UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ALEX DE MENESES FERREIRA

OPERAÇÕES AÉREAS NO CONTINENTE ANTÁRTICO DO FINAL DO SÉCULO XIX ATÉ A ATUALIDADE

Palhoça

2022

ALEX DE MENESES FERREIRA

OPERAÇÕES AÉREAS NO CONTINENTE ANTÁRTICO DO FINAL DO SÉCULO XIX ATÉ A ATUALIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas

Orientador: Prof. Angelo Damigo Tavares, MSc

Palhoça

2022

ALEX DE MENESES FERREIRA

OPERAÇÕES AÉREAS NO CONTINENTE ANTÁRTICO DO FINAL DO SÉCULO XIX ATÉ A ATUALIDADE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 29 de novembro de 2022.

_____

Professor e orientador Angelo Damigo Tavares, MSc
Universidade do Sul de Santa Catarina

_____

Prof. Avaliador Cleo Marcus Garcia, MSc
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha família, que
sempre me apoiou em minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida, e por todas as oportunidades que Ele me concedeu ao longo desses anos que permitiu ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço à minha esposa Meriane pelo apoio, paciência e incentivo constantes.

Ao professor Angelo, orientador deste trabalho, pela disponibilidade, paciência e oportunidade de realizar este TCC.

Quando tudo parecer estar contra você, lembre-se de que o avião decola contra o vento, não com a ajuda dele. (FORD, Henry, 1922)

RESUMO

Esta pesquisa em seu objetivo geral abordou os efeitos relacionados às operações aéreas expostas a fatores de riscos decorrentes das condições climáticas em região Antártica. Com o estudo foi possível mostrar a evolução das operações aéreas no continente com um breve histórico dos equipamentos utilizados e suas dificuldades; apresentaram-se as diferentes condições climáticas capazes de produzir categorias de contaminantes que possam causar mudanças de performance nas aeronaves e também mudanças de performance na pista, as quais promovem riscos à segurança das operações aéreas. A interpretação de publicações especializadas com diversos exemplos contribuiu com medidas que podem ser adotadas para prevenir ou mitigar situações de perigo que envolvam o tema. Caracterizou-se como uma pesquisa explicativa, com procedimento bibliográfico e documental por meio de artigos e reportagens, além de fazer a utilização de uma abordagem qualitativa. Ao finalizar a pesquisa, concluiu-se que a presença de contaminantes, a não observância do conceito de "aeronave limpa", além do desconhecimento dos fenômenos e características das operações aéreas em região antártica, são uma grande fonte de contribuição para a ocorrência de acidentes e incidentes aeronáuticos nessa região.

Palavras-chave: Antártica. Operações aéreas. Performance.

ABSTRACT

This research in its general objective addressed the effects related to air operations exposed to risk factors arising from climatic conditions in the Antarctic region. With the study it was possible to show the evolution of air operations on the continent with a brief history of the equipment used and its difficulties; the different climatic conditions capable of producing categories of contaminants that can cause changes in the performance of the aircraft and also changes in the performance on the runway, which promote risks to the safety of air operations, were presented. The interpretation of specialized publications with several examples contributed with measures that can be adopted to prevent or mitigate dangerous situations involving the topic. It was characterized as an explanatory research, with a bibliographic and documentary procedure through articles and reports, in addition to using a qualitative approach. At the end of the research, it was concluded that the presence of contaminants, the non-observance of the concept of "clean aircraft", in addition to the lack of knowledge of the phenomena and characteristics of air operations in the Antarctic region, are a great source of contribution to the occurrence of accidents. and aeronautical incidents in that region.

Keywords: Antarctica. Air operations. Performance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – C-130 da FAB em operação na Antártica 13
Figura 2 – KC 390 lançamento de carga em solo antártico 14
Figura 3 – Aeronave UH13 (Esquilo biturbina) operando na Antártica 15
Figura 4 – Aeronave UH-17 (H-135) operando na Antártica 15
Figura 5 - Airbus A340 e seu Comandante Mirpuri na Antártica..... 16
Figura 6 - Boeing 737 MAX 8 e sua tripulação na Antártica 17
Figura 7 - Monoplano Lockheed Vega 22
Figura 8 – Douglas C-47 no Continente Antártico 23
Figura 9 – Aeronave C-130 no Continente Antártico..... 23
Figura 10 – Tipos de formação de gelo em aerofólio 25
Figura 11 – Efeitos do gelo em aerovaves durante o voo..... 26
Figura 12 – Formação de gelo no bordo de ataque de asa exposta a gotículas super resfriadas 27
Figura 13 – Asa de um 737NG com gelo originado por *Cold Soak Fuel Frost*..... 27
Figura 14 – Camada de gelo formada por *freezing fog* no Convair 580 28
Figura 15 – Relação entre a força de fricção do pneu e a carga aplicada sobre ele para se determinar o *MU*. 32
Figura 16 – Percentuais de escorregamento de uma aeronave durante o pouso (*Wheel slip*) . 33
Figura 17 – Variação da força de fricção em relação ao percentual de escorregamento 33
Figura 18 – Aumento do arrasto e carga aplicada sobre as rodas durante a extensão dos *ground spoilers*. 34
Figura 19 – Participação de meios de frenagem da aeronave A320 e uma pista contaminada com 6,35mm de água. 35
Figura 20 - Decomposição das forças aplicadas numa roda em movimento de freada e guinada. 35
Figura 21 – Força de guinada em relação à força de frição 36
Figura 22 – Forças aplicadas sobre uma roda sendo freada e guinada em pista seca e pista contaminada..... 37

Figura 23 – Componentes das forças atuando numa aeronave utilizando reversores com vento de través 37
Figura 24 – Comparativo do coeficiente de sustentação de uma asa limpa (*Clean wing*) e uma asa contaminada por gelo (*Iced wing*) 39

LISTA DE SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CDS	*Container Delivery System* / Sistema de Entrega de Contêineres
CIRM	Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
FAA	*Federal Aviation Agency* / Agência Federal de Aviação
FAB	Força Aérea Brasileira
FAR	*Federal Aviation Regulations /* Regulamentos Federais de Aviação
FOD	*Foreign Object Damage /* Dano de Objeto Estranho
FT	*Feet* / Pés
FZDZ	*Freezing Drizzle* / Chuvisco Congelante
FZFG	*Freezing Fog* / Nevoeiro Congelante
FZRA	*Freezing Rain* / Chuva Congelante
GS	*Small Hail-Snow Pellets* / Pequeno Granizo-Pelotas de Neve
IAC	Instrução de Aviação Civil
MB	Marinha do Brasil
METAR	*Meteorological Terminal Air Report* / Reporte Meteorológico Aéreo de Terminal
NASA	*National Aeronautics and Space Administration* / Administração Nacional Aeronáutica e Espacial
PL	*Ice Pellets* / Pelotas de Gelo
PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
SG	*Snow Grains* / Grãos de Neve
SLD	*Supercooled Liquid Droplets* / Gotículas Líquidas Super-resfriadas
SN	*Snow* / Neve

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **13**
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA 18
1.2 OBJETIVOS 18
1.2.1 Objetivo Geral **18**
1.2.2 Objetivos Específicos **18**
1.3 JUSTIFICATIVA 18
1.4 METODOLOGIA 19
1.4.1 Natureza da pesquisa e tipo de pesquisa **19**
1.4.2 Materiais e Métodos **20**
1.4.3 Procedimentos de coletas e análise de dados **20**
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **21**
2.1 EVOLUÇÃO DA OPERAÇÃO AÉREA NO CONTINENTE ANTÁRTICO 21
2.2 VARIADOS TIPOS DE CONTAMINANTES EM CONDIÇÕES ANTÁRTICAS 24
2.2.1 Congelamento de Combustível de Imersão a Frio (*Cold Soak Fuel Frost*) **27**
2.2.2 Névoa Congelante (*Freezing Fog*) **28**
2.2.3 Geada **29**
2.2.4 Pelotas de Gelo (*Ice Pellets* - PL) **29**
2.2.5 Neve (SN) **30**
2.2.6 Precipitações Congelantes **31**
2.3 FATORES QUE ALTERAM A PERFORMANCE DA AERONAVE 31
2.3.1 Contaminantes na Pista **31**
2.3.2 Contaminantes na Aeronave **38**
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS **40**
REFERÊNCIAS **42**

1 INTRODUÇÃO

O continente antártico é o mais austral e frio, além de também ser o mais seco e mais inóspito do nosso planeta (CIRM, 2018). Desde o início da exploração dessa região o uso do meio aéreo tem se mostrado eficaz e necessário. Região de extrema relevância estratégica para o país, que desde o final do século dezenove faz parte do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), o qual contribui para pesquisas nas diversas aéreas. Tal programa se divide em quatro vertentes, nos setores científico, logístico, ambiental e política externa; fazendo-se necessário o acesso a esse continente através do mar ou com a utilização de aeronaves.

Localizada na Ilha do Rei George, a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) é uma base antártica pertencente ao Brasil e está localizada a cerca de 130 quilômetros da Península Antártica, na baía do Almirantado (AGÊNCIA BRASIL, 2019). É considerada uma das maiores estações de pesquisa da Antártica; sua estrutura conta com 17 laboratórios para o estudo de várias áreas como: medicina, química, microbiologia, oceanografia e meteorologia. No inverno, período em que o mar está congelado, o acesso torna-se ainda mais difícil, sendo necessário realizar lançamento aéreo de cargas para possibilitar o abastecimento de medicamentos, equipamentos e mantimentos que suprem a EACF. A base antártica, mantida pela Marinha do Brasil (MB), desenvolve diversos estudos, denotando a prioridade do PROANTAR para as atividades científicas.

