

# INCIDÊNCIA DE RAJADAS DE VENTO NO 2º EIA E SUA INFLUÊNCIA NA OPERAÇÃO DE VOO: CORTINAS QUEBRA-VENTOS COMO MÉTODO DE CONTENÇÃO<sup>1</sup>

## *ANALYSIS OF WIND GUST INCIDENCE AT THE AIR FORCE ACADEMY AND ITS INFLUENCE ON FLIGHT OPERATIONS: EVALUATION OF WINDBREAK CURTAINS AS CONTAINMENT METHOD*

**Guilherme Henrique Lins Santos<sup>2</sup>**  
Alessandro Firmiano de Jesus<sup>3</sup>

### RESUMO

A incidência de rajadas de vento pode ter um impacto negativo na atividade aérea, na Academia da Força Aérea (AFA) essa incidência causa danos na estrutura aeroportuária, nas aeronaves estacionadas e dificultam a instrução aérea em partes críticas da missão, na dinâmica de pouso e decolagem, por exemplo. A AFA possui uma vasta área à sua disposição nas proximidades de seus dois aeródromos, sendo o aeródromo do 2º Esquadrão de Instrução Aérea a área de estudo dessa pesquisa, abrindo a possibilidade da realização de medidas de contenção de vento como o plantio de cortinas quebra - ventos. O plantio dessas árvores além de conter a erosão do solo e ter capacidade paisagística, reduz a velocidade do vento na sua área de atuação. Baseado nesse contexto e nos acontecimentos meteorológicos que já ocorreram na AFA, como a tempestade de fevereiro de 2018 que chegou a virar uma aeronave estacionada, este trabalho acadêmico tem como objetivo analisar a influência de rajadas de ventos na AFA, relacionando - os com a operação de voo e uso de cortinas quebra - ventos como maneira de mitigar essa incidência. Por fim, os dados para análise foram obtidos através do sistema de pesquisa do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), pertencente à Força Aérea Brasileira, empregando-os numa abordagem metódica que inclui pesquisa bibliográfica, coleta de dados secundários e análise preditiva.

**Palavras-chave:** meteorologia; estrutura aeroportuária; dinâmica de pouso e decolagem; vento; instrução aérea.

---

<sup>1</sup>Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAV) da Academia da Força Aérea.

<sup>2</sup>Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma Árion, 2024)

<sup>3</sup>Graduado em Matemática pela Universidade de São Paulo (1994), mestrado em Matemática pela Universidade Federal de São Carlos (1997), doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2010) e pós doutorado pela Fachhochschule Köln - Cologne University of Applied Sciences (2014). Coordenador da Área de Ciências Exatas no Curso de Formação de Oficiais da Aeronáutica na Academia da Força Aérea (AFA). E-mail: lezandro@gmail.com

## ABSTRACT

The incidence of wind gusts can have a negative impact on aviation activity. At the Brazilian Air Force Academy (AFA), such occurrences cause damage to airport structures, parked aircraft, and hinder aerial instruction in critical mission segments, such as landing and takeoff dynamics. The AFA boasts extensive land surrounding its two airfields, with the 2nd Squadron of Aerial Instruction serving as the focal point for this study. This presents an opportunity for implementing wind containment measures such as the planting of windbreak trees. Aside from soil erosion control and aesthetic appeal, these trees also reduce wind speed within their area of influence. Drawing from past meteorological events at the AFA, such as the February 2018 gale that overturned a parked aircraft, this academic endeavor aims to analyze the influence of wind gusts at the AFA, correlating them with flight operations and the use of windbreaks as a means of mitigation. Ultimately, data for analysis will be sourced from the research system of the Brazilian Airspace Control Institute (ICEA, employing them in a methodical approach that includes bibliographic research, secondary data collection, and predictive analysis.

**Keywords:** meteorology; airport infrastructure; landing and takeoff dynamics; wind; flight instruction.

## INTRODUÇÃO

A Academia da Força Aérea (AFA) é uma organização militar da Força Aérea Brasileira (FAB) com o objetivo de formar os oficiais dos quadros de intendência, infantaria e aviação. A AFA possui uma estrutura aeroportuária voltada a atender às instruções de voo dos cadetes do 2º e 4º ano do curso de aviação, onde são utilizadas, respectivamente, as aeronaves NEIVA T - 25 e EMB 312 - TUCANO. O alto número de missões de instrução diárias deixa a operação de voo mais exposta à ocorrência de acidentes aeronáuticos, em razão da proporcionalidade.

A segurança durante a operação de voo é um aspecto fundamental para garantir a formação dos pilotos e de todos os agentes envolvidos com a atividade aérea. São várias as causas que podem atentar contra a segurança de voo, tal como o fator humano e condições meteorológicas adversas. Os acidentes são resultantes de combinações, nem sempre previsíveis, de fatores humanos e organizacionais dentro de um sistema complexo (REASON, 2005). A meteorologia acompanhou, felizmente, a evolução da aviação, trata-se de uma ciência exata que estuda a atmosfera e seus fenômenos (WMO N° 182, 1992).

Os fenômenos meteorológicos podem interferir na segurança de uma aeronave em diversos momentos: durante o voo, no pouso, na decolagem, no taxiamento, no carregamento e na manutenção. O vento ocupa posição de destaque no contexto da aviação, contudo é uma das variáveis meteorológicas menos estudadas. Incidências de rajadas de vento são prejudiciais ao bom desenvolvimento da atividade aérea, principalmente na área de instrução básica de voo e na infraestrutura aeroportuária que suporta as atividades.

Na agricultura é conhecida a influência do vento na aplicação de defensivos e em estudos voltados à propagação de doenças, polinização e práticas com quebra-vento (MUNHOZ; GARCIA, 2008). As cortinas quebra - vento são técnicas de plantio de árvores, formando cinturões verdes, o que proporciona, entre outras coisas, a redução da velocidade do vento (JESUS, 1992).

Em fevereiro de 2018 uma forte tempestade com ventos de até 100 km/h causou destruição em edificações e arrastou aeronaves na AFA, esse fenômeno meteorológico causou muitos prejuízos financeiros e operacionais. A AFA possui uma vasta área aberta aos arredores de sua área de instrução, portanto surge - se a seguinte questão: A estrutura aeroportuária do 2º Esquadrão de Instrução Aérea da AFA é suficiente para suportar o vento, como condição meteorológica adversa? A partir disso o artigo buscará analisar se a estrutura aeroportuária da AFA é suficiente para suprir as consequências provenientes de rajadas de vento e sua influência na operação de voo, em especial a dinâmica de pouso e decolagem. Para o cumprimento desse objetivo geral será necessário analisar a incidência de vento na AFA; verificar a influência do vento na dinâmica de pouso e decolagem e; verificar os benefícios provenientes do uso de cortinas quebra-ventos na AFA.

