
Estudo da Ocorrência de Cisalhamento do Vento no Aeroporto Internacional de São Paulo

Davi Pinto Ribeiro¹, Gilberto Fernando Fisch², João Bosco Verçosa Leal Junior³, Elizabeth Diane de Jesus Reuter Sokabe⁴

1 Mestrando em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada pelo ITA (2018), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR - 2017), MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV - 2013) e Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará (UFC - 2010), com experiência em Desenvolvimento de Produto, na área de Engenharia de Integração de Atributos e Certificação.

2 Doutorado em Meteorologia (INPE-1995), Mestrado em Meteorologia (USP - 1986) e Graduação em Meteorologia (USP - 1981). Pesquisador Titular do IAE/DCTA desde 1986, possui experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia Aeroespacial. Professor dos Cursos de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Espacial do ITA, de Meteorologia do INPE e de Ciências Ambientais da UNITAU. Já orientou mais de 25 alunos de Mestrado e 10 alunos de Doutorado ao longo de sua carreira. Publicou mais de 120 artigos técnico-científicos em revistas especializadas de Meteorologia. Participou de Comitês de Avaliação do CNPq, FAPESP e CAPES.

3 Bacharelado em Física Geral e Fundamental pela Universidade Federal do Ceará (1994), Mestrado em Física pela Universidade Federal do Ceará (1998) e Doutorado em Física pela Universidade Federal do Ceará (2003). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Estadual do Ceará (UECE). Tem experiência nas áreas de Física e Geociências, com ênfase em Física da Atmosfera, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem numérica da atmosfera, micrometeorologia, microfísica de nuvens, climatologia e física estatística. Desenvolve pesquisas envolvendo ventos locais, como o vento Aracati, e suas aplicações, como geração de energia eólica, poluição e qualidade do ar.

4 Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará (1999), mestrado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2002) e doutorado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013). Trabalha no Centro Meteorológico de Aeródromo do Aeroporto Internacional de São Paulo (2002 - atual), no setor de qualidade operacional na Coordenação de Meteorologia Aeronáutica (fev/2015 até dez/2016). Tem interesse em pesquisas sobre Meteorologia Aeronáutica e Aeroespacial (Meteorologia Aplicada) e em estudos de Circulações de Micro e Mesoescala com enfoque na Camada Limite Planetária, além de Meteorologia Geral e Meteorologia Física.

RESUMO: Os fenômenos meteorológicos têm uma grande influência em acidentes aeronáuticos no mundo. Apesar de não ser possível evitar a ocorrência destes eventos naturais, diversos estudos tentam desenvolver modelos numéricos computacionais para prevê-los e, desta forma, fazer com que as operações aeronáuticas, principalmente de pouso e decolagem, sejam mais seguras. No caso específico do vento (o cisalhamento de vento, também conhecido como tesoura de vento ou Windshear), é um fenômeno crucial no procedimento de pouso de uma aeronave. Segundo dados oficiais, ocorreram pelo menos 90 acidentes entre 1943 e 2015 associados aos cisalhamentos de ventos, com 1.736 fatalidades; porém estes fenômenos meteorológicos só foram verificados como fatores determinantes para acidentes aeronáuticos a partir de exame detalhado dos gravadores de dados do Boeing 727 da Eastern Airlines, voo 66, que caiu a poucos metros da cabeceira 22L do Aeroporto JFK em Nova York. A partir deste acontecimento, a comunidade aeronáutica iniciou estudos, pesquisas e treinamentos, a fim de compreender estes fenômenos e alertar pilotos e controladores quanto aos seus riscos associados. Este trabalho visa abordar conceitos e efeitos do cisalhamento e/ou tesouras de vento (Windshear) sobre as aeronaves e identificar, através de estudos qualitativos e quantitativos, a ocorrência de tais eventos nas proximidades do Aeroporto Internacional de Guarulhos, utilizando-se de dados de perfil de vento obtidos pelos instrumentos meteorológicos SODAR (SONic Detection And Ranging), em intervalos de 15 min, durante o período de 1 de janeiro a 31 de maio de 2016. Foram utilizados dados de velocidade e direção do vento da superfície até 2000 ft acima do solo e, com isso, foi feita uma estatística destas informações e associações destes eventos. De um total de 239.750 perfis de vento obtidos neste período (verão), obtiveram-se 125.072 casos (52,17%) de Windshear leve (0-4kt/100ft), 256 casos (0,11%) de Windshear moderado (5-8kt/100ft), 14 casos (0,01%) de Windshear severo (9-12 kt/100ft) e 6 casos (0,003%) de Windshear extremo (maior que 12 kt/100ft).