Figura 1 – C-130 da FAB em operação na Antártica

Fonte: CIRM (2021)

A Força Aérea Brasileira, por intermédio do Primeiro Esquadrão do Primeiro Grupo de Transporte (1º/1º GT) – Esquadrão Gordo realiza periodicamente, por intermédio da aeronave C-130 Hercules mostrado na figura 1, o transporte de alimentos, equipamentos, pesquisadores e militares que guarnecem a EACF desde 23 de agosto de 1983, quando a primeira tripulação realizou o pouso no continente antártico. Em 2022 a Força Aérea Brasileira usou pela primeira vez o KC-390 Millenium. A figura 2 apresenta o lançamento de carga através de um KC-390, procedimento este que foi realizado fazendo uso do método *Container Delivery System (*CDS), onde efetivou o lançamento de cerca de 2 toneladas de suprimentos materiais, por meio de lançamento da carga acondicionada em oitos pacotes numa altitude de 600 pés e velocidade de 150 nós.

Figura 2 – KC 390 lançamento de carga em solo antártico

Fonte: FAB (2022)

A Marinha do Brasil também realiza operações aéreas na região; por meio do Primeiro Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (EsqdHU-1) realiza as operações aéreas e a manutenção das aeronaves durante as missões na região austral. Emprega helicópteros embarcados nos navios que apoiam as Operações Antárticas, que garantem praticidade e rapidez no transporte de pessoal e de material entre os navios e o continente, além de possibilitar o lançamento de acampamentos sazonais em áreas remotas onde o acesso só é possível por meio aéreo (CIRM, 2018). Desde a primeira expedição para a Antártica, no verão de 1982, o Primeiro Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (EsqdHU-1) se fez presente, a bordo do Navio de Apoio Oceanográfico Barão de Teffé (H-42), com duas aeronaves modelo WASP, e assim começou a fazer parte do calendário da OPERANTAR.

Figura 3 – Aeronave UH13 (Esquilo biturbina) operando na Antártica

Fonte: CIRM (2019)

A partir de 1987, a Marinha do Brasil passou a empregar pela primeira vez, aeronaves do modelo UH-13 (AS355 - Esquilo biturbina), apresentado na figura 3 que, por serem aeronaves versáteis, de fácil manutenção e operação, demostraram-se como um excelente meio aéreo para apoio às atividades do PROANTAR (CIRM, 2019).

No segundo semestre de 2019, o EsqdHU-1 recebeu a primeira de três aeronaves modelo H-135 (UH-17), mostrado na figura 4, que são mais modernas e de maior capacidade que as UH-13, e passaram a operar região austral desde novembro de 2020, onde incrementaram a versatilidade e a resistência necessárias para a realização das missões de emprego geral nas Operações Antárticas.

Figura 4 – Aeronave UH-17 (H-135) operando na Antártica

Fonte: Defesanet (2021)

O continente gelado é um local visado por muitos turistas e, dessa forma, atrai as companhias aéreas e fabricantes de aviões que aceitam o desafio de operarem em condições climáticas severas, com temperaturas negativas e pistas de pouso e decolagem formadas de gelo. Em novembro de 2021, um Airbus A340, operado pela Hi Fly, uma companhia portuguesa especializada em arrendamentos com tripulação pousou na Antártica numa pista de gelo azul na propriedade do Wolf's Fang, que é classificada como aeroporto Nível C, apesar de não ser tecnicamente um aeroporto. Isso significa que apenas uma tripulação altamente especializada pode voar até lá devido às condições desafiadoras. O comandante Carlos Mirpuri fez um breve relato sobre as condições do gelo azul e da pista. A figura 5 apresenta a aeronave A340 e seu comandante na Antártica.

> O reflexo é tremendo e óculos adequados ajudam a ajustar seus olhos entre a visão externa e a instrumentação. O copiloto tem um papel importante, especialmente nos instantes finais da aterrissagem, e acrescentou, os sulcos são feitos ao longo da pista por equipamentos especiais, e depois de limpar e talhar, obtemos um coeficiente de frenagem adequado; a pista com 3 mil metros de comprimento, pousar e parar um A340 tão pesado naquele campo de aviação não seria um problema (MIRPURI, 2021, online)

Figura 5 - Airbus A340 e seu Comandante Mirpuri na Antártica

Fonte: CNN Brasil (2021)

Em janeiro de 2022, a Smartwings, uma companhia aérea tcheca pousou pela primeira vez na Antártica um Boeing 737 MAX 8, numa pista de 3.000 metros coberta de gelo, onde a espessura era medida e analisada para eventualmente se suspender a operação. A superfície foi especificamente preparada e a ação de frenagem medida pelo Instituto Polar Norueguês antes da operação, para permitir a decolagem e o pouso de acordo com os

regulamentos e padrões previstos pelo fabricante da aeronave e se mantendo todas as margens de segurança. A figura 6 retrata a aeronave da Smartwings pousado no continente antártico com a sua tripulação.

Figura 6 - Boeing 737 MAX 8 e sua tripulação na Antártica

Fonte: Smartwings – Divulgação (2022)

As operações aéreas no continente antártico, pelas especificidades atmosféricas, são por si só uma ameaça permanente para as aeronaves e seus componentes. Uma das condições atmosféricas mais adversas à operação das aeronaves é o gelo que, devido às suas características, representa risco à operação segura de aeronaves.

Ao longo da história da aviação civil, têm ocorrido diversos incidentes e acidentes relacionados às condições de gelo. Muitas destas ocorrências culminaram em situações catastróficas, seja por perdas humanas, materiais ou econômicas. Tanto no passado como no presente, essas operações têm sido largamente debatidas por fabricantes, entidades aeronáuticas, operadores aéreos e empresas de manutenção, de modo, a encontrarem meios que contribuam para a segurança da aeronave neste tipo de operações. Segundo Mário Vitorino Gonçalves em sua dissertação para Mestre em Engenharia Aeronáutica:

> A pesquisa de novas tecnologias de detecção e prevenção de formação de gelo, tanto em terra como em voo, e o seu desenvolvimento e melhoramento através de iniciativas de formação, revelam o contínuo trabalho de investigação realizado por parte das diversas áreas da aviação. Com a generalização desse tipo de voo, é preciso disseminar dentro da perspectiva de um aperfeiçoamento, o conhecimento de *Cold Weather Operations* e das demais características da aviação polar para os pilotos e demais

> profissionais envolvidos na operação aérea de modo a garantir que haja sempre uma excelente tomada de decisão e consciência situacional, garantindo um acréscimo de segurança nesse tipo de operação (MARIO VITORINO, 2015, p. 01)

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

De que maneira fatores de risco gerados pelas condições climáticas interferem nas operações aéreas em regiões Antárticas?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Compreender os efeitos relacionados às operações aéreas submetidas aos fatores de riscos decorrentes das condições climáticas em região Antártica.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Conhecer a evolução das operações aéreas no continente Antártico.
b) Entender as diferentes condições climáticas capazes de produzir categorias de contaminantes.
c) Identificar as mudanças de performance provocadas por contaminantes nas aeronaves.
d) Apresentar as mudanças de performance provocadas por contaminantes na pista, as quais promovem riscos à segurança das operações aéreas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Pilotos em geral não possuem o hábito de operarem em regiões muito frias e a familiarização com essas características se tornam necessárias. Condições climáticas extremas tornam o voo antártico um grande desafio à tripulação o ano inteiro, sendo necessário um constante monitoramento meteorológico, que aliada as características próprias do ambiente polar, exige das tripulações uma adaptação e treinamentos constantes, pois a frequência com que se depararão com condições de *Cold Weather Operations* estará sempre em nível elevado.

As pistas de gelo são excepcionalmente escorregadias e, impedem dessa forma o uso tradicional de freios, sendo assim o empuxo reverso a forma mais apropriada de desacelerar a aeronave, através de uma frenagem aerodinâmica.

As características geográficas e o clima extremo dificultam também a entrega de suprimentos para a Estação Antártica Comandante Ferraz, onde a necessidade do preciso posicionamento da aeronave na condição de lançamento para que a carga chegue na zona estabelecida e as verificações constantes das condições meteorológicas como vento e temperatura determinam o sucesso da operação.

Dessa forma, torna-se necessário a divulgação das características que envolvem a aviação polar para os pilotos e demais profissionais envolvidos, tonando as operações aéreas cada vez mais seguras, aproveitando as especificidades desse ambiente, além da importância para o meio acadêmico e científico onde a difusão de conhecimentos, como a troca de informações e parcerias sempre geram mais conhecimentos, sendo uma grande aliada no processo de aperfeiçoamento tecnológico.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Natureza da pesquisa e tipo de pesquisa

A corrente pesquisa se apresentou como explicativa, com procedimento documental e bibliográfico, além de fazer a utilização de uma abordagem qualitativa. As pesquisas explicativas, conforme entende Gil (2019), têm como propósito identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Tais pesquisas são as que mais aprofundam o conhecimento da realidade, pois têm como finalidade explicar a razão, o porquê das coisas e suas relações de causa e efeito.

O procedimento documental, segundo Gil (2002), tem o objetivo de descrever e comparar dados, características da realidade presente e do passado. O procedimento para coleta de dados caracteriza-se como bibliográfico, definido por Rauen (2002, p. 65) como a “busca de informações bibliográficas relevantes para a tomada de decisão em todas as fases da pesquisa”. Desse modo, o estudo em questão visa a uma profunda investigação teórica e prática sobre cada uma das supracitadas abordagens, primordial para a análise proposta inicialmente.

A abordagem foi qualitativa, por se basear na realidade para fins de compreender uma situação única (RAUEN, 2002), e por mostrar, segundo Gil (1999), um aprofundamento da investigação das relações e questões referentes ao fenômeno em estudo.