## 1 DESENVOLVIMENTO

### 1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

A Academia da Força Aérea é uma instituição de ensino da Força Aérea Brasileira, situada em Pirassununga - SP desde 1971, tem o objetivo de formar os oficiais dos quadros de intendência, infantaria e aviação num período de quatro anos. As instalações da AFA foram construídas de acordo com um projeto (plano diretor), o qual pode ser modificado conforme com eventuais necessidades, desde que aprovado por autoridades competentes. A Academia dispõe de uma área construída de 215.246 m<sup>2</sup>, sendo 141.800 m<sup>2</sup> de área administrativa e 73.246 m<sup>2</sup> de área residencial (BRASIL, 2022). A AFA possui dois Esquadrões de Instrução Aérea (EIA), tendo o 2º EIA a responsabilidade de auxiliar na formação básica dos cadetes do 2º ano do curso de aviação, com a aeronave T - 25 UNIVERSAL e o 1º EIA a responsabilidade de aperfeiçoar a formação primária dos cadetes do 4º ano do curso de aviação, com a aeronave T - 27 TUCANO . O 2º EIA foi escolhido como objeto de estudo devido às maiores influências das condições climáticas adversas ao projeto T - 25, uma aeronave de pequeno porte cujos alunos possuem experiências iniciais de pilotagem.

A aviação em geral é uma área que evoluiu rapidamente, principalmente em função de sua capacidade de integrar o território nacional, de sua utilização bélica, e suas vantagens na área econômica. A história da aviação tem início em 23 de outubro de 1906, no campo de Bagatelle, Paris, França, quando Alberto Santos-Dumont, um brasileiro, conseguiu: taxiar, decolar, voar nivelado, cerca de 60 metros e a uma altura de 3 metros do solo, e pousar com um aparelho, o 14 Bis, que se deslocava com recursos próprios (FAJER, 2011).

A utilização bélica do avião na 1º Guerra Mundial desencadeou uma escalada tecnológica nessa área, marcando definitivamente a importância do poder aéreo e os enraizando no âmbito militar. Somente em 1958 que o primeiro avião de passageiros começou a operar com sucesso e, com ele, os novos desafios para a indústria aeronáutica, que buscava aeronaves cada vez maiores e mais rápidas e seus sistemas foram ficando cada vez mais complexos (GRANT, 2002). A indústria aeroespacial trabalha continuamente para desenvolver tecnologias e procedimentos que abordam os desafios relacionados ao clima, como rajadas de ventos, tempestades e mudanças climáticas, para garantir a segurança e a sustentabilidade das operações aéreas.

A ação dos ventos atingem não só a dinâmica de voo das aeronaves, como condição adversa, mas também atinge a infraestrutura aeroportuária necessária para suprir a operação aérea (BARBIERI, 2016). Como forma de exemplificação, em dezembro de 2023, no aeroporto de San Fernando, em Buenos Aires, uma forte tempestade com ventos de até 130 km/h atingiu a região não só causando estragos e destruição de aeronaves estacionadas, como também na infraestrutura do aeroporto.



**Figura 1** Destruição no aeroporto de San Fernando ( Buenos Aires - ARG)

Fonte: AEROIN (2023)

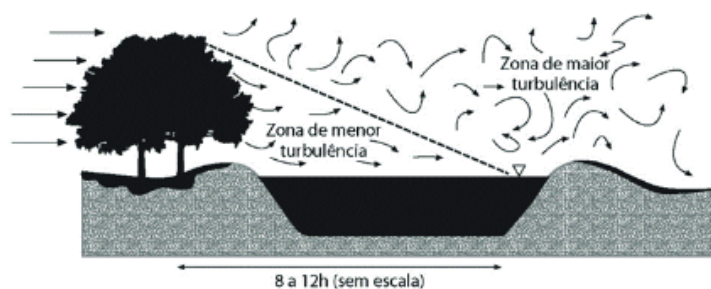
No setor agrícola, uma das formas de conter as rajadas de vento que não só atrapalham as operações aéreas da aviação como também, nesse setor, o desenvolvimento da plantação é o uso de cortinas quebra - ventos. Os quebra-ventos são plantios de árvores que podem ser formados por combinações entre diversas espécies visando à redução da velocidade dos ventos para diferentes propósitos (LEAL, 1986).

Para implantar o sistema de quebra-vento, devem ser observados diversos fatores para o sucesso do empreendimento, sendo um dos mais importantes o conhecimento da direção dos ventos predominantes que tem o intuito de orientar o planejamento e maximizar os benefícios dos quebra-ventos, que devem ser perpendiculares à direção dos ventos dominantes.

A diferença de gradiente de pressão atmosférica gera o deslocamento do ar, ou seja, origina os ventos. Esses, partindo de zonas de maior para as de menor pressão, sofrem influências também do movimento de rotação da terra, da força centrífuga ao seu movimento, bem como da topografia e conseqüentemente do atrito com a superfície terrestre (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

Na avaliação da direção dos ventos, utilizam-se duas denominações distintas: a barlavento, que é a direção de onde sopram os ventos, e a sotavento, a direção para onde os ventos se deslocam (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

A Figura 2 apresenta um esboço do comportamento do vento no lado sotavento do quebra-vento.



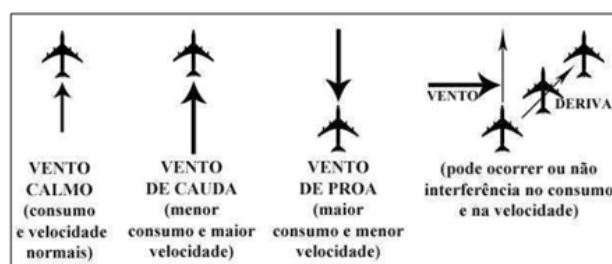
**Figura 2** Sistema quebra-vento

Fonte: Da Costa (2022)

Os efeitos do vento na dinâmica de pouso são importantes, a compreensão e a aplicação de técnicas adequadas de compensação e controle permitem minimizar os efeitos adversos do vento, garantindo pousos seguros e precisos.