Palavras Chave: Fenômenos Meteorológicos. Tesoura de Vento. Windshear.

Study of the Occurrence of Windshear at the Sao Paulo International Airport

ABSTRACT: The meteorological phenomena have a great influence in aeronautical accidents in the world. Although it is not possible to avoid the occurrence of these natural events, several studies try to develop computational numerical models to predict them and, in this way, to make aeronautical operations, especially landing and take-off, safer. In the specific case of wind (wind shear), is a crucial phenomenon in the landing procedure of an aircraft. According to official data, there were at least 90 accidents between 1943 and 2015 associated with wind shear, with 1,736 fatalities; but these meteorological phenomena were only verified as determining factors for aeronautical accidents from a detailed examination of the data recorders of the Eastern Airlines Boeing 727, Flight 66, which fell a few meters from the 22L threshold of JFK Airport in New York. From this event, the aeronautical community began studies, research and training in order to understand these phenomena and alert pilots and controllers to their associated risks. This work aims to approach concepts and effects of wind shear on aircraft and to identify, through qualitative and quantitative studies, the occurrence of such events in the vicinity of the Sao Paulo International Airport (Guarulhos), using data from the SODAR (SONic Detection And Ranging) meteorological instruments at 15 min intervals during the period from

January 1 to May 31, 2016. Data related to wind speed and direction from the surface up to 2000 ft above the ground were analyzed and, as a result, a statistic was made of this information and associations of these events. From a total of 239,750 wind profiles obtained in this period (summer), we obtained 125,072 cases (52.17%) of mild Windshear (0-4kt / 100ft), 256 cases (0,11%) of moderate Windshear -8kt / 100ft), 14 cases (0.01%) of severe Windshear (9-12kt / 100ft) and 6 cases (0.003%) of extreme Windshear (greater than 12kt / 100ft).

Key words: Meteorological Phenomena. Windshear.

Citação: Ribeiro, DP, Fisch, GF, Junior, JBVL, Sokabe, EDJR. (2017) Estudo da Ocorrência de Cisalhamento do Vento no Aeroporto Internacional de São Paulo. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 8, No. 2, pp. 54-65.

1 INTRODUÇÃO

Voar sob condições meteorológicas favoráveis é sempre desejado por todos os pilotos e passageiros, pois além do conforto de voar em “céus de brigadeiro”, os riscos de acidentes diminuem bastante, tornando esta atividade bem mais segura. Na prática, porém, não é todo dia que se têm estas condições.

Diversos fatores meteorológicos cercam a aviação e trazem desafios diários aos pilotos quanto a evitarem as forças da natureza, principalmente aquelas advindas de tempestades – chuvas, granizos, raios e Microbursts, que causam as temidas tesouras de vento, mais conhecidas pelo termo em inglês Windshear.

Estes eventos representam grande perigo para a operação de aeronaves, principalmente a baixas altitudes e na aproximação final, fase do voo onde há pouca margem para correção de descidas ou subidas bruscas causadas por eventos inesperados.

Este artigo aborda conceitos e efeitos das tesouras de vento sobre as aeronaves, mostrando também alguns dos equipamentos utilizados atualmente para detectá-las, além de um estudo de ocorrências de Windshear no Aeroporto Internacional de São Paulo (Guarulhos), no período entre 1 de janeiro e 31 de maio de 2016. Foram utilizados dados de velocidade e direção do vento da superfície até 2000 ft acima do solo e, com isso, foi feita uma estatística destas informações e associações destes eventos. Para efeito comparativo, estes dados obtidos foram comparados aos relatórios meteorológicos do aeródromo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 DEFINIÇÕES

2.1.1 Windshear

Segundo o DECEA (2014), o termo

[...]Windshear, também denominado cortante do vento, tesoura de vento, gradiente de vento ou cisalhamento do vento, é uma mudança na velocidade do vento e/ou direção em uma distância curta, que pode ocorrer tanto horizontalmente como verticalmente e é geralmente associado a grandes inversões de temperatura ou gradientes de densidades[...].