1.4.2 Materiais e Métodos

O trabalho se fundamentou em consultas de publicações, materiais de revisão, artigos documentais, sites de internet, e outros registros relacionados ao tema, bem como documentos de regulamentações em vigor pela agência reguladora – Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

1.4.3 Procedimentos de coletas e análise de dados

A coleta e análise de dados se verificou por meio de transcritos e interpretação de publicações, materiais de revisão, artigos documentais, sites de internet e outros registros relacionados ao tema, como também publicações especializadas, as quais auxiliaram a formação das conclusões.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho se encontrou distribuído em quatro seções. A primeira seção desenvolveu a introdução, objetivo, justificativa, metodologia.

A segunda seção apresentou a fundamentação teórica em três seções secundárias. A primeira seção secundária mostrou a evolução da operação aérea no continente Antártico, a segunda seção secundária desenvolveu os tipos de contaminantes e a terceira seção secundária mostrou os fatores que a alteram a performance da aeronave. A terceira seção se referiu às considerações finais, e a quarta seção foi constituída pelas referências para a realização do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O formato de superfície na estrutura das aeronaves podem ser mudados através de uma pequena quantidade de contaminantes, sejam eles gelo ou neve, modificando assim, o fluxo de ar e consequentemente as características normais de voo; podendo também provocar erros de parâmetros importantes de voo com a formação de gelo em tubos de pitot, medidores de ângulo de ataque e tomadas estáticas ou falhas em motores durante uma decolagem por exemplo, com a ingestão de material congelado que se acumulou em uma superfície da aeronave ou formação de gelo na entrada dos motores.

A ANAC, em seu Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) 135 EMENDA nº 00, estabelece os limites operacionais para condições de gelo ou equivalentes.

> Nenhum detentor de certificado pode autorizar a decolagem de um avião, assim como nenhum piloto pode decolar com esse avião, sempre que as condições meteorológicas forem tais que haja razoável probabilidade de aderir gelo, geada ou neve ao avião, a menos que o piloto tenha completado todo o treinamento aplicável requerido pela seção 135.341 e a menos que um dos seguintes requisitos seja atendido:
> (1) uma verificação de contaminação pré-decolagem, que tenha sido estabelecida pelo detentor de certificado para o específico tipo de avião e aprovada pela ANAC, tenha sido completada dentro dos 5 minutos precedentes à decolagem. Uma verificação de contaminação pré-decolagem é uma verificação feita para assegurar que as asas e superfícies de controle de um avião estão livres de geada, gelo ou neve. (BRASIL, 2018, p. 76)

2.1 EVOLUÇÃO DA OPERAÇÃO AÉREA NO CONTINENTE ANTÁRTICO

A introdução da tecnologia em um ambiente hostil, com temperaturas extremas e enormes distâncias facilitaram as tarefas do homem em solo antártico. Em 16 de novembro 1928, o australiano George Hubert Wilkins como observador e Carl Ben Eilson na função de piloto, realizaram o primeiro voo de um avião sobre a Antártida a bordo de um monoplano Lockheed Vega, batizado de San Francisco. Após decolarem de uma pista rudimentar na Ilha Deception, a dupla realizou um voo de 20 minutos em torno das ilhas Antárticas. Mas o voo mais importante foi realizado em 20 de dezembro do mesmo ano, quando voaram por 2.092 km ao longo da península antártica, onde realizaram uma série de fotografias e acabaram voando em condição de tempo muito mais difícil. A figura 7 mostra a aeronave Lockeed Vega em preparação para voo.

Figura 7 - Monoplano Lockheed Vega

Fonte: Aeromagazine (2018)

Por meio de um único voo, explorou-se uma área que normalmente se levariam meses de percurso em trenós puxados por cães, anunciando uma nova era para a exploração polar e em poucos anos, aviões modernos passariam a ser um elemento essencial nas expedições para a Antártica.

Richard Evelyn Byrd, Almirante da Marinha dos Estados sobrevoou o Polo Sul com o piloto Bernt Balchen em 28 e 29 de novembro de 1929, e suas explorações, que tinham a ciência como objetivo, foram cenário para o uso de aeronaves no continente, estabelecendo o uso desses equipamentos nas modernas pesquisas da Antártica. Em 31 de outubro de 1956, o Almirante George Dufek e outros pousaram com sucesso uma aeronave R4D Skytrain (Douglas DC-3) na Antártica.

Em 1 de Dezembro de 1959 o tratado da Antártida foi assinado e entrou em vigor no dia 23 de junho de 1961, o que levou muitos países a manterem bases de pesquisa permanente.

Figura 8 – Douglas C-47 no Continente Antártico

Fonte: Revista Força Aérea (2021)

Em 1962, dois aviões Douglas C-47 (DC-3) do Comando da Aviação Naval Argentina, com o objetivo de confeccionar mapas da região, cumpriram a inédita missão de chegarem ao ponto mais sul possível, operando no Continente Antártico. Escolheram as melhores aeronaves, que receberam equipamentos de aerolevantamento, fotografia aérea, peças, equipamentos de operação no gelo e sobrevivência e seus pilotos receberam treinamentos para o voo em condições meteorológicas adversas. Os navegadores das tripulações traçaram rotas em um local completamente sem referências e auxílios a navegação e os mecânicos estiveram preparados para atuarem em diversos tipos de pane.

Figura 9 – Aeronave C-130 no Continente Antártico

Fonte: FAB (2018)

Em 23 de agosto de 1983, o avião C-130 Hercules mostrado na figura 9, da Força Aérea Brasileira, inaugurou o voo de Apoio Antártica, que até os dias de hoje é realizado anualmente durante as Operações Antárticas.

Ao longo das décadas, a aviação tornou-se cada vez mais importante no continente gelado, seja apoiando grupos de pesquisadores em missões ao longo de todo o ano como também ingressando na modalidade de turismo na região.

2.2 VARIADOS TIPOS DE CONTAMINANTES EM CONDIÇÕES ANTÁRTICAS

A ANAC, em sua Instrução Suplementar (IS) 119-005 Revisão A, estabelece os contaminantes em aeronaves.

> Contaminantes de congelamento incluem chuva congelante leve (*light freezing rain*), chuva congelante (*freezing rain*), chuvisco congelante (*freezing drizzle*), geada (*frost*), gelo (*ice*), pelotas de gelo (*ice pellets*), neve (*snow*), grãos de neve (*snow grains*), e lama (*slush*). (BRASIL, 2018, p. 02)

A performance é afetada quando existe formação de gelo com a aeronave no solo, que deve ser inspecionada e providenciada a retirada do contaminante antes de sua utilização.

> Contaminantes de congelamento na aeronave: a aeronave deve estar livre de todos os contaminantes de congelamento que se aderem às asas, superfícies de controle, hélices, entradas de motor, ou outras superfícies críticas antes da decolagem. (BRASIL, 2018, p. 07)

A formação de gelo nas aeronaves é um dos principais perigos para a operação e ocorre com a agregação de um *Supercooled Liquid*, ou gotículas super resfriadas numa superfície durante a fase de voo. Duas condições são necessárias para essa formação: a primeira é o voo da aeronave através de água visível, como chuva ou formação de nuvens; e a segunda é que a temperatura no ponto onde a aeronave é atingida necessita ser de zero graus Celsius. O arrefecimento aerodinâmico pode reduzir a temperatura de um aerofólio, mesmo que a temperatura ambiente seja ligeiramente superior.

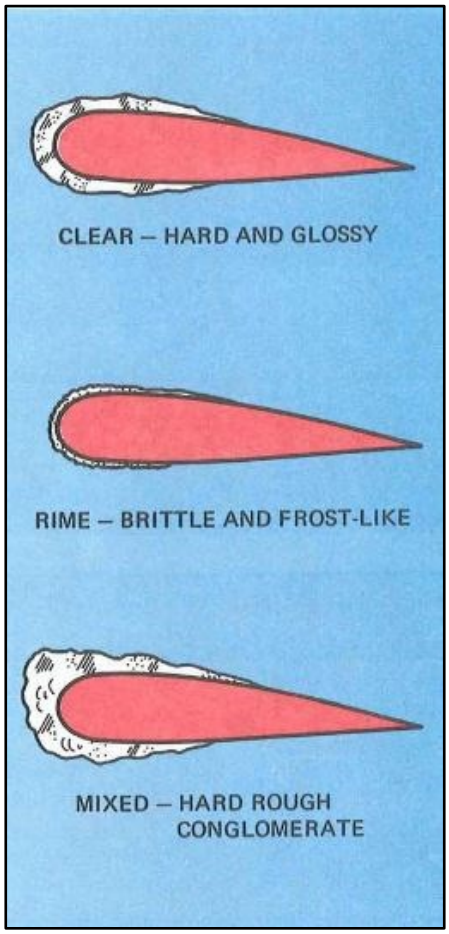
A ocorrência do chamado *Supercooled Large Droplet* (SLD) se caracteriza por gotas de água com diâmetro superior a 50 μm formadas a baixas temperaturas caracterizadas por se encontrarem num estado líquido instável, são consideradas uma forte ameaça. Tais gotas ficam facilmente retidas na estrutura da aeronave quando ocorre o impacto da gota com a sua estrutura, ficando instantaneamente solidificadas. A forma como o congelamento da gota de água se processa determina o tipo de gelo:

- *Clear Ice* – Forma-se quando, após a colisão inicial, a porção líquida que fica retida na aeronave flui sobre a superfície da aeronave congelando progressivamente até ficar gelo sólido.