O vento é uma das variáveis meteorológicas mais importantes na definição de condições atmosféricas significativas para a aviação. A ocorrência de ventos laterais (través), por exemplo, pode gerar turbulência atmosférica significativa em operações de aproximação das aeronaves e aumentar o risco de acidentes. Dependendo das características ambientais, incluindo aspectos da circulação local e de grande escala, as influências podem variar consideravelmente, nos vários estágios do voo (decolagem, rota e pouso) (Barbieri, 2016).

O esquema da Figura 3 mostra os efeitos de vento calmo, vento de cauda e vento lateral descritos por Barbieri graficamente.



**Figura 3** Efeitos do vento

Fonte: Barbieri, 2016

A aviação é uma área complexa e dinâmica, que está em constante evolução. O vento é uma variável meteorológica importante que pode afetar significativamente as operações aéreas. As cortinas quebra-ventos são uma ferramenta que pode ser usada para reduzir os efeitos adversos do vento na aviação, tais como a incidência de rajadas de vento, a turbulência e a destruição de infraestrutura aeroportuária.

Para a escolha da espécie a ser utilizada na construção de cortinas quebra-vento deve-se atentar as seguintes qualidades:

As espécies florestais para uso em cortinas quebra-ventos devem apresentar, segundo as seguintes características:

- Adaptação às condições ecológicas da região a ser plantada;
- Sistema radicular profundo;
- Rápido crescimento;
- Ereta, de copa bem definida e folhagem perene;
- Madeira elástica e de boa qualidade;
- Difícil disseminação natural; -
- Outras utilidades, como frutífera, nectarífera, forrageira, produtora de adubo verde, gomífera, tanífera, etc. ( Guimarães; Fonseca, 1990)

Nesse referencial teórico, foi abordado os principais aspectos da aviação e das cortinas quebra-ventos e como o vento pode afetar as operações aéreas, bem como as cortinas quebra-ventos podem ser usadas, ainda como análise hipotética, para reduzir esses efeitos.

O conhecimento dos efeitos do vento na aviação é essencial para garantir a segurança e a eficiência das operações aéreas. O vento pode representar desafios significativos na aviação, mas a utilização de cortinas quebra-vento pode mitigar muitos desses problemas, auxiliando diretamente o trabalho de pouso e decolagem de pilotos menos experientes, como é o caso dos pilotos do 2º EIA.

As rajadas de vento também oferecem perigo para aeronaves de pequeno porte que estiverem no pátio de aeródromos, pois caso ocorram bruscas variações na velocidade e na direção do vento, essas aeronaves podem sofrer danos estruturais ao serem arrastadas.

Ressaltando a relevância do estudo dos ventos para a aviação, João Jacques Greens (2020, p. 435) retrata que o vento de superfície em direção é utilizado para calcular as velocidades críticas de decolagem. Ainda, Greens alerta que os ventos próximos à superfície podem ocasionar a condição meteorológica chamada de Tesoura de Vento que pode resultar em acidentes:

“Tesoura de vento – Condição meteorológica de primordial importância para operações de decolagem e pouso. Trata-se do fenômeno da presença de ventos relativamente próximos à superfície da pista e do aeroporto que variam bruscamente de direção e também de intensidade podendo, em casos extremos, acarretar acidentes tais como pouso prematuro ou aeronave voltar ao solo imediatamente após a decolagem”. (Green, 2020, p. 497)

## 1.2 MÉTODOS DE ANÁLISE

Para atingir os objetivos propostos, foi empregada uma abordagem metodológica que inclui pesquisa bibliográfica, coleta de dados secundários e análise preditiva, utilizando-se de uma abordagem quantitativa. Foram revisadas pesquisas anteriores sobre o impacto de quebra-ventos e seus aspectos gerais. Em seguida, foram coletados dados mais relevantes, como informações de intensidade de vento e rajada do aeródromo da Academia da Força Aérea (SBYS) dos anos de 2018 a 2023, do dia 01 de janeiro a 31 de dezembro do respectivo ano. Esses dados meteorológicos foram obtidos por meio do Instituto de Controle do Espaço Aéreo, via site da instituição. Métodos estatísticos e ferramentas analíticas foram utilizadas para analisar esses dados, como organização dos dados em planilha, sendo possível verificar a máxima velocidade das rajadas em cada ano, para então estudar a incidência de rajadas de vento na área de estudos para enfim observar quais efeitos os quebra-ventos trazem para a operação de voo e qual a espécie de árvore ideal para a construção de uma cortina quebra-vento nos arredores do 2º EIA. Os resultados foram discutidos no que diz respeito à segurança, dinâmica de voo e eficiência das medidas protetivas no aeródromo do 2º Esquadrão de Instrução Aérea, levando em consideração suas implicações práticas em outros estudos. O artigo acadêmico fornece informações valiosas sobre a eficácia das cortinas de vento como medida de mitigação de rajadas no aeródromo da Academia da Força Aérea.

## 1.3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo a ser compreendida no artigo é a região de operação do setor ECHO da Academia da Força Aérea, setor de operação do 2º Esquadrão de Instrução Aérea, que opera a aeronave T-25 UNIVERSAL, e do Esquadrão de Voo a Vela, que opera planadores dos modelos TZ-20, Z-17 e TZ-17. A Academia da Força Aérea encontra-se em Pirassununga, na zona leste do

estado de São Paulo. A cidade está associada aos biomas Cerrado (30%) e Mata Atlântica (70%), devido à influência da atividade humana, especialmente a agricultura e a pecuária, muitas áreas naturais foram convertidas em pastagens, campos agrícolas e áreas urbanas. A topografia da região de Pirassununga é geralmente plana, caracterizada por terras baixas e suaves elevações e ela possui um clima tropical de altitude, com temperaturas que podem superar facilmente 30°C no verão. Essas características facilitam a prática da agricultura, pois oferecem áreas extensas e relativamente planas para o cultivo de culturas agrícolas.