O DECEA (2014) classifica estas ocorrências de acordo com a intensidade, nos valores abaixo, quanto ao cisalhamento vertical:

- Leve: 0 a 4kt/100ft
- Moderada: 5 a 8kt/100ft
- Severa: 9 a 12kt/100ft
- Extrema: > 12kt/100ft

Segundo a FAA (2008), este fenômeno pode ocorrer a altas ou baixas altitude e nas direções vertical e horizontal.

Os 4 tipos mais comuns de tesouras de vento a baixas altitudes são oriundos de:

- a) Atividade de Frentes (quentes ou frias);
- b) Tempestades;
- c) Inversões térmicas;
- d) Obstruções superficiais.

Os fatores causais apontados pelo DECEA (2014), são trovoadas, presença de Cumulonimbus, virga (chuvas que evaporam antes de chegar ao solo), sistemas frontais, correntes de jato de baixos níveis, ventos fortes à superfície, brisas marítimas e terrestres, ondas de montanha, linhas de instabilidade e fortes inversões de temperatura, dentre outras.

Este artigo trata apenas de Windshear em baixas altitudes (até 2000ft), pelo seu maior risco à atividade aeronáutica. Uma ilustração esquemática da formação deste evento está mostrada na figura 1.

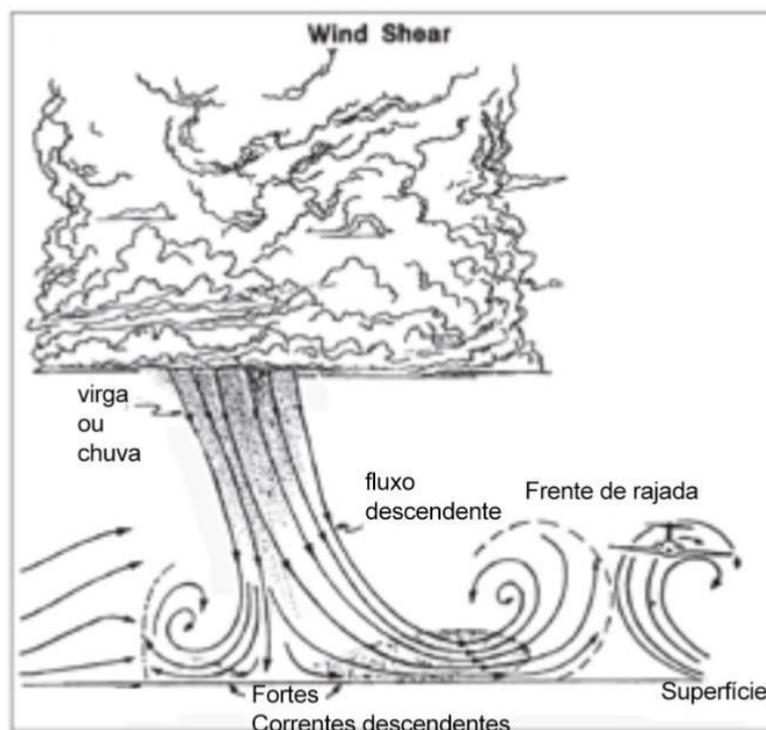


Figura 1 – Formação do Windshear. Fonte: Adaptado de FAA (2008).

2.1.1.1 Windshear de frentes quentes ou frias

Segundo a FAA (2008), nem todas as frentes têm como consequência a formação de tesouras de vento. Na verdade, as cortantes são normalmente um problema apenas nas frentes com gradientes de vento elevados. Tal como acontece com tantos fenômenos associados ao tempo, não existe uma regra absoluta, mas algumas pistas para dizer que tesouras de vento podem ocorrer:

- A diferença de temperatura entre a frente e a região que ela atinge é de 10°F (5°C) ou mais.
- A frente está se movendo a uma velocidade de, pelo menos, 30 nós.