- *Rime Ice* – Constitui-se quando a gota de água tem tamanho reduzido e congela-se de imediato após colisão com a superfície da aeronave, sem que dê tempo para que se espalhe sobre a fuselagem. O gelo é leve, porém devido à sua rugosidade proporcionará uma diminuição na eficiência aerodinâmica dos quatro perfis alares, reduzindo a sustentação e aumentando o arrasto. *Rime Ice* é quebradiço e mais fácil de remover que o *Clear Ice*;

- *Mixed Clear and Rime Icing* – Ocorre quando há uma variação no tamanho das gotas de água ou quando estas atingem a formação entre neve e gelo. Se formam depressa passando de partículas de água ou gelo para o estado de *Clear Ice* através de uma forma de acumulação rugosa de diferentes formatos. A figura 10 apresenta os tipos de formação de gelo no bordo de ataque de um aerofólio.

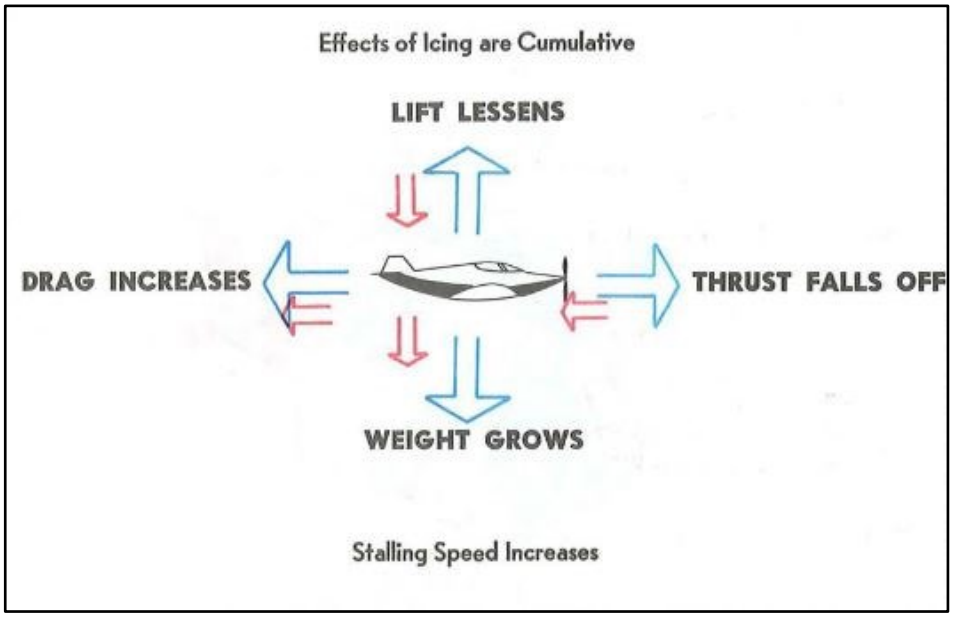
Figura 10 – Tipos de formação de gelo em aerofólio



Fonte: FAA (1975)

O acúmulo de gelo provoca um aumento de massa e gera desequilíbrio, o que se torna mais significativo em aeronaves de menor porte. O gelo também pode afetar o funcionamento de equipamentos se estiver em antenas e outros dispositivos, podendo prejudicar a sua operação e até mesmo a ruptura da estrutura. Os motores também podem ser duramente avariados, em função da formação ou acúmulo de gelo, provocando uma redução da eficiência ou completa inoperatividade. Outros eventos que podem ocorrer de forma paralela são falsas indicações de instrumentos de navegação, perda de comunicações de rádio ou até mesmo perda parcial ou total de trem de aterrisagem e superfícies de controle. Porém, é habitual a alteração da eficiência aerodinâmica, cuja consequência principal é a perda ou redução da sustentação e controles de voo. A figura 11 mostra os efeitos do gelo em aeronaves durante o voo como por exemplo o aumento do arrasto e do peso.

Figura 11 – Efeitos do gelo em aerovaves durante o voo



Fonte: FAA (1975)

Conhecer as condições de gelo em aeronaves é importante para que o piloto possa garantir a segurança das operações aéreas diante da ocorrência de precipitação congelante sobre partes da estrutura aerodinâmica, sistemas de ar ou combustível de uma aeronave em voo ou solo; ou no aparecimento do fenômeno de congelamento de gotículas de nuvem, onde a intensidade pode ser tanto moderada como severa.

Figura 12 – Formação de gelo no bordo de ataque de asa exposta a gotículas super resfriadas

Fonte: Canal Piloto (2013)

Segundo a publicação da NASA, *A Pilot´s Guide to Ground Icing* (2016), temos os consecutivos contaminantes quando em solo:

2.2.1 Congelamento de Combustível de Imersão a Frio (*Cold Soak Fuel Frost*)

É uma geada criada apenas na área do tanque de combustível da asa durante o tempo de retorno de um avião comercial, devido ao combustível que é consideravelmente mais frio que o ar circundante; pois assim, mesmo em uma temperatura "aceitável" (até 10ºC), gelo ou geada podem se formar nas asas se porventura elas estejam abaixo de zero grau, em face à presença de combustível com temperatura negativa no interior delas. Assim o combustível é resfriado após um longo período exposto a temperaturas negativas, tanto em voo, como no solo.

Figura 13 – Asa de um 737NG com gelo originado por *Cold Soak Fuel Frost*

Fonte: Boeing737 – Divulgação (2016)

O manual de voo fornece o mínimo aceitável de degradação de desempenho devido a acumulação de geada sob a asa na área dos tanques de combustível da aeronave para que ela possa operar.

2.2.2 Névoa Congelante (*Freezing Fog*)

A névoa é composta por gotículas de água super-resfriadas que normalmente depositam gelo de geada em contato com um objeto com uma temperatura de superfície inferior a 0°C. O nevoeiro é geralmente definido em termos de visibilidade inferior a 1000m horizontalmente e o nevoeiro congelante normalmente se forma na faixa de temperatura de -0°C a -20°C. O nevoeiro congelante é relatado como FZFG em um relatório do *Meteorological Terminal Air Report* (METAR).

Figura 14 – Camada de gelo formada por *freezing fog* no Convair 580

Fonte: Gultepe (2019)

Conforme a publicação *A Pilot´s Guide to Ground Icing* (NASA, 2016), o simples contato de névoa congelante com a superfície da aeronave pode ser suficiente para passar as gotículas super-resfriadas para o estado sólido, as quais se aderem progressivamente à aeronave. Esse processo gera contaminação na superfície, sendo necessária sua remoção antes do voo com um tratamento de degelo. O deslocamento em solo da aeronave através do *Freezing Fog* pode resultar na formação de gelo nos motores através das entradas de ar, podendo danificar até mesmo as pás e outros componentes. Assim, as aeronaves também devem receber um tratamento antes de iniciar uma decolagem em condições de névoa congelante para as fases de taxiamento e decolagem, evitando mais acúmulo de gelo.

2.2.3 Geada

A geada se apresenta como uma fina e uniforme camada de gelo, com uma textura branca e cristalina, e se formará com a existência de umidade e temperaturas baixas. Temperaturas da estrutura externa da aeronave abaixo de zero, podendo ter um valor abaixo da temperatura ambiente devido ao resfriamento de radiação ou *cold soak fuel frost*, e a temperatura do ar estando próxima do ponto de orvalho são condições principais para a formação da fina camada de gelo, que apesar de não alterar o perfil aerodinâmico da aeronave, se deposita em para-brisas, afetando a visibilidade do piloto.

2.2.4 Pelotas de Gelo (*Ice Pellets* - PL)

Segundo a AIRBUS (2000), *Ice Pellets* são transparentes ou translúcidos, esféricos ou irregulares, com diâmetro máximo de 5mm; conforme o *The National Severe Storms Laboratory, PL* podem se formar durante tempestades, quando a gota super-resfriada se choca contra outras partículas e detritos presentes nas nuvens, como por exemplo poeira ou outras partículas sólidas.

Nunca se deve decolar quando existir reporte de PL, pois esses contaminantes provocam rápida degradação dos fluidos de anti-gelo e são muito mais densos que outros tipos de contaminante. Após a aeronave ter voado sob forte precipitação e caso existirem condições de formação de gelo, deve ser feita imediatamente após o estacionamento, uma análise nas áreas de entrada dos motores em busca de água ou gelo, pois qualquer possibilidade de água que congele nesse local apresenta perigo de *FOD*, podendo também ocorrer o congelamento de algum compressor, devendo a limpeza ser realizada antes da colocação de qualquer *plug* ou capa de proteção. (NASA, 2016)

A ANAC (BRASIL, 2005), em sua regra geral de operação para aeronaves civis, diz que nenhum piloto pode decolar um avião que tenha gelo, geada ou neve aderidos a qualquer hélice, para-brisas, instalações de motor ou a partes de um sistema de velocímetro, altímetro, velocidade vertical ou instrumento de atitude de voo; neve ou gelo aderido às asas, estabilizadores ou superfícies de controle; ou qualquer geada aderida às asas, estabilizadores ou superfícies de comando, a menos que a geada tenha sido polida até tornar-se lisa devendo então ser realizada uma rigorosa inspeção de verificação da superfície da aeronave.

No pré-voo, uma inspeção visual e tátil completa da aeronave dirá se realmente tem contaminação, mesmo que tenha tomado medidas preventivas. Durante a inspeção no avião, se estiver nevando ou chovendo, uma asa com contaminante congelante pode parecer uma asa molhada e passar a mão pela superfície ajuda a identificar se a contaminação está congelada ou não. O toque também ajudará a determinar se uma camada de água congelou para formar uma camada de gelo leve no topo, ou se esconde uma camada de gelo na superfície da estrutura. Olhe para dentro das entradas, onde a neve e o gelo podem ser escondidos da vista. Relatórios meteorológicos devem ser usados para antecipar a contaminação congelante no solo e no ar. A aeronave deve estar certificada para voo com previsão de formação de gelo.

