas.

<b>Nuvens cumuliformes (TCU, CB)</b>	<b>Nuvens estratiformes</b>	<b>Chuva ou chuveiro</b>
0°C a -20°C	<b>Risco Alto</b> 0°C a -15°C	0°C e abaixo
-20°C a -40°C	<b>Risco Médio</b> -15°C a -30°C	
<-40°C	<b>Risco Baixo</b> <-30°C	

**Tabela 1: Risco de FGA por tipo de nuvem e faixa de temperatura.**  
**Fonte: CIVIL AVIATION AUTHORITY (2000).**

## **5 A INTENSIDADE DA FGA**

A severidade da FGA é dependente do tipo da aeronave. As aeronaves que possuem bordos de ataque menos espessos são acumuladores de gelo mais eficientes. Por essa razão, aerofólios menores e/ou menos espessos podem sofrer acumulação de gelo mais rapidamente do que os aerofólios maiores e/ou mais espessos. Com isso, uma aeronave comercial de grande porte terá, proporcionalmente, menor FGA do que uma aeronave de pequeno porte, cruzando o mesmo ambiente favorável à ocorrência de FGA.

A FGA pode ser classificada como severa quando a taxa de acumulação é tal que os equipamentos antigelo e degelo se tornam ineficazes.

## 6 TIPOS DE FGA

A FGA pode ocorrer nas seguintes formas: gelo claro (tipo transparente), escarcha (tipo opaco) ou gelo misto. O gelo claro é o tipo mais perigoso e geralmente ocorre associado a nuvens cumuliformes, que apresentam gotículas grandes, ou à precipitação congelante; essa devido à presença de nimbostratus (NS). O tipo escarcha geralmente ocorre associado a nuvens estratiformes, que, ao contrário das cumuliformes, apresentam gotículas menores, sendo seu impacto na aerodinâmica da aeronave menos significativo. Já o gelo misto surge em face da variação do tamanho das gotículas de nuvens, sendo uma mistura entre o tipo claro e o opaco. Em geral, o gelo misto está relacionado às nuvens médias, altostratus (AS) e altocumulos (AC), oferecendo impacto moderado.

<b>Regra de Ouro nº 3</b>
<b>Se:</b> Encontrar FGA em nuvens estratiformes
<b>Ação:</b> Imediatamente ative o sistema de proteção caso não esteja ativado. Monitore a situação. Mude sua altitude em pelo menos 3000FT.
<b>Dica:</b> Camadas extensas com pouco desenvolvimento vertical.
<b>Por quê:</b> Voo em nuvens estratiformes extensas, com potencial de FGA, aumentam a exposição da aeronave às condições de FGA. Uma mudança de 3000FT na altitude, geralmente livrará seu voo dos impactos da FGA, mesmo se a aeronave ainda permanecer dentro da nuvem.

<b>Regra de Ouro nº 4</b>
<b>Se:</b> A temperatura (SAT) estiver entre +2°C e -20°C e você consegue manter a separação visual das nuvens.
<b>Ação:</b> Voe lateralmente em volta das nuvens cumulus.
<b>Dica:</b> Formação de nuvens com extenso desenvolvimento vertical.
<b>Por quê:</b> FGA provocada por nuvens cumuliformes (TCU e CB) geralmente são de curta duração, mas podem de intensidade muito severa e oferecer um alto risco para a segurança de voo.

## **7 COMO EVITAR AS CONDIÇÕES DE FGA**

O SISCEAB, por intermédio de seu subsistema de Meteorologia Aeronáutica, oferece produtos que reportam, quando for o caso, a presença, observada ou prevista, de nuvens com potencial de FGA. Todos esses produtos são disponibilizados na REDEMET.

Para o planejamento do seu voo, verifique na carta de previsão de tempo significativo (SIGWX) se há a previsão de FGA e também selecione, na REDEMET, o caminho Modelos – WAFS, e escolha como produto o Potencial de Formação de Gelo em Aeronaves. Preferencialmente, selecione as rodadas 00Z ou 12Z mais recentes. Escolha a área e os níveis de voo.

Consulte antes da decolagem e/ou em voo, neste caso via VOLMET, se foi emitido algum SIGMET ou AIRMET de FGA (ICE será a linguagem utilizada nesses produtos).