A área a ser estudada está definida pela figura abaixo e é formada pelo quadrilátero cujos vértices possuem as seguintes coordenadas: Ponto 1: Latitude = 21° 58' 22.800" S; Longitude = 47° 19' 55.884" O; Ponto 2: Latitude = 21° 58' 23.664" S; Longitude = 47° 18' 57.348" O; Ponto 3: Latitude = 21° 59' 50.784" S; Longitude = 47° 18' 59.652" O; Ponto 4: Latitude = 21° 59' 50.496" S; Longitude = 47° 19' 56.208" O



**Figura 4** Área de estudo delimitada por linhas contínuas vermelhas

Fonte: Recuperado e modificado do Software Google Maps, 2024

## 1.4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 1.4.1 Dados de vento

O vento é um fenômeno que desempenha um papel crucial na operação aérea, principalmente durante a fase de pousos e decolagem. Enfatizando essa fase, sua incidência pode afetar a operação de voo das seguintes maneiras:

- **Direção e intensidade:** O vento lateral (de través) é uma grande problemática durante o pouso e a decolagem, pois se o vento estiver soprando de lado, ele pode empurrar a aeronave para fora do curso desejado, exigindo correções constantes do piloto para manter a aeronave alinhada com a pista;
- **Vento de proa ou de cauda:** O vento de proa (soprando na direção do nariz da aeronave) pode reduzir a velocidade em relação ao solo, o que é benéfico para ambas as operações. Entretanto, o vento de cauda (soprando na mesma direção da aeronave) pode aumentar a velocidade em relação ao solo, o que pode exigir uma distância de pista mais longa para a aeronave alcançar a velocidade necessária para decolar ou parar após o pouso.
- **Turbulência:** A ação do vento pode criar turbulência, especialmente em áreas montanhosas ou onde há obstáculos próximos à pista. A turbulência pode tornar a aproximação e o pouso mais desafiadores, exigindo habilidades de pilotagem mais avançadas para manter o controle da aeronave.
- **Rajadas de vento:** Rajadas repentinas e imprevisíveis de vento podem representar um perigo significativo durante o pouso e a decolagem. Essas rajadas podem causar uma mudança rápida na velocidade e direção do vento, o que pode perturbar a estabilidade da aeronave, tornando essa fase do voo mais desafiadora e perigosa.

Ao analisar os dados meteorológicos de vento dos anos de 2018 a 2023 foi possível observar as máximas de velocidade das rajadas de vento de cada ano, onde os dados podem ser encontrados na tabela 1 abaixo, e as máximas velocidades de vento sem ser rajada na tabela 2. Esses dados confirmam a existência da forte incidência de vento no aeródromo da Academia da Força Aérea, cuja presença influencia diretamente na instrução aérea. É importante salientar que as rajadas de vento são definidas de acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil, ANAC, quando a

velocidade média do vento é superada em 10 ou mais knots por pelo menos 20 segundos e que a direção do vento é de onde ele está vindo, por exemplo se aeronaves estiver na pista 02 ( com proa para a radial 020°) e a direção do vento é 050°, isto significa que o vento está vindo da radial 050°, logo está vindo da região direita da aeronave.

**Tabela 1** Registro das máximas velocidades de rajadas de vento dos anos de 2018 a 2023

Ano	Dia do Ocorrido	Incidentes	Velocidade da Rajada (kt)	Direção do vento (°)
2018	18/02/2018	Aeronave e edificações danificadas*	40	110
2019	26/02/2019	Não registrado	37	340
2020	29/10/2020	Não registrado	40	30
2021	14/10/2021	Não registrado	44	290
2022	20/10/2022	Não registrado	51	330
2023	26/10/2023	Aeronaves e edificações danificadas**	65	320

Fonte: Elaboração própria, 2024

Legenda: (\*) danos materiais em edificações da AFA e uma aeronave C-98 CARAVAN virou devido a ação dos ventos; (\*\*) danos materiais em edificações da AFA e 4 aeronaves T-27 TUCANO tiveram perda total pois os hangares caíram em cima das mesmas.

**Tabela 2** Registro das máximas velocidades de vento dos anos de 2018 a 2023

Ano	Dia do Ocorrido	Incidentes	Velocidade do Vento(kt)	Direção do vento (°)
2018	02/01/2018	Não registrado	22	280
2019	26/02/2019	Não registrado	27	340
2020	29/10/2020	Não registrado	27	30
2021	01/10/2021	Não registrado	33	300
2022	13/09/2022	Não registrado	40	70
2023	26/10/2023	Aeronaves e edificações danificadas*	37	320

Fonte: Elaboração própria, 2024

Legenda: (\*) danos materiais em edificações da AFA e 4 aeronaves T-27 TUCANO tiveram perda total pois os hangares caíram em cima das mesmas.

### 1.4.2 Limites de operação na área de estudo

Segundo o Manual de Procedimentos do 2º Esquadrão de Instrução Aérea de 2024 devem ser observados os seguintes limites de vento:

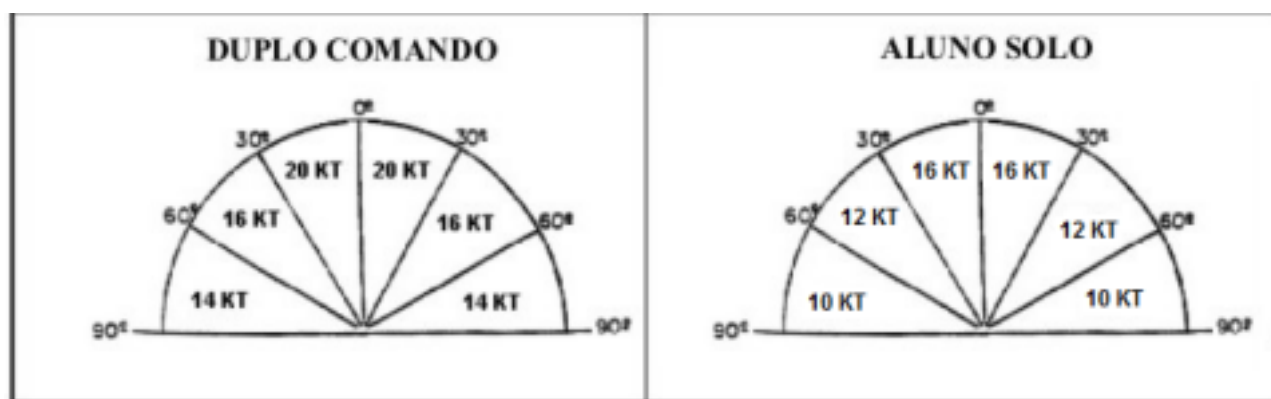


Figura 5 Limites de Vento operação 2º EIA

Fonte: Manual de Procedimentos do 2º EIA, 2024

Esses limites dependem do ângulo de impacto do vento na aeronave, por exemplo, o limite máximo de vento para uma instrução duplo comando com vento de proa (0°) é de 20 kt, quando de vento de través (90°) é de 14 kt.