2.2.5 Neve (SN)

A queda de neve normalmente ocorre com uma temperatura perto do congelamento que fica entre cerca de 2°C e -2°C e geralmente dentro de um alto gradiente de umidade, podendo, assim, aderir à aeronave. Dentro dessas condições, dificilmente tal contaminante poderá ser alijado durante uma corrida de decolagem. Uma questão particular da neve é que ela pode ocultar uma camada de gelo abaixo dela. Nesse contexto, muitos acidentes ocorreram pelos pilotos terem retirado somente a camada de neve, deixando a camada de gelo que estava presente abaixo dela.

> Perigos de gelo. O gelo estrutural degrada o desempenho de uma aeronave. Ele destrói o fluxo suave de ar, aumentando o arrasto enquanto diminui a capacidade do aerofólio de criar sustentação. O peso real do gelo em um avião é insignificante quando comparado à interrupção do fluxo de ar que ele causa. À medida que a potência é adicionada para compensar o arrasto adicional e o nariz é levantado para manter a altitude, o ângulo de ataque é aumentado. Isso permite que a parte inferior das asas e da fuselagem acumule gelo adicional. (FAA, AC00-6B, 2016, p.165, tradução nossa)

Nos reportes meteorológicos METAR, constam neve (SN), *snow pellets*/pelotas de neve (GS) ou *snow grains*/grãos de neve (SG).

2.2.6 Precipitações Congelantes

São precipitações que continuam no estado líquido, ainda que se apresentem nas temperaturas abaixo do congelamento; isso as torna perigosas tanto em solo como em voo, pois, a depender da magnitude da precipitação, o sistema *anti-ice* da aeronave pode não ser capaz de entregar a devida proteção. São dois os tipos de precipitações congelantes: FZRA (*freezing rain*/chuva congelante) e FZDZ (*freezing drizzle*/chuvisco congelante), e consistem em grandes gotas de água líquida super resfriada, muito maiores que aquelas tipicamente presentes nas nuvens e nevoeiros. Chamadas de *supercooled large droplets* (SLD), podem congelar após impacto com uma superfície desprotegida. As gotas de FZRA são maiores que as de FZDZ e descambam a cair em linha reta, enquanto a FZDZ pode derivar com as correntes de ar.

2.3 FATORES QUE ALTERAM A PERFORMANCE DA AERONAVE

2.3.1 Contaminantes na Pista

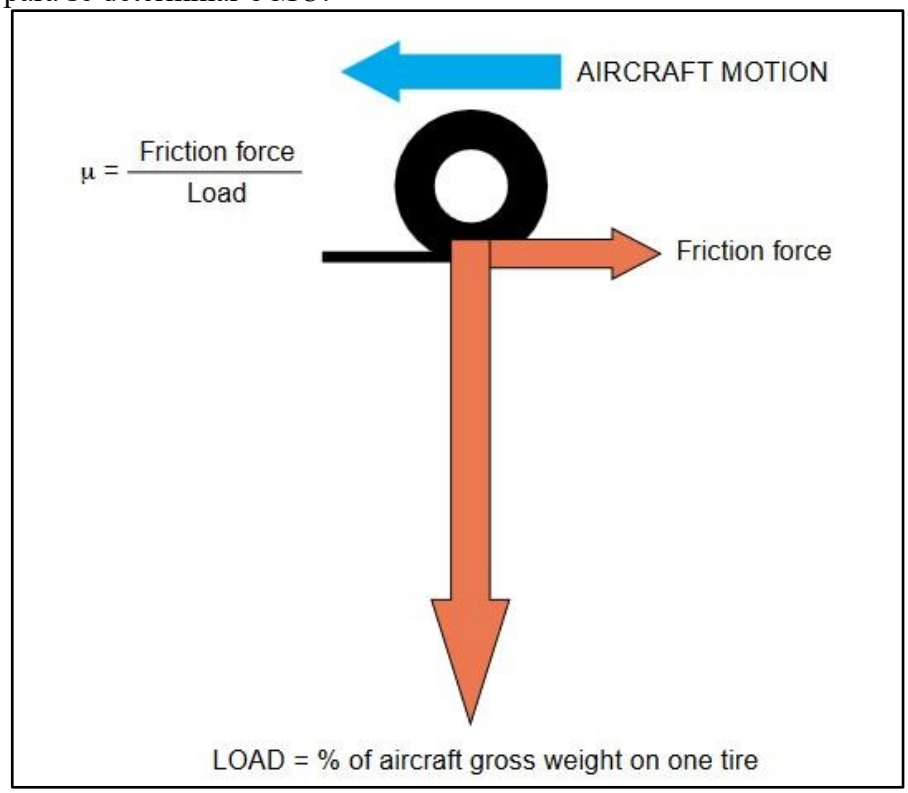
Caracterizam-se pela presença de água, gelo ou neve em mais de 25% do comprimento da pista e, nesse caso, a frenagem, aceleração e controle direcional das aeronaves são severamente afetados. Um dos meios utilizados para a desaceleração de uma aeronave são os chamados sistemas de freios que funcionam com o atrito ou fricção entre o pneu e a pista, haja vista que a força de fricção depende do percentual de derrapagem. As aeronaves possuem os freios, *ground spoilers* e reversores como meios de frenagem segundo a publicação *Getting to Grips witch Cold Weather Operations* (AIRBUS, 2000).

A principal forma de frenagem são os freios, principalmente em pistas secas. Em face à fricção entre o pneu e a pista ocorre a desaceleração, com a aplicação do freio a roda desacelera, criando uma força que depende da velocidade da roda e carga aplicada gerando uma força contrária ao movimento da aeronave. Quanto maior a carga aplicada sobre os pneus, maior será a fricção e a frenagem. A carga aumenta a área de contato do pneu com a pista, criando uma força de fricção.

> Uma carga deve ser colocada na roda para aumentar a superfície de contato entre o pneu e a pista e para criar uma força de frenagem/atrito. Não existe uma carga ótima a ser colocada nas rodas. Quanto maior a carga, maior o atrito, melhor a ação de frenagem. (AIRBUS, *Cold Weather Operations*, 2000, p.85, tradução nossa)

O coeficiente de fricção é a razão entre a força de fricção do pneu e a carga aplicada sobre o mesmo, e é chamado de *MU* ou *u*; a figura 15 mostra essa relação.

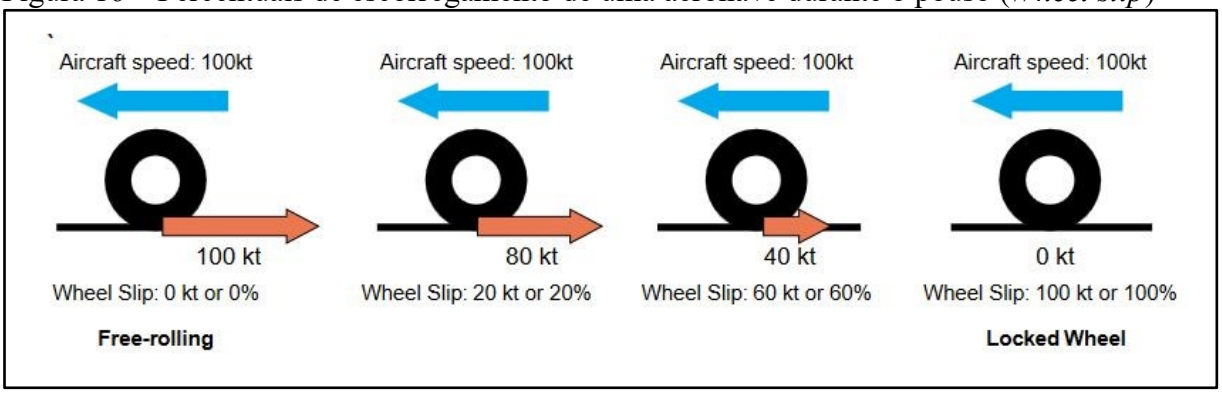
Figura 15 – Relação entre a força de fricção do pneu e a carga aplicada sobre ele para se determinar o *MU*.



Fonte: AIRBUS (2000)

A área de contato do pneu toca a pista numa velocidade que pode variar entre a velocidade de rolamento livre - que é igual à velocidade da aeronave e a velocidade de travamento, que é zero. Qualquer velocidade entre essas duas faz com que o pneu deslize sobre a superfície da pista, com uma velocidade equivalente à diferença entre a velocidade da aeronave e a do pneu no ponto de contato. A derrapagem (ou escorregamento) é expressa em termos de porcentagem em relação a velocidade da aeronave, uma vez que a força de fricção depende da percentagem de escorregamento. Uma roda girando livremente com zero por cento de escorregamento não resiste ao movimento da aeronave, não gerando uma força de atrito e não proporcionando uma ação de frenagem, e uma roda travada ocasiona uma força de fricção de cem por cento de escorregamento prejudicando a frenagem. A figura 16 traz um exemplo da relação de derrapagem de uma aeronave durante o pouso.