Para uma operação mais específica ou para obter mais detalhes, não hesite em fazer contato com um Oficial Previsor de Serviço, via canal HelpMet das Salas de Informações Aeronáuticas.

Verifique também:

- 1- se existe frente fria e para onde ela está se deslocando;
- 2- as alturas da base e do topo das nuvens;
- 3- se são nuvens frontais ou de uma mesma massa de ar;
- 4- quais são as rotas alternativas e rotas para escapar das condições;
- 5- se existe AIREP reportando FGA (aparecerá o termo ICE na mensagem AIREP)

na área a ser voada.

E muito importante, aumente a sua segurança de voo e a de seus colegas de profissão. Ao enfrentar condições de FGA ou de qualquer outro fenômeno impactante, assim que possível, chame a frequência VOLMET disponível e reporte o evento.

## **8 ESCAPANDO DAS CONDIÇÕES DE FGA**

Você sabia da regra geral de 3000FT? Para a maioria dos casos, se você encontrar FGA em sua rota, basta subir ou descer 3000FT, o que geralmente lhe permitirá sair das condições ou mitigar a intensidade de formação.

Um estudo realizado pela Organização *Environment Canada* mostrou que em torno de 50% das camadas de FGA possuem espessura menor do que 1500FT e que aproximadamente em 22% dos casos as camadas tiveram espessura maior do que 3500FT. A espessura média foi de 2200FT.

*“Quando ocorrer FGA, imediatamente adote as ações para sair dessas condições. Não sendo condições de chuva ou chuveiro congelantes, isso raramente vai requerer ações rápidas ou e certamente nunca o pânico, mas exigirá ações positivas.” -Capt. Robert Buck*

## 9 AS PERIGOSAS GOTÍCULAS GRANDES SUPER-RESFRIADAS

A FGA causada por gotículas grandes super-resfriadas (GGS), que apresentam tamanho bem maior que o normal, pode apresentar um sério risco à aviação, pois as aeronaves não são certificadas para voar sob tais condições meteorológicas. Voos realizados nos Estados Unidos, com aeronaves instrumentadas, para a coleta de dados de pesquisa, sofreram FGA severa, tendo os pilotos que escapar imediatamente das nuvens para que a aeronave não caísse.

<b>Regra de Ouro nº 5</b>
<b>Se:</b> Encontrar gotículas grandes super-resfriadas
<b>Ação:</b> Saia das condições imediatamente. Geralmente, uma mudança de altitude de 3000FT é suficiente.
<b>Dicas:</b> FGA no parabrisa, nas partes protegidas, nas hélices ou de intensidade maior que o normal.
<b>Por quê:</b> As aeronaves não são certificadas para voar em segurança em ambiente de GGS.

<b>Regra de Ouro nº 6</b>
<b>Se:</b> Uma camada de gelo se formar atrás das regiões protegidas.
<b>Ação:</b> Saia das condições imediatamente. Voe para uma região/FL mais quente, onde essa camada de gelo possa se dissipar.
<b>Dicas:</b> FGA no parabrisa, nas partes protegidas, nas hélices ou de intensidade maior que o normal.
<b>Por quê:</b> O gelo formado em partes não protegidas não pode ser removido pelo sistema de proteção.



## 10 UM CASO BRASILEIRO EMBLEMÁTICO

No dia 02 de agosto de 2011, uma aeronave tipo Caravan (C-98) da Força Aérea Brasileira (FAB) enfrentou FGA, com intensidade moderada a severa, por volta de 1430UTC, quando voava a aproximadamente 10.000FT (~ 3 km) de altitude, sobre a região serrana de Santa Catarina, na FIR-CW. Apesar de possuir sistemas antigelo e degelo, a aeronave foi obrigada a desviar sua rota prevista para sair das nuvens que estavam favorecendo a formação de gelo, por motivos de segurança de voo. Sobre a mesma área, foi emitido um AIRMET, reportando potencial de FGA pelo Centro Meteorológico de Curitiba (CMV-CW).