### 1.4.3 Análise dos incidentes dos anos de 2018 e 2023

Em 18/02/2018 caiu uma forte chuva em Pirassununga - SP causando fortes estragos como queda de árvores e danos em edificações, além de virar uma aeronave C-98 CARAVAN do 6º Esquadrão de Transporte Aéreo que encontrava-se estacionada no pátio da Academia. Na oportunidade o informe meteorológico do aeródromo (METAR - publicações a cada hora cheia) do horário em que, segundo dados do ICEA, ocorreram as rajadas de vento de no máximo 40 kt, às 13h00m local, e que a intensidade do vento era de 6 kt variando entre 350° e 080°, entretanto nos informes do tipo SPECI (informe especial que substitui o METAR anterior publicado) apontaram chuva intensa e rajadas de vento de até 23 kt e trovoadas com chuva moderada, contrariando os 40

kt de vento atingidos e registrados pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo. Logo não foi possível no momento prever a maior magnitude atingida das rajadas de vento.



**Figura 6** Aeronave C-98 no pátio da Academia

Fonte: G1, 2018

SBYS	METAR	18/02/2018	METAR SBYS 181500Z 04006KT 350V080 9999 SCT038 BKN070 28/17 Q1015=
SBYS	SPECI	18/02/2018	<b>SPECI SBYS 181532Z 19011KT 2100 TSRA BKN045 FEW050CB BKN070 26/21 Q1014=</b>
SBYS	SPECI	18/02/2018	<b>SPECI COR SBYS 181532Z 19013G23KT 2100 TSRA BKN045 FEW050CB BKN070 26/21 Q1014=</b>

**Figura 7** Informes meteorológicos do dia 18/02/2018 das 13h00m local

Fonte: REDEMET,2018

Em 26/10/2023 um forte vendaval de 80mm de chuva atingiu Pirassununga - SP causando grandes estragos nas edificações aeroportuárias da Academia e em 4 aeronaves T-27M TUCANO que tiveram perda total. No METAR do horário em que ocorreram as rajadas de vento de 65 kt, às 17h00m local, informava que a intensidade de vento era de 4 kt variando entre 330° e 100° e com nuvens do tipo *cumulonimbus* há 4500 ft de altitude. Entretanto, posteriormente no informe do tipo SPECI, na oportunidade 4 sucessivos, apontaram rajadas de até 65 kt e chuva intensa com trovoadas, coincidindo com o apontado posteriormente pelo ICEA.



**Figura 8** Aeronaves destruídas após vendaval

Fonte: G1, 2023

SBYS	METAR	26/10/2023	METAR SBYS 262000Z 07004KT 330V130 7000 BKN040 FEW045TCU 25/23 Q1006=
SBYS	SPECI	26/10/2023	<b>SPECI SBYS 262003Z 07006KT 040V100 7000 SHRA TS BKN040 FEW045CB BKN090 25/23 Q1006=</b>
SBYS	SPECI	26/10/2023	<b>SPECI SBYS 262014Z 06007KT 7000 3000N TSRA SCT015 BKN035 FEW040CB 25/23 Q1006 RESHRA=</b>
SBYS	SPECI	26/10/2023	<b>SPECI SBYS 262020Z 32018G43KT 0600 R20/0550D R02/P2000 +TSRA BKN009 BKN025 FEW030CB 22/20 Q1006 RERA=</b>
SBYS	SPECI	26/10/2023	<b>SPECI SBYS 262025Z 32037G65KT 0000 R20/0550D R02/0600D +TSGRRA BKN009 BKN025 FEW030CB 20/19 Q1005=</b>

**Figura 9** Informes meteorológicos do dia 26/10/2023 das 17h00m local

Fonte: REDEMET, 2023

### 1.4.3.1 Interpretação de dados METAR/SPECI

Os dados METAR (Meteorological Aerodrome Report) e SPECI (Special Weather Report) fornecem informações meteorológicas sobre as condições em um aeroporto específico num determinado momento. Será analisado os dados do último informe meteorológico do dia 26 de outubro de 2023 momentos antes da tempestade- **METAR SBYS 262000Z 07004KT 330V130 7000 BKN040 FEW045TCU 2523 Q1006=**

1. Identificação da estação: Cada mensagem começa com a identificação da estação aeronáutica que emitiu o relatório, um código de quatro letras (ICAO) - **SBYS** - aeroporto de Pirassununga;
2. Data e hora da observação: A mensagem inclui a data e hora em que a observação foi feita, geralmente em formato de quatro dígitos (dia do mês e hora em UTC) - **262000Z** - dia 26 às 20:00 h;
3. Vento: A direção e a velocidade do vento são relatadas em relação ao norte geográfico, indicando a direção de onde o vento está soprando e a velocidade em nós (KT) - **07004KT 330V130** - vento proveniente da radial 070°, com velocidade de 4 KT, há uma variação do vento entre 330° e 130°;
4. Visibilidade: A visibilidade é relatada em metros (m) o, indicando a distância horizontal máxima que pode ser vista - **7000** - 7000 metros de visibilidade;
5. Fenômenos meteorológicos: São relatados quaisquer fenômenos meteorológicos significativos, como chuva (RA), neve (SN), neblina (FG) - **não há indicação na mensagem;**
6. Nuvens: As nuvens são descritas em termos de quantidade (por exemplo, SCT para "scatter", BKN para "broken"), altura (em centenas de pés) e tipo (por exemplo, FEW018 para "*few clouds at 1800 pés*") - **BKN040 FEW045TCU** - cobertura de nuvens parcialmente nublada a 4000 pés e há presença de uma nuvem cumulonimbus dispersa a 4500 pés;
7. Temperatura e ponto de orvalho: A temperatura e o ponto de orvalho são relatados em graus Celsius (°C), indicando a temperatura do ar e a temperatura na qual o ar se tornaria saturado - **2523** - temperatura de 25° C e ponto de orvalho de 23°C;

8. Pressão atmosférica: A pressão atmosférica é relatada em hectopascals (hPa) indicando a pressão ao nível do mar - **Q1006** - pressão de 1006 hPa.

#### 1.4.4 Requisitos para projetar um aeródromo

A legislação brasileira que estabelece os critérios de projeção de aeródromos, Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC nº 154 e Portaria 1.141/GM5, de 08/12/1987, são baseadas por meio de normas e práticas preconizadas pelo anexo 14 OACI (Organização Internacional da Aviação Civil).