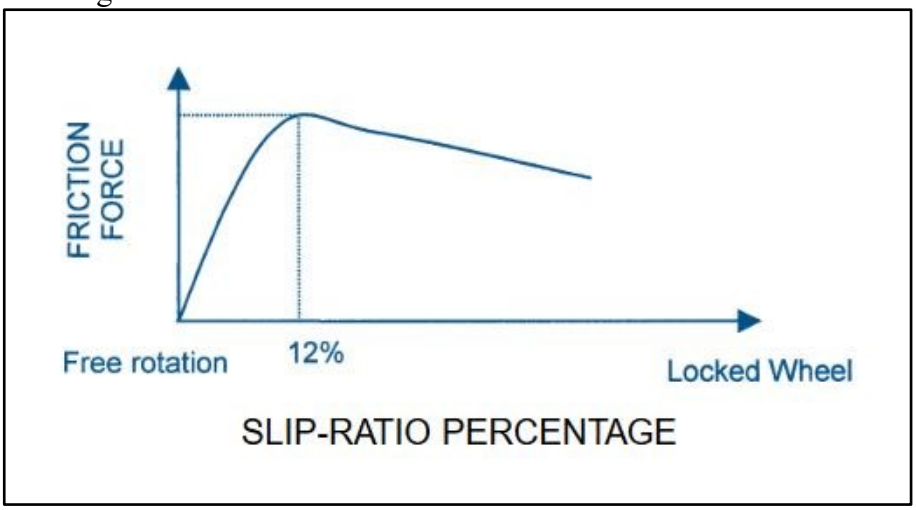
Figura 16 – Percentuais de escorregamento de uma aeronave durante o pouso (*Wheel slip*)



Fonte: AIRBUS (2000)

A força de atrito máxima, levando a máxima eficiência de frenagem, foi obtida por meio de testes numa relação de escorregamento ou *slip-ratio* em torno de 12%. Acima desse valor, pode-se provocar travamento da roda e redução da eficiência de frenagem.

Figura 17 – Variação da força de fricção em relação ao percentual de escorregamento

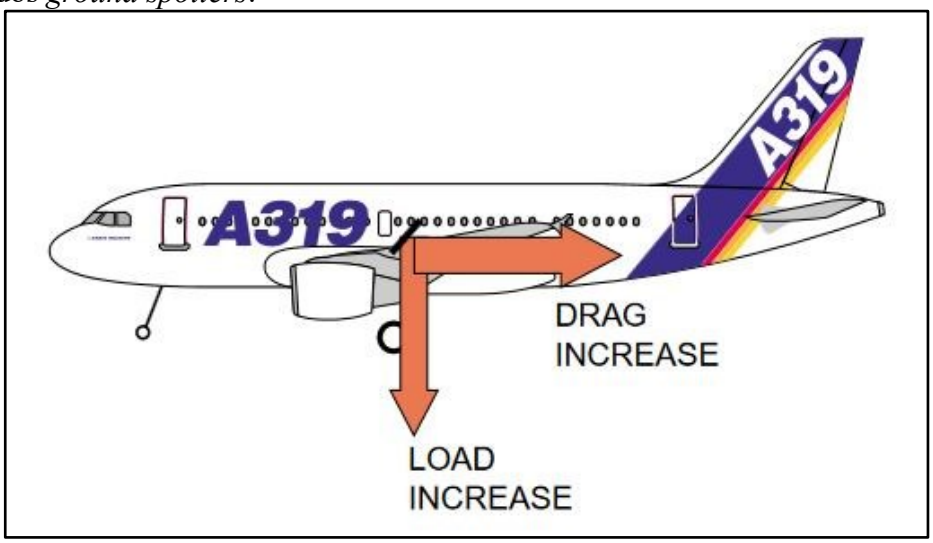


Fonte: AIRBUS (2000)

A extensão dos *ground spoilers* aumenta o arrasto aerodinâmico, levando à desaceleração. Sua utilização diminui a sustentação e aumenta a carga nas rodas e a eficiência do freio. Todas as aeronaves equipadas com spoilers têm uma função de spoiler no solo. Durante a rolagem de aterrissagem ou durante uma decolagem abortada, todos os painéis de spoiler são estendidos ao seu ângulo máximo. O objetivo principal dos spoilers de solo é

maximizar a eficiência do freio da roda cancelando a sustentação gerada pela asa e, assim, forçar o peso total da aeronave no trem de pouso. Os painéis de spoiler também ajudam a desacelerar a aeronave, produzindo arrasto aerodinâmico. Dependendo do tipo de aeronave, a extensão do spoiler de solo pode ser totalmente automática quando o sistema está armado, desde que outros critérios de implantação - como peso nas rodas, velocidade do ar ou posição da alavanca do acelerador - sejam atendidos. Algumas aeronaves podem exigir que o piloto selecione manualmente os spoilers de solo após o pouso, ou no caso de uma decolagem rejeitada.

Figura 18 – Aumento do arrasto e carga aplicada sobre as rodas durante a extensão dos *ground spoilers*.



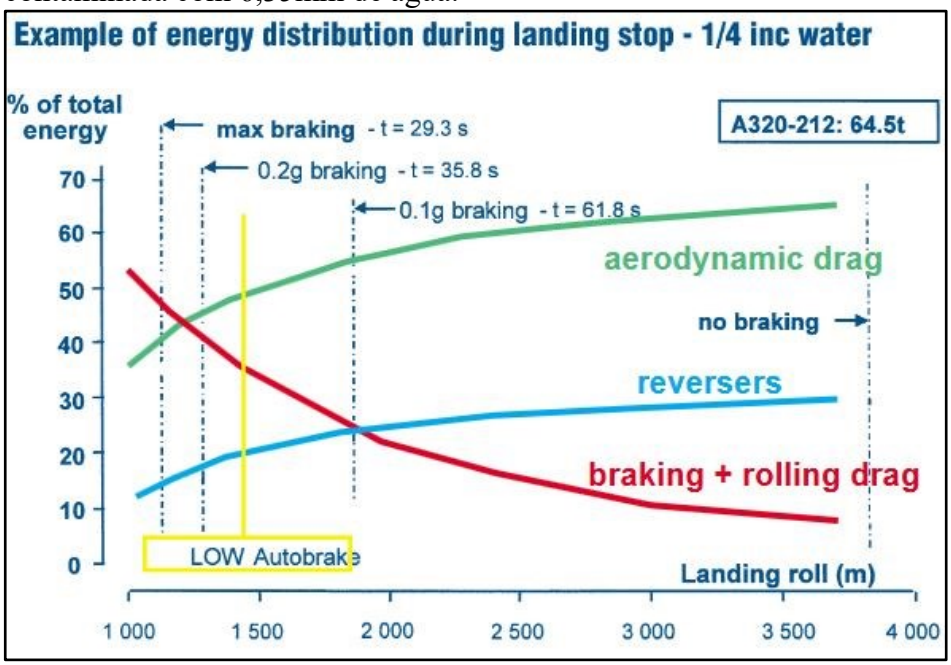
Fonte: AIRBUS (2000)

A figura 18 mostra o aumento do arrasto e da carga aplicada sobre as rodas durante a extensão dos *ground spoilers* durante o pouso.

De forma semelhante à extensão dos *ground spoilers*, os reversores criam uma força oposta ao movimento da aeronave, induzindo uma força de desaceleração que independe dos contaminantes da pista, o que se torna importante na performance de frenagem em pistas contaminadas.

A eficiência de cada meio de frenagem varia conforme a condição da pista. Em uma pista com água, os freios passam a ser menos utilizados, enquanto os *ground spoilers* e reversores passam a ter maior participação.

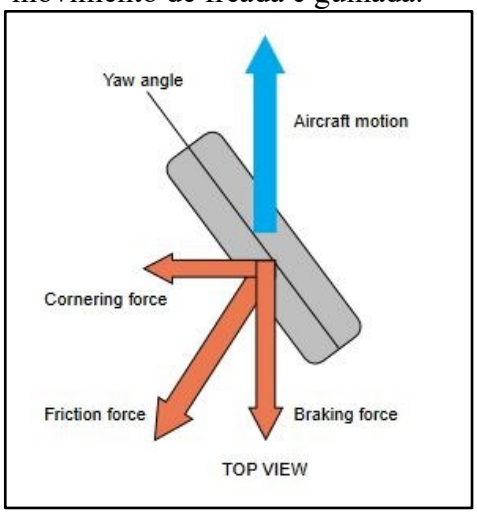
Figura 19 – Participação de meios de frenagem da aeronave A320 e uma pista contaminada com 6,35mm de água.



Fonte: AIRBUS (2000)

Contaminantes entre a pista e o pneu levam a um menor coeficiente de fricção. Os rígidos - como neve compactada e gelo - reduzem as forças de fricção, enquanto os fluídos como água, *slush* e neve solta, diminuem as forças de fricção e causam arrasto de precipitação e aquaplanagem.

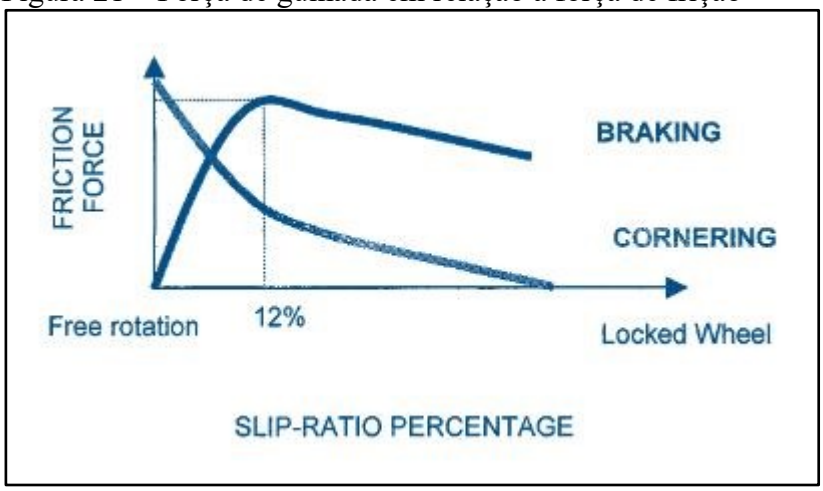
Figura 20 - Decomposição das forças aplicadas numa roda em movimento de freada e guinada.