2.1.1.2 Windshear de tempestades

Como citado pela FAA (2008), o Windshear é apenas um dos muitos aspectos desagradáveis de trovoadas. Os piores problemas, além da real abrangência da tempestade são os relacionados à presença de cisalhamento: as primeiras rajadas e o Downburst. (FAA, 2008). As rajadas de vento, em conjunto com o rápido deslocamento e aumento da intensidade do vento pouco antes de um temporal atingir o solo combinados com fortes componentes verticais de uma célula de tempestade espalham-se horizontalmente à medida que se aproximam do solo. A camada de ar frio fornece uma força ascendente no ar quente circundante, possibilitando assim o início de novas células de tempestade. (FAA, 2008).

A FAA (2008) menciona ainda que, os Microbursts são associados a tempestades intensas e são o resultado de grandes Downdrafts (massas de ar descententes) batendo no chão e espalhando para fora horizontalmente. Estes ventos podem mudar de direção em até 180 graus e atingir velocidades de 100 nós e grandes distâncias, como 16 quilômetros à frente da tempestade. A velocidade da rajada de vento pode aumentar em até 50 por cento entre a superfície e 1.500 pés, com a maior parcela do aumento ocorrendo nos primeiros 150 pés. As consequências de um evento desses para uma aproximação neste caso são catastróficas.

2.1.2 Microburst (Downburst)

O outro fenômeno relativo a ventos mencionado anteriormente, o Microburst, também conhecido como mini-size Downburst, foi introduzido por Fujita, em 1976, e Byers, em 1977 e foi definido como sendo um Downdraft que causa ventos destruidores no solo ou em suas proximidades (FUJITA, 1980) e, foi nomeado assim devido ao fato de ser um Downburst menos severo que, assim como o downdraft, também está relacionado a uma corrente descendente. Geralmente este último fenômeno ocorre em uma área muito maior e seus ventos geralmente não atingem intensidades elevadas. (MERSEREAU, 2014).

Segundo a FAA (2008), o Microburst trata-se de um fenômeno extremamente intenso e caracteriza-se pela presença de uma corrente descendente localizada a partir de um temporal, que ultrapassa a velocidade vertical de 720 pés por minuto a 300 pés acima do solo ou, segundo Mersereau (2014, p.1):

[...]Microbursts são uma súbita rajada descendente de vento a partir da base de uma tempestade, onde o ar pode se aproximar em direção ao solo a uma velocidade de 60 mph (aprox. 100km/h) antes de atingir a superfície, espalhando-se em todas as direções, podendo exceder 100 mph (aprox. 160 km/h) nos casos mais fortes.[...]

O poder deste evento pode exceder as capacidades de subida de aeronaves, não só de modelos de pequeno porte, mas até mesmo em caças de alto desempenho da Força Aérea (FAA, 2008). Além da intensidade elevada, o Microburst, dificilmente é detectado por sistemas de alerta de Windshear devido à sua curta duração. (SPENCER e TYNAN, 2015).

A figura 2 ilustra os componentes do Microburst.



Figura 2 - Esquemático de um Microburst. Fonte: Adaptado de Mersereau (2014).

2.1.2.1 Formação de Microbursts

Segundo Mesereau (2014), as tempestades são formadas por dois componentes, um ascendente e um descendente. O primeiro conduz ar quente e úmido para cima, enquanto o segundo leva para o solo ar arrefecido, juntamente com precipitação de chuva.

Conforme afirma Mersereau (2014), os Microbursts podem ser causados por dois processos: deslocamentos de ar seco e misturas de água. O primeiro processo ocorre quando o ar seco se mistura às gotas de chuva em uma nuvem. O ar seco faz as gotas evaporarem, diminuindo a temperatura do ar através de resfriamento evaporativo. Esta área de ar mais frio, por ser mais densa, começa a descer pela tempestade e vai ganhando velocidade. Se houver um elevado e rápido gradiente de temperatura sob a tempestade, as bolhas de ar frio descerão mais rapidamente, pois o ar ao seu redor irá subir mais quente e menos denso, na região mais próxima ao solo. Essa coluna de ar que desce rapidamente irá eventualmente atingir o solo e se espalhar em todas as direções, com ventos que passam de 100 km/h, criando o Microburst.