Esses documentos delinham as dimensões e exigências dos aeródromos, destinados a proporcionar um espaço desobstruído, com o intuito de prevenir colisões e/ou minimizar danos às aeronaves e passageiros em caso de acidentes. Em linhas gerais, podem-se identificar duas categorias de responsabilidades:

- Aquelas ligadas às características físicas dos aeródromos, relacionadas à proteção das aeronaves durante as operações em solo (estipuladas no RBAC 154); e
- Superfícies limitadoras de obstáculos, que visam proteger as aeronaves no ar (definidas pela Portaria 1.141/GM5).

No que diz respeito às especificações físicas de um aeródromo, conforme descritas no RBAC nº 154, podem ser encontradas recomendações de distâncias e dimensões para várias situações específicas, incluindo:

- Larguras das pistas de pouso e decolagem e das vias de táxi, além dos espaçamentos entre uma pista de pouso e decolagem e uma via de táxi paralela, entre duas vias de táxi paralelas, e entre uma via de táxi ou de pouso e decolagem e um objeto.
- Largura da faixa de pista ao longo da pista de pouso e decolagem, cujo propósito é mitigar danos às aeronaves que possam sair da área pavimentada, ou proteger aeronaves que sobrevoam essa faixa durante decolagens e pousos.
- Comprimento da faixa de pista após as cabeceiras e área de segurança de fim de pista (RESA), com o objetivo de reduzir o risco de danos à aeronave que toca antes da cabeceira (undershoot) ou que ultrapasse o fim da pista (overrun).

Os requisitos estabelecidos no RBAC nº 154 e na Portaria 1.141/GM5 fornecem, assim, um guia para o desenvolvimento de projetos de aeródromos que assegurem um nível apropriado de

segurança para as operações aéreas. Tendo em vista esses critérios é portanto possível a implementação de cortinas quebra-vento no aeródromo da Academia da Força Aérea.

#### **1.4.5 Análise da implantação de cortinas quebra vento**

Levando em consideração os dados de vento retratados no item 1.4.1 deste artigo, onde podemos constatar a presença de rajadas de vento intensas no aeródromo do 2º Esquadrão de Instrução Aérea e suas ações negativas, pode-se, portanto, como maneira de mitigar essas interferências à atividade aérea, propor a utilização de barreiras quebra-vento, técnica comum utilizada principalmente no setor agropecuário cuja função básica é diminuir a velocidade do vento ao atingir as plantações evitando-se, por exemplo, a erosão do solo. O uso dessa técnica na AFA teria por finalidade a redução da incidência de vento no aeródromo do 2º EIA. Referente a composição das cortinas quebra-vento cabe acrescentar:

A composição do quebra-vento é definida em função das espécies que serão utilizadas para a formação da barreira. Árvores e arbustos variados podem ser utilizados para dar uma forma mais racional à barreira levando-se em consideração as questões práticas e econômicas. Pode-se optar por árvores e arbustos de forma variada, entretanto alguns fatores também devem ser levados em consideração durante o processo de seleção das espécies, podendo destacar a sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas do ambiente em questão. Além da adaptação às condições ambientais, as características da espécie também são importantes, tais como: resistência mecânica à ação do vento, densidade, altura das plantas, extensão da copa, competição e tolerância a pragas e doenças. (Costa, 2022, p. 13)

Ainda, segundo Durigan e Simões (1987), citados por Aureliano Nogueira de Costa (2022, p.13), alguns gêneros arbóreos se destacam por serem mais utilizados na composição das cortinas quebra-ventos. Alguns exemplos são: *Pinus* (para solos arenosos), *Eucalyptus* (em regiões tropicais), *Cupressus* (para pequenas áreas), *Grevillea* (muito utilizado no Brasil para a cultura do café), *Ulmus* (em solos secos), *Casuarina* (em regiões costeiras).

No mais, A. C. Leal (1986), também citado por A. N. de Costa (2022, p.13), recomenda a utilização de espécies arbóreas e arbustivas, as quais sejam “[...] *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina cunninghamiana*, *Leucaena leucocephala*, *Pinus* spp., *Persea* sp., *Mimosa scabrella*, *Polyscias paniculata*, *Dracena deremensis* e a *Hibiscus* spp.”.

Cabe agregar, que Aureliano Nogueira de Costa (2022, p.14) resalta sobre a recomendação de utilização de árvores altas no centro da barreira e de árvores menores em suas laterais, na forma transversal de “V” invertido.

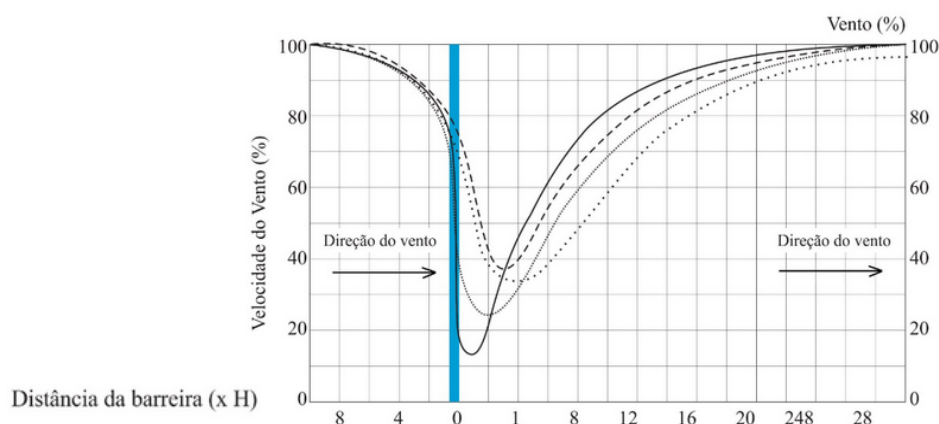
Dessa forma, as árvores da linha externa devem atingir alturas menores que as internas, de modo a influir na subida da corrente de ar. O plantio deve ter espaçamento de 3 a 4 m entre árvores e de 2 a 3 m entre fileiras, plantadas de forma alternada. O sub bosque precisa ser mantido limpo para permitir a filtragem de parte da corrente de ar. (COSTA, 2022, p. 14)

A velocidade do vento a uma determinada altura ( $U$ ) depende de um conjunto de fatores conforme a expressão formulada por João P. F. Carvalho, 2013:

:

$$\frac{U}{U_h} = f\left(\frac{x}{h}, \frac{z}{h}, \frac{h}{z_0}, \frac{h}{L}, \phi\right)$$

Onde  $U_h$  é a velocidade do vento no topo da barreira,  $h$  a altura da barreira,  $x$  a distância à barreira,  $z$  a altura referente ao solo,  $z_0$  coeficiente de rugosidade da superfície do terreno,  $\phi$  a porosidade da barreira e  $L$  uma medida de estabilidade da atmosfera (comprimento Monin-Obukhov - utilizado para descrever os efeitos da flutuabilidade nos escoamentos turbulentos). É possível observar o efeito dos tipos de barreiras na velocidade do vento através do desenho esquemático na Figura 10, onde a velocidade do vento está em porcentagem da velocidade inicial antes de alcançar a cortina; e a distância da barreira em múltiplos da sua altura ( $H$ ).  
Densidade da barreira: - - - - rala; ----- média, ..... densa, \_\_\_\_\_ muito densa.