Fonte: AIRBUS (2000)

A figura 20 apresenta a decomposição das forças aplicadas numa roda em movimento de freada e guinada. A redução das forças de atrito modifica significativamente o controle direcional das aeronaves. Quando uma roda que se encontra girando é virada, a força aplicada a ela pode ser definida em duas direções - uma na direção do movimento da roda/aeronave, e a outra perpendicular ao movimento. A força na direção do movimento se chama força de frenagem (ou *well-known braking force*) e a força perpendicular é conhecida como *slide-friction force* (ou *cornering force*). Esta última é a responsável pela mudança de direção; é maior numa roda girando livremente e nula na roda travada.

Figura 21 – Força de guinada em relação à força de frição

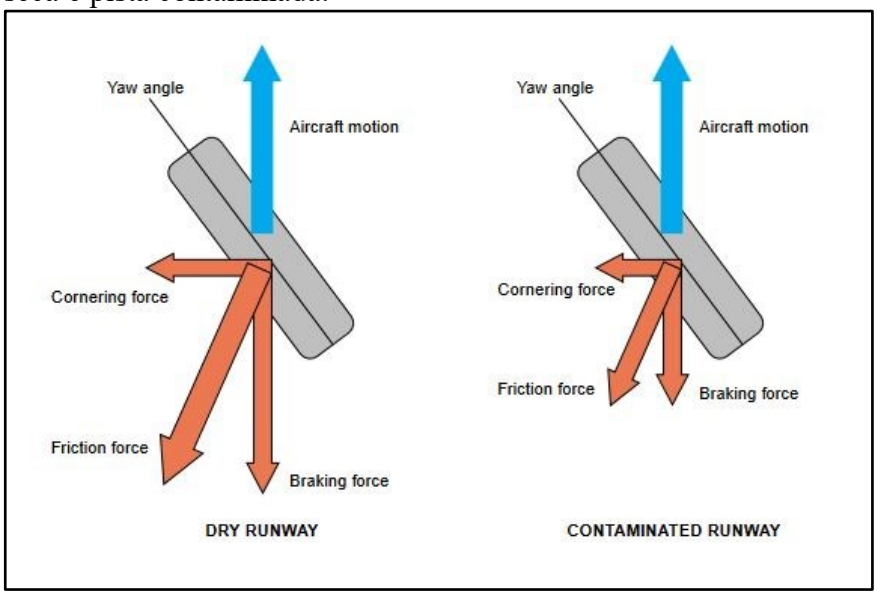


Fonte: AIRBUS (2000)

A figura 21 mostra que, aos doze por cento de escorregamento, quando a eficiência máxima de frenagem é alcançada, uma fração da capacidade de direção é perdida. Numa pista seca, a força de fricção é alta, mas em pistas escorregadias ocorre uma redução nessa característica, fazendo que o piloto tenha que optar entre frear ou controlar a aeronave, visto que pode não ser possível executar as duas ações simultaneamente.

A *cornering force* depende do *yaw angle,* o qual representa o ângulo entre a roda e a direção do seu movimento. O valor máximo de *cornering force* ocorre com aproximadamente de 8º de *yaw angle* em uma pista seca, 5º em pista molhada ou escorregadia e 3º em uma pista contaminada. A *cornering force* se eleva com o aumento do *yaw angle* até certo ponto, caindo rapidamente logo após.

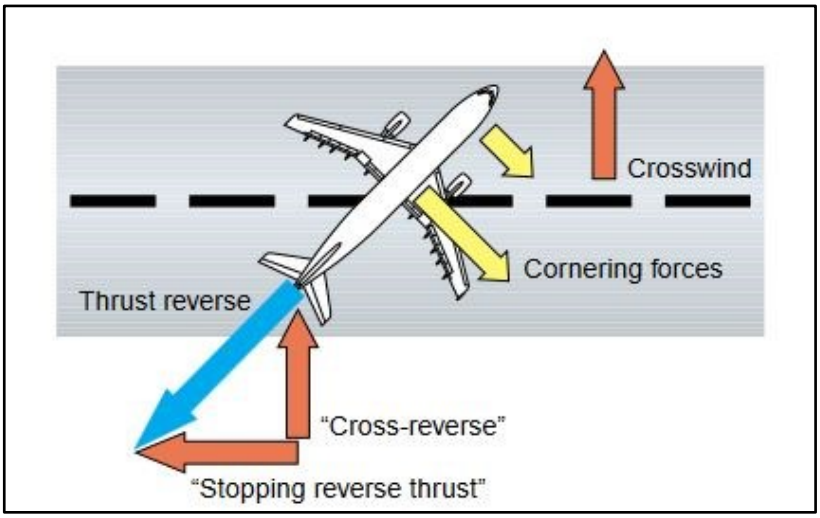
Figura 22 – Forças aplicadas sobre uma roda sendo freada e guinada em pista seca e pista contaminada.



Fonte: AIRBUS (2000)

A figura 22 mostra que o vento pode ser dividido em duas componentes: través e de proa/cauda. Durante um pouso, com vento de través, a *cornering force* é a forma fundamental de manter a aeronave nas limitações da pista. A figura 23 apresenta o uso do reverso que pode ser em duas componentes, paralelo a pista que é responsável em parar a aeronave, e o través-reverso, perpendicular a *centerline*. As componentes de través do vento e do reverso podem tirar a aeronave da pista, devendo ser balanceadas pelas *cornering forces* das rodas do trem de pouso. Diminuir ou zerar a aplicação dos freios permite aumentar o controle direcional.

Figura 23 – Componentes das forças atuando numa aeronave utilizando reversores com vento de través



Fonte: AIRBUS (2000)

A *accelerate-go distance* é aumentada devido ao arrasto de precipitação, e a *accelerate-stop distance* é aumentada pela redução das forças de fricção. Ajustes de *flap,* velocidades de decolagem e potência de motor podem minimizar a necessidade de redução do peso máximo de decolagem.

Numa pista contaminada demandar-se-á maior posição de flaps, porém obstáculos na trajetória de decolagem podem fazer com que um flap em sua posição reduzida seja utilizado, sendo necessário buscar a melhor configuração para cada situação, através de tabelas ou *softwares* de performance

2.3.2 Contaminantes na Aeronave

Pequenas quantidades de contaminantes congelados (geada, neve, gelo, *slush*) podem alterar o formato da fuselagem por exemplo e, dessa forma, o fluxo de ar sobre as superfícies da aeronave. Podem ainda reduzir a performance pois aumentam o arrasto aerodinâmico, diminuindo a sustentação máxima.

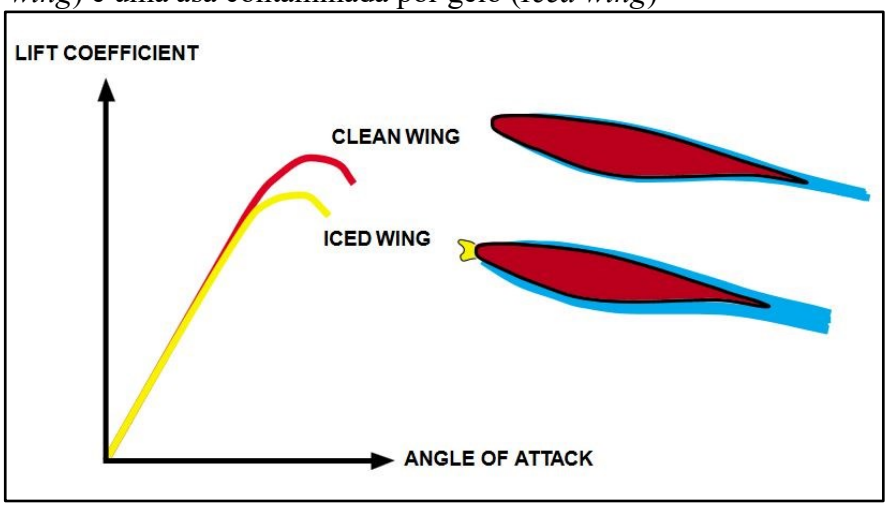
Segundo a publicação *Safe Winter Operations* (BOEING, 2010), depois do FAR 121.629 (FAA, 2003) adotou-se o conceito de aeronave limpa ou *clean-airplane concept*, que descreve uma aeronave livre de contaminantes glaciais. Esse conceito tem importância, pois a performance de decolagem é baseada na configuração com superfícies limpas e o voo é realizado por meio de previsíveis efeitos do fluxo de ar através de uma asa limpa. Gelo, geada ou neve compromete o fluxo ordenado de ar ao aderir a superfície da asa, provocando vários efeitos como perda de sustentação ou sustentação reduzida, aumento da velocidade de estol, características anormais de *pitch* e potencial instabilidade longitudinal e ou lateral em consequência de diferentes níveis de força de sustentação. A ANAC, em sua Instrução Suplementar (IS) 119-005A, estabelece condições operacionais para decolagem: A aeronave deve estar livre de todos os contaminantes de congelamento que se aderem às asas, superfícies de controle, hélices, entradas de motor, ou outras superfícies críticas antes da decolagem. (ANAC, 2018, p. 07)

Aeronaves que possuem aerofólios com perfis laminares e supercríticos são mais sensíveis aos efeitos de contaminantes como também a superfície inferior do estabilizador horizontal é tão crítica aerodinamicamente quanto a parte superior das asas. Contaminações próximas ao bordo de ataque do intradorso podem levar ao *pitch upset* e, no espaço entre o estabilizador e o profundor, geram limitações de atuação das superfícies de comando, assim como entre a asa e ailerons. Sobre a fuselagem, os contaminantes são especialmente perigosos

em aeronaves como motores na cauda, pois podem sofrer avaria quando da ingestão do material. As pás dos motores com hélices sofrerão diminuição da performance e, nos motores a jato ou *turbofan*, os contaminantes podem ser ingeridos e provocar danos ou interrupção do funcionamento. Há possibilidade de obstrução nas entradas de ar de motores a pistão provocando superaquecimento e bloqueio da entrada de sensores, tomadas estáticas e tubos de *pitot* podem fornecer indicações falsas. Finas camadas de contaminantes no bordo de ataque ou na parte superior das asas reduzem em 30% a sustentação e 40% o arrasto, provocando também uma redução do ângulo máximo de ataque.