Outro processo que contribui para a formação de Microbursts, apontado por Mersereau (2014), é devido ao peso das gotas de água advindas da tempestade, combinado com o deslocamento de ar seco; isso pode corroborar com o transporte do ar frio à superfície, criando um Microburst.

Os dois tipos de Microbursts, os secos e úmidos são definidos conforme Mersereau (2014):

- Microbursts secos: ocorrem em regiões com climas de baixa umidade e se formam pelo deslocamento de ar seco em direção ao solo. Neste caso o fenômeno ocorre sem precipitações, sendo visível apenas por eventuais nuvens de poeira e sujeira levantadas durante as rajadas;
- Microbursts úmidos: ocorrem juntamente com tempestade e se formam pelo deslocamento de ar causado pela queda d'água da chuva aliado ao resfriamento do ar seco, causando o fenômeno. Visualmente, os Microbursts úmidos aparentam uma nuvem em formato de cogumelo invertido, com uma estreita queda de chuva na trajetória nuvem-solo, com fortes rajadas de água-vento e nuvens de poeira sendo levadas do ponto de impacto na superfície.

A figura 3 mostra um exemplo real de formação de um Microburst úmido.



Figura 3 - Microburst em formação. Fonte: National Weather Service (2011).

2.1.2.2 Previsão de Microbursts

Os Microbursts, conforme citado anteriormente, são eventos muito difíceis de serem previstos, devido à velocidade em que se formam e ocorrem. Segundo o NWS (NATIONAL WEATHER SERVICE, 2011), estes fenômenos geralmente são detectáveis entre 6-12 horas antes da ocorrência. Os meteorologistas utilizam diversos parâmetros atmosféricos para tentar prever o potencial deste fenômeno, que geralmente ocorre nos meses de verão: instabilidade, alto potencial chuvoso e ar seco, com ar seco em altitudes médias seguido de ventos fortes nas camadas inferiores. Esses são somente alguns parâmetros necessários para a formação de Microbursts e estão mostrados na figura 3, utilizada didaticamente no Project COMET (Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training), criado pelo NWS para estudos aprofundados de meteorologia de mesoescala, no treinamento de metodologias de previsão do potencial de Microbursts.

A figura 4 mostra uma condição estudada pelo Project COMET nos Estados Unidos, utilizada como exemplo de condições favorecedoras ao surgimento de Microbursts. Este gráfico, conhecido como Skew-T-Log-P, representa através de curvas, variáveis de umidade e temperatura com níveis de condensação e energia. Os valores medidos são representados em duas curvas: a verde representa o ponto de orvalho e a vermelha representa a temperatura em função das outras variáveis. As figuras representadas pela letra “A” e conhecidas como wind barbs, indicam a intensidade e direção do vento. No caso em questão foi encontrada elevada intensidade de vento (acima de 55 kt- 100km/h) na região entre aproximadamente 500 e 800 hPa, assim como a presença de ar seco em altitudes médias, com uma consequente mudança de umidade a baixas altitudes, criando condições favoráveis ao surgimento de Microbursts exatamente iguais às abordadas no tópico 1.2.1.