**Gráfico 1** Velocidade do vento a diferentes distâncias de uma barreira quebra-ventos e efeito da densidade da cortina (rala, média, densa e muito densa)

Fonte: Modificado de Naegeli (1953) por João P. F. Carvalho (2013)

A distância protegida pela cortina quebra-vento, além de sofrer a influência direta da altura (VOLPE; SCHÖFFEL, 2001), também sofre influência da declividade do terreno, a qual pode intervir na proteção efetiva. O estudo de Finch (1988) estabeleceu que a distância de influência do quebra-vento varia de acordo com a altura do quebra-vento e a inclinação do terreno. Em terrenos planos (com 0% de declividade), essa distância é de 10 vezes a altura do quebra-vento. Conforme a inclinação aumenta, essa distância diminui: a 30% de declividade, reduz-se para 2,5 vezes a altura, e em declividades ainda maiores, a distância de influência é de 2 vezes a altura do quebra-vento.

**Tabela 3** Distância de influência em função da interação da altura do quebra-vento (h) com a declividade do terreno h = altura da cortina quebra-vento.

Declividade do terreno(%)	Distância de Influência (h)
0	10,00h
5	6,65h
10	5,00h
15	4,00h
20	3,30h
25	2,85h
30	2,5h
>30	2,0h

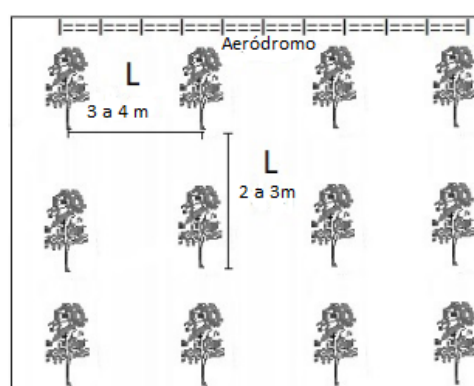
Fonte: Adaptado de Finch, 1988

Ao analisarmos todo o contexto apresentado, a equação de J. P. Carvalho, o desenho esquemático da figura 9 e o estudo de Finch é possível definirmos o uso de árvores da espécie de *Eucalyptus* para a redução da ação das rajadas de vento no aeródromo do 2º EIA, pois essa espécie também possui como vantagens a boa adaptabilidade, rápido crescimento, rusticidade, resistência a ventos fortes, produção de madeira para estaca, posição ereta, alta sobrevivência, boa conformação de copa e baixíssima disseminação natural (atributo que auxiliará na manutenção da posição da cortina quebra-vento). Como principal desvantagem tem-se a competição por água e nutrientes com outras espécies, fato que não será de grande relevância, pois o terreno em que é proposto a construção da barreira não possui espécies concorrentes.

Propõe-se localizações específicas para o plantio das árvores, utilizando-se de faixas paralelas conforme ilustração da figura 11; espaçamento de 3 a 4 m entre as árvores e espaçamento de 2 a 3 m entre fileiras, onde sugere-se o formato quadrangular (Figura 12), neste esquema as árvores são plantadas em distâncias fixas, onde permanecem como barreira permanente à ação dos ventos.



**Figura 10** Implantação da cortina quebra vento na área de estudo  
 Fonte: Elaboração própria utilizando o Software Google Maps, 2024



**Figura 11** Visão esquemática de plantios de árvores para a formação de faixas quebra-ventos  
 Fonte: Adaptado de Marta P. S., Rodiney A. M., Roberto G. A. (2019)



**Figura 12** Plantio de árvores do gênero *Eucalyptus*

Fonte:recuperado de <https://armazemdotratado.com.br/elementor-124/>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se nos acidentes analisados neste trabalho pode-se concluir que a estrutura aeroportuária da AFA demonstra uma certa deficiência para mitigar todas as consequências provenientes de rajadas de vento, tal como a danificação de aeronaves que ao serem levadas para a manutenção afetam diretamente o andamento da instrução aérea, atividade fim na formação dos cadetes aviadores.

Para o cumprimento do objetivo deste artigo foi possível direcionar a análise dos efeitos do vento para averiguar a viabilidade das cortinas quebra-ventos como medida de contenção. Os resultados obtidos revelaram que a implementação de cortinas quebra-ventos, por meio do uso de árvores da espécie *Eucalyptus*, devido seu rápido crescimento e fácil manejo, é uma alternativa para criação de barreiras físicas para a proteção das estruturas aeroportuárias e dos vetores aeronáuticos além de mitigar a influência das rajadas na dinâmica de pouso e decolagens.

As implicações dos resultados para a pesquisa do problema e para a Força Aérea Brasileira (FAB) são significativas, uma vez que a adoção de medidas preventivas, como as cortinas

quebra-ventos, pode melhorar a resiliência da instituição diante de condições climáticas adversas. Além disso, as contribuições deste estudo apontam para a importância de considerar os aspectos meteorológicos na gestão da segurança aérea e na tomada de decisões estratégicas.

Como sugestão para futuras pesquisas, recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados sobre a eficácia na prática das cortinas quebra-ventos em diferentes contextos, bem como a avaliação da sustentabilidade ambiental dessas medidas de proteção e o impacto financeiro gerado para a implantação e manutenção da cortina quebra-vento. Essas investigações poderão ampliar o conhecimento sobre a influência do vento na aviação e contribuir para o aprimoramento das práticas de segurança operacional na FAB e em outras instituições do setor aeronáutico.

Dessa forma, este estudo não apenas aborda uma questão relevante para a operação aérea na AFA, mas também oferece percepções valiosas que podem orientar ações futuras e promover a segurança e eficiência das atividades aéreas em ambientes sujeitos a rajadas de vento.