Os contaminantes além de reduzir a performance da aeronave com o aumento de arrasto e diminuição do coeficiente de sustentação, também podem diminuir o ângulo de estol, podendo levar a aeronave sofrer os efeitos iniciais do estol antes mesmo da detecção pela *stall horn,* com a alteração do fluxo do ar podendo levar também a atitudes anormais de *pitch* e *roll*.

Figura 24 – Comparativo do coeficiente de sustentação de uma asa limpa (*Clean wing*) e uma asa contaminada por gelo (*Iced wing*)



Fonte: AIRBUS (2000)

Na figura 24 é possível observar que o coeficiente de sustentação de uma asa contaminada é menor que o coeficiente de sustentação de uma asa limpa, prejudicando a performance da aeronave em voo.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi compreender os efeitos relacionados às operações aéreas submetidas aos fatores de riscos decorrentes das condições climáticas em região Antártica. Condições climáticas extremas tornam o voo antártico um grande desafio à tripulação o ano inteiro, sendo necessário um constante monitoramento meteorológico, que aliada as características próprias do ambiente polar, exige das tripulações uma adaptação e treinamentos constantes, pois a frequência com que se depararão com condições de *Cold Weather Operations* estará sempre em nível elevado.

O formato de superfície na estrutura das aeronaves podem ser mudados através de uma pequena quantidade de contaminantes, sejam eles gelo ou neve, modificando assim, o fluxo de ar e consequentemente as características normais de voo; podendo também provocar erros de parâmetros importantes de voo com a formação de gelo em tubos de pitot, medidores de ângulo de ataque e tomadas estáticas ou falhas em motores durante uma decolagem por exemplo, com a ingestão de material congelado que se acumulou em uma superfície da aeronave ou formação de gelo na entrada dos motores.

As pistas de gelo são excepcionalmente escorregadias e, impedem dessa forma o uso tradicional de freios, sendo assim o empuxo reverso a forma mais apropriada de desacelerar a aeronave, através de uma frenagem aerodinâmica.

Conhecer essas condições de gelo é importante para que se possa garantir a segurança das operações aéreas diante da ocorrência de precipitação congelante e suas consequências que envolvem tanto a aeronave como a pista de pouso e decolagem.

O treinamento de pilotos tem que ser constante e deve mostrar os fenômenos e características das operações aéreas em regiões antárticas, de modo a deixá-los sempre habituados a esse tipo de missão. Esse tipo de operação aérea está inserido em um ambiente operacional inóspito e complexo, com diversos fatores que alteram a performance da aeronave e do tripulante a todo momento; levando o homem, a máquina e o meio ambiente a inter-relacionar-se constantemente. A falta de ciência das características citadas coloca a segurança operacional em níveis mínimos.

Conhecer as características da operação proporcionará uma maior consciência situacional que ampliará a tomada de decisão das tripulações em momentos críticos. O conhecimento prévio de tais características proporcionará recursos para lidar com os mais diversos cenários.

O conhecimento e difusão dos fenômenos e condições de operações apresentadas é necessário para todos os operadores de aeronaves e suas tripulações que cumprem missões em condições meteorológicas adversas e de clima frio, existentes não somente na região Antártica, mas em diversas partes do planeta; torna a pesquisa em aberto para futuras observações e novas perspectivas que visem o aprofundamento e manutenção da segurança do tema abordado.

Ao se assumir que o objetivo geral do trabalho foi alcançado, entende-se que este trabalho pode servir como ferramenta para viabilizar outros estudos que se direcionam a pontos específicos ou ofereçam uma visão diferenciada.

REFERÊNCIAS

AEROMAGAZINE. **Primeiro voo para a Antártica completa 90 anos.** Brasil, 2018. Disponível em: https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/primeiro-voo-para-antartica-completa-90-anos_4077.html Acesso em 04 out. 2022

AIRBUS. ***Getting to Grips with Cold Weather Operations.*** 2000. Disponível em: https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3404.pdf. Acesso em 21 ago. 2022

BOEING. ***Safe Winter Operations.*** 2010. Disponível em: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2010_q4/2/. Acesso em 21 ago. 2022

BOEING737. ***Safety Information Bulletin - Subject: Cold Soaked Fuel Frost Dispatch***. 2016. Disponível em: http://www.b737.org.uk/latest-2016-08-12.htm Acesso em 09 set. 2022

BRASIL. Ministério das Comunicações. Empresa Brasileira de Comunicação. Agência Brasil. **Brasil na Antártica: conheça as dificuldades da viagem**. Brasil, 2019. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/brasil-na-antartica-conheca-dificuldades-da-viagem. Acesso em 27 ago. 2022

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira. **FAB realiza apoio logístico à Estação Antártica Comandante Ferraz há 35 anos.** Brasil, 2018. Disponível em: https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/32646/PROGRAMA%20-%20FAB%20realiza%20apoio%20log%C3%ADstico%20%C3%A0%20Esta%C3%A7%C3%A3o%20Ant%C3%A1rtica%20Comandante%20Ferraz%20h%C3%A1%2035%20anos Acesso em 29 set. 2022

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira. **KC-390 Millennium realiza, pela primeira vez, lançamento de carga na Antártida.** Brasil, 2022. Disponível em: https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/39378/LAN%C3%87AMENTO%20-%20KC-390%20Millennium%20realiza,%20pela%20primeira%20vez,%20lan%C3%A7amento%20de%20carga%20na%20Ant%C3%A1rtida Acesso em 28 ago. 2022

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. **O Esquadrão HU-1 na OPERANTAR**. Brasil, 2019. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/aeronaval. Acesso em 11 ago. 2022

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. **Sobre o Continente**. Brasil, 2018. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/a-antartica. Acesso em 19 ago. 2022

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. **Voos Antárticos**. Brasil, 2021. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/voos Acesso em 21 set. 2022

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **Instrução Suplementar IS 119-005 Revisão A.** Brasil, 2018. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-119-005/@@display-file/arquivo_norma/IS119-005A.pdf. Acesso em 22 ago. 2022

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **Regras Gerais de Operação para Aeronaves Civis RBHA 91.** Brasil, 2005. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2018/23/anexo-vi-rbha-91. Acesso em 03 set. 2022

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil RBAC 135.** Brasil, 2018. Disponível em: https://pergamum.anac.gov.br/arquivos/RBAC135EMD00.PDF. Acesso em 23 set. 2022

CANAL PILOTO. **CB's, trovoadas e cia: Efeitos colaterais.** Brasil, 2013. Disponível em: http://canalpiloto.com.br/cbs-trovoadas-e-cia-efeitos-colaterais/ Acesso em 06 nov. 2022

CNNBRASIL. **Airbus A340 aterrissa na Antártica pela primeira vez.** Brasil, 2021. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/airbus-a340-aterrissa-na-antartica-pela-primeira-vez/ Acesso em 17 ago. 2022

DEFESANET. **PROANTAR: Quatro décadas da presença brasileira no continente gelado**, 2021. Disponível em: https://www.defesanet.com.br/naval/noticia/43707/PROANTAR--Quatro-decadas-da-presenca-brasileira-no-continente-gelado/. Acesso em 23 out.2022

FAA. ***Advisory Circular - Subject: Aviation Weather***, 1975. Disponível em: https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac%2000-6a%20chap%2010-12.pdf Acesso em 05 nov. 2022

FAA. ***Advisory Circular - Subject: Aviation Weather***, 2016. Disponível em https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac_00-6b.pdf Acesso em 07 nov. 2022

FAA. ***Operation in icing conditions***, 2003. Disponível em: https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2003-title14-vol2/pdf/CFR-2003-title14-vol2-sec121-629.pdf. Acesso em 07 nov. 2022

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas. 2019.

GULTEPE, Ismael; WAYNE, F.Feltz. ***Aviation Meteorology: Observations and Models. Introduction.*** Springer, 2019. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-019-02188-2. Acesso em 10 nov. 2022

MARIO, A.V.G. **Operação de Aeronaves em "*Icing Conditions*" - Interligação com a PART M de uma Operadora.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2015. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/7167/1/4670_9140.pdf. Acesso em 20 nov. 2022.

NASA. ***A Pilot's Guide to Ground Icing.*** 2016. Disponível em: https://aircrafticing.grc.nasa.gov/2_1_0_0.html#pg2. Acesso em: 18 nov. 2022.

RAUEN, Fábio José. **Roteiros de investigação científica.** Tubarão: Unisul, 2002.

REVISTA FORÇA AÉREA. **59 anos do primeiro voo da argentina para o polo sul.** Brasil, 2021. Disponível em: https://forcaaerea.com.br/59-anos-do-primeiro-voo-da-argentina-para-o-polo-sul/ Acesso em 12 nov. 2022

SMARTWINGS. ***First ever Boeing 737 MAX landing in Antarctica,*** Divulgação. 2022. Disponível em: https://www.smartwings.com/en/first-ever-boeing-737-max-landing-in-antarctica. Acesso em 22 out. 2022