No horário do evento de FGA enfrentado pela aeronave havia um ciclone extratropical em intensificação, que se aprofundou de 1005 hPa para 998 hPa, entre 00 UTC e 12 UTC, e estava localizado com centro ligeiramente a leste do Rio Grande do Sul. A imagem do satélite GOES revelou a ocorrência de céu nublado a encoberto, com temperatura de topo média de -5°C. Dados superfície, obtidos pela estação meteorológica de superfície de Porto Alegre, a mais próxima do local do evento, confirmaram a presença de nuvens altostratus.

As fotos tiradas pela tripulação da aeronave (Figura 2) confirmaram a presença de FGA no trem de pouso (Figura 2a), nos parabrisas (Figura 2 c), na parte inferior das asas (Figura 2b) e nos bordos de ataque (Figura 2d). Estudos americanos, realizados com aeronave de pesquisa, identificaram que a rápida acumulação de gelo, incluindo partes inferiores das asas, esteve relacionada à presença de GGS. Nesses tipos de cenários, os voos sofreram impacto severo, com perda aerodinâmica significativa, tendo os pilotos que abandonar rapidamente as nuvens. A Figura 2b, que mostra pelotas de gelo em partes inferiores da asa, sugerindo que o cenário estava favorável à formação de GGS.

É importante registrar que efeitos locais relacionados à topografia da região serrana de Santa Catarina podem ter contribuído para a formação de GGS, por intensificarem o crescimento das gotículas.

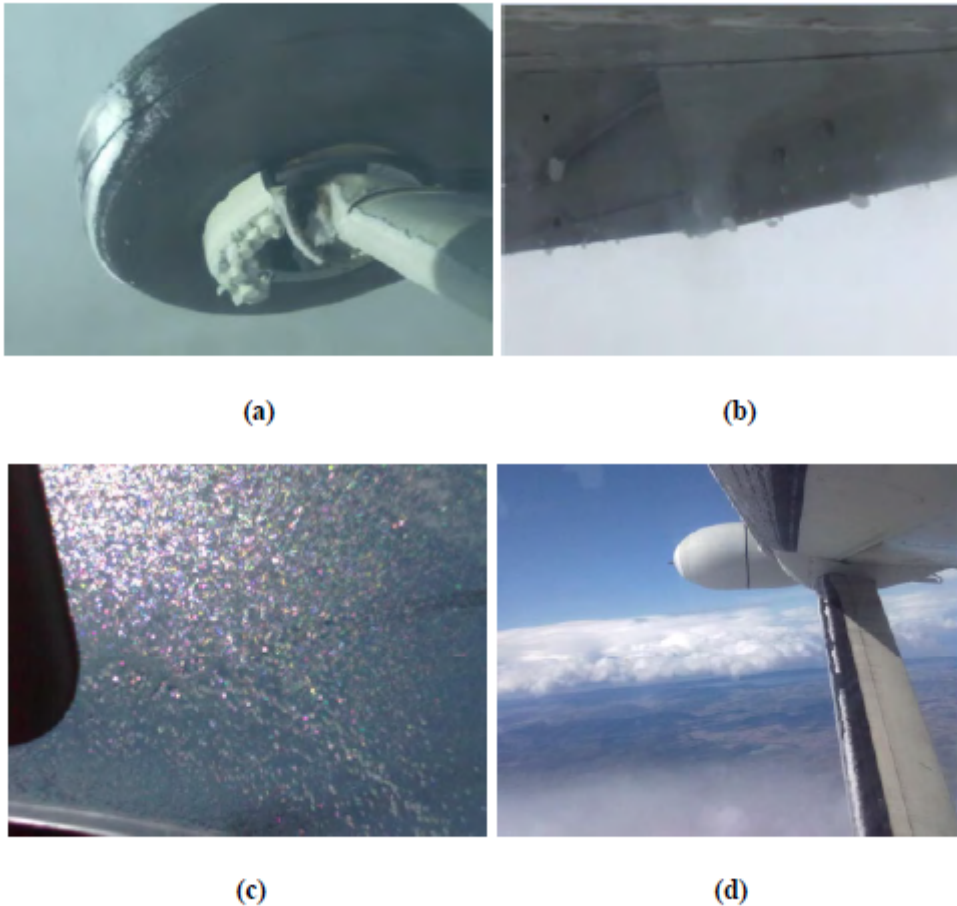


Figura 2: Fotos do gelo formado no trem de pouso (a), na parte inferior da asa (b), no parabrisa (c) e na parte frontal da asa (d).  
Fonte: Brandão (2013).