## REFERÊNCIAS

ARRUDA, R. M.; GIOLO, R. A.; PEREIRA, M. S. **Indicação de eucaliptos para plantios em faixas de quebra-ventos em propriedades rurais de Mato Grosso do Sul**. 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/206426/1/Indicacao-de-eucaliptos-para-plantios.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

BARBIERI, L. F. P. **Episódios significativos de ventos de través no aeroporto de Petrolina: um estudo de condições meteorológicas adversas em operações de pouso e decolagem**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/695>.

BIANCHINI, D. **Meteorologia para pilotos**. 2ª ed. São Paulo: Bianch, 2018. 258 p.

BRANDLE, J. R.; HINTZ, D. L.; STURROCK, J. W. **Windbreak technology**. 1ª ed. New York: Elsevier, 1988. 608 p.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Ensino. **Portaria DIRENS nº 312/DPE, de 29 de dezembro de 2022**. Brasília, 2022.

CARVALHO, J. P. F. Cortinas Quebra-Ventos – Funções, Tipos e Constituição. **AgroTec: Revista técnico - científica agrícola**, Portugal, v. 8, n. 8, p. 46-49, 2013.

CHUVA FORTE EM PIRASSUNUNGA, SP, DANIFICA AERONAVES E EDIFICAÇÕES DA AFA; VEJA FOTOS. **G1**, São Carlos, 18, fev., 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/chuva-forte-em-pirassununga-sp-danifica-aeronaves-e-edificacoes-da-afa-veja-fotos.ghtml>. Acesso em: 15 abr. 2023.

CHUVA FORTE EM PIRASSUNUNGA DESTROI HANGARES E DANIFICA AERONAVES DA ACADEMIA DA FORÇA AÉREA. **G1**, São Carlos, 26, out., 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2023/10/27/temporal-em-pirassununga-destroi-hangares-e-danifica-aeronaves-da-academia-da-forca-aerea.ghtml>. Acesso em: 10 fev. 2024.

DA COSTA, A. C. N. **Cinturão verde: sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço**. 1ª ed. Ponta Grossa: Atena, 2022. 182 p.

DEPARTMENT OF AGRICULTURE WA, Reducing farm dam evaporation. **Rural Water Note 04**, 2007. Disponível em: <https://www.wa.gov.au/system/files/2022-11/Rural-Water-Note-4-Reducing-farm-dam-evaporation.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

FAJER, M.; ALMEIDA, I. M.; FISCHER, F. M. Fatores contribuintes aos acidentes aeronáuticos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 45, n. 2, p. 432-435, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/wgKCgCmyJ4bL34N6j8tVG8j/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jun. 2023.

Finch, S.J. **Field windbreaks: design criteria**. Agric. Ecosystems Environ., p. 215-228, 1988.

GUIMARÃES, D.P.; FONSECA, C.E.L. da. **Considerações preliminares sobre o uso de quebra-ventos nos Cerrados**, Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1990.21p

GRANT, R. G. **Flight: The Complete History of Aviation**. 1ª ed. New York: DK Publishing, 2002. 454 p.

GREEN, J. Jacques. **Muito além das nuvens: histórias da aviação entre dois séculos: volume 1**. 1. Ed. Recife: Paradoxum, 2020.

GREEN, J. Jacques. **Muito além das nuvens: histórias da aviação entre dois séculos: volume 2**. 1. Ed. Recife: Paradoxum, 2020.

HECKERT, A.; SIMIU, E.; YEO, D. **Extreme Winds and Wind Effects on Structures**. 2020. Disponível em: <https://www.itl.nist.gov/div898/winds/overview.htm>. Acesso em: 12 abr. 2023.

HUMBERTO, G. R. O. S.; MACHADO, C. Tomada de decisão em condições meteorológicas adversas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 05, p. 1335-1345, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/233739/27297>. Acesso em: 12 mar. 2023.

INFOSANBAS, **Município de Pirassununga - SP**. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/pirassununga-sp/>. Acesso em: 05 abr. 2024

JESUS, R. M. Recuperação de Áreas Degradadas. **Revista do Instituto Florestal**, v. 2 (parte única). São Paulo, p. 350-362, 1992.

LEAL, A. C. **Quebra-ventos arbóreos: aspectos fundamentais de uma técnica altamente promissora**. Curitiba: IAPAR, 1986. 28 p. Disponível em: [http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/IP67.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/IP67.pdf). Acesso em: 15 jul. 2023.

MAROJA, M. G. O.; CORREIA, M. F.; DA SILVA G. A.; ARAGÃO, M. R. S.; DOS SANTOS, E. P.; ANDRADE, A. L. S. Relevância da infraestrutura aeroportuária na redução de atrasos e cancelamentos de voos em condições meteorológicas adversas / Relevance of airport infrastructure in the reduction of delays and cancellations of flights in adverse meteorological conditions. **Brazilian Journal of Development**, v. 08, n. 04, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-527>.

MARTINS, C. (2023, dezembro 17). Severos ventos movem grandes aviões no pátio e causam destruição em aeroportos em Buenos Aires. **AEROIN**. Disponível em:

<https://aeroin.net/severos-ventos-movem-grandes-avioes-no-patio-e-causam-destruicao-em-aeroporto-os-em-buenos-aires/>

MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A. **Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava–SP**. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 30-34, mar.2008.

REASON, J. **Managing the risks on organizational accidents**. 1ª ed. Aldershot: Ashgate, 1997. 272 p.

REASON, J. **Safety in the operating theatre – Part 2: Human error and organizational failure**. *Qual Saf Health Care*. 2005;14(1):56-60.

RODRIGUES, M. F. A.; FERNANDES, J.E. M.; HENKES, J. A. O impacto da baixa visibilidade em aproximações, pousos e decolagens causado por condições climáticas adversas e os seus riscos para a segurança operacional no aeroporto de porto alegre/rs. 2ª ed. Florianópolis: **Revista Brasileira de Aviação Civil e Ciências Aeronáuticas**, v. 2, n. 3, p. 62–85, 2022. Disponível em:<https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/110>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SANTOS, R.D.A. **Análise de risco de incidentes de aeronaves em solo durante operações de pouso ou decolagem**. 2009. 70 f. Monografia (Especialização em Gestão da Aviação Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009

TUBELIS, A., NASCIMENTO, F. J. F. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1ª ed. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

VOLPE, C. A.; SCHOFFEL, E. R. Quebra-vento. In: RUGGIERO, C. **Bananicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p. 196-211.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Internacional Meteorological vocabulary**. 2ª ed. Geneva: WMO, 784 p. , 1992.