#### Regra de Ouro nº 7

**Se:** Planeja voar a barlavento, ao longo de uma cadeia de montanhas, em que haja FGA observada ou prevista.

**Ação:** Considere a possibilidade de voar a sotavento, para reduzir o risco de FGA. Mas, esteja atento a possibilidade de ondas orográficas.

**Por quê:** O ar úmido é forçado a subir para o lado barlavento do terreno, podendo se resfriar rapidamente e provocar alto risco de FGA severa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRCRAFT OWNERS AND PILOTS ASSOCIATION (AOPA). **Safety advisor, weather n. 1: aircraft icing** Frederick, MD, 2002.

BERNSTEIN, B. C.; OMERON, T. A.; MCDONOUGH, F.; POLITOVICH M. K. The relationship between aircraft icing and synoptic scale weather conditions. **Wea. Forecasting**, v.12, p. 742–762, 1997.

BERNSTEIN, B. C.; POLITOVICH, M. K.; MCDONOUGH, F. Surface weather features associated with freezing precipitation and severe in-flight aircraft icing. **Atmos. Res.**, v. 46, p. 57–74, 1998.

BERNSTEIN, B. C.; RATVASKY, T.; MILLER, D.; MCDONOUGH, F. Freezing rain as an in-flight icing hazard. Preprints, Eighth Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Dallas, TX, **Amer. Meteor. Soc.**, p. 38–42, 1999.

BERNSTEIN, B. C. Regional and local influences on freezing drizzle, freezing rain, and ice pellet events. **Wea. Forecasting**, v. 15, p. 485–508, 2000a.

BRANDÃO, F. G. **UM ESTUDO SOBRE A FORMAÇÃO DE GELO EM AERONAVES NO BRASIL A PARTIR DE ANÁLISE MULTIESPECTRAL DE IMAGENS DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS**: Dissertação de mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

CIVIL AVIATION AUTHORITY. **Aircraft icing handbook**. 1 Edição 2000. Disponível em <[http://www.caa.govt.nz/fulltext/safety\\_booklets/aircraft\\_icing\\_handbook.pdf](http://www.caa.govt.nz/fulltext/safety_booklets/aircraft_icing_handbook.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2011.

COBER, S. G.; STRAPP, J. W.; ISAAC, G. A. An example of supercooled drizzle drops formed through a collision-coalescence process. **J. Appl. Meteor.**, v. 35, p. 2250–2260, 1996.

CORTINAS JR., J. V.; BERNSTEIN, B. C.; ROBBINS, C. C.; STRAPP, J. W. An analysis of freezing rain, freezing drizzle, and ice pellets across the United States and Canada. **Wea. Forecast.**, v. 19, p. 377–390, 2004.

CURRY, J. A.; LIU G. Assessment of aircraft icing potential using satellite data. **J. Appl. Meteor.**, v. 31, p. 605–621, 1992.

MORENO GARCIA, MC; GIL AGUINALIU, MA (2003): ANÁLISIS DE LA SINIESTRALIDAD AÉREA POR CAUSA METEOROLÓGICA. INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS. **UNIVERSIDADE DE ALICANTE**.

POBANZ, B. M.; MARWITZ, J. D.; POLITOVICH, M. K. “Conditions associated with large-drop regions”, **J. Appl. Meteor.**, v. 33, p. 1366-1372, 1994.

POLITOVICH, M. K. Aircraft icing caused by large supercooled droplets. **J. Appl. Meteor.**, v. 28, p. 856–868, 1989.

POLITOVICH, M. Response of a research aircraft to icing and evaluation of severity indices. *Journal of Aircraft*, v. 33, p. 291-297, 1989.

SAND, W. R.; COOPER, W. A.; POLITOVICH, M. K.; VEAL, D. L. Icing conditions encountered by a research aircraft. **J. Climate Appl. Meteor.**, v. 23, p. 1427–1440, 1984.

**NASA ICING TRAINING COURSE.**