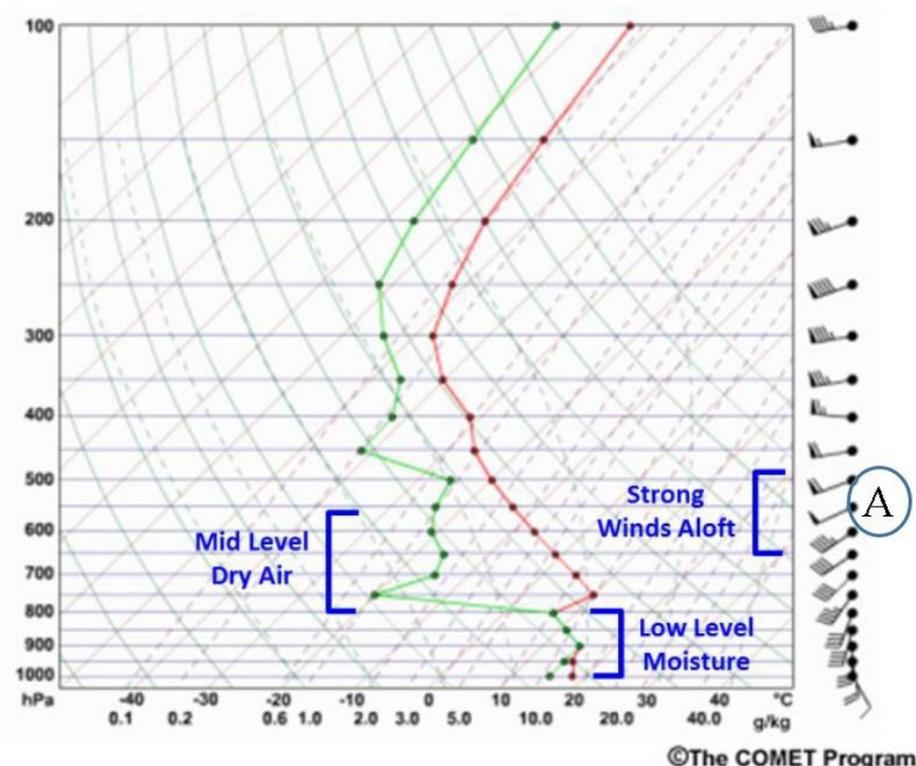


Figura 4 – Gráfico Skew-T-Log-P, mostrando condições favoráveis à ocorrência de Microbursts. Fonte: National Weather Service (2011).

2.1.3 Riscos relacionados à aviação

Os primeiros 500m de atmosfera partindo da superfície são os mais críticos, principalmente para os estágios iniciais e finais das operações de voo, por conta da presença de turbulência, Windshear, mudanças bruscas na direção do vento e formação de neblina. Esses eventos atmosféricos transientes a baixa altitude têm grande impacto na segurança de voo nas fases de decolagem, aproximação final e pouso, pois são nestas que as aeronaves normalmente encontram-se à baixa velocidade e com manobrabilidade comprometida, devido ao fato de os flaps estarem estendidos, os spoilers armados e trem de pouso baixo (LUIZ SILVA ET AL., 2016), condições que desfavorecem a aerodinâmica da aeronave, devido à tração e sustentação estarem prejudicados.

Os Microbursts certamente são um dos maiores perigos à atividade aeronáutica, principalmente nas etapas de decolagem e pouso. Como apontado por Fuji (1980), devido à suas pequenas dimensões horizontais, estes fenômenos podem causar uma forte rajada de ventos de proa a cauda em combinação com fortes correntes descendentes, até altitudes próximas ao solo, causando fortes tesouras de vento (Windshear).

A figura 5 ilustra os riscos deste fenômeno durante o pouso. No ponto 1, a aeronave está em aproximação final para o aeroporto, indo lenta e baixa em direção ao solo. No ponto 2, esta sofre um aumento acentuado na velocidade aerodinâmica (vento de proa, que aumenta a sustentação), assim como o deslocamento encontra uma forte rajada a partir da borda do Microburst. Se os pilotos não souberem o que está acontecendo, eles vão reduzir a potência para reduzir a velocidade. Com a aeronave voando para dentro do Microburst (ponto 3), os ventos irão empurrá-la diretamente para baixo, gerando uma rápida perda de altitude. Com isso, os pilotos tendem a aumentar a potência dos motores e reduzir o ângulo de ataque para ganhar velocidade e sustentação a fim de levar o avião de volta para uma altitude segura. No ponto 4, o avião agora experimenta um forte vento de cauda, reduzindo consideravelmente sua sustentação e velocidade aerodinâmica, podendo gerar uma situação de stall, o que possivelmente ocasionaria em queda da aeronave. (MERSEREAU, 2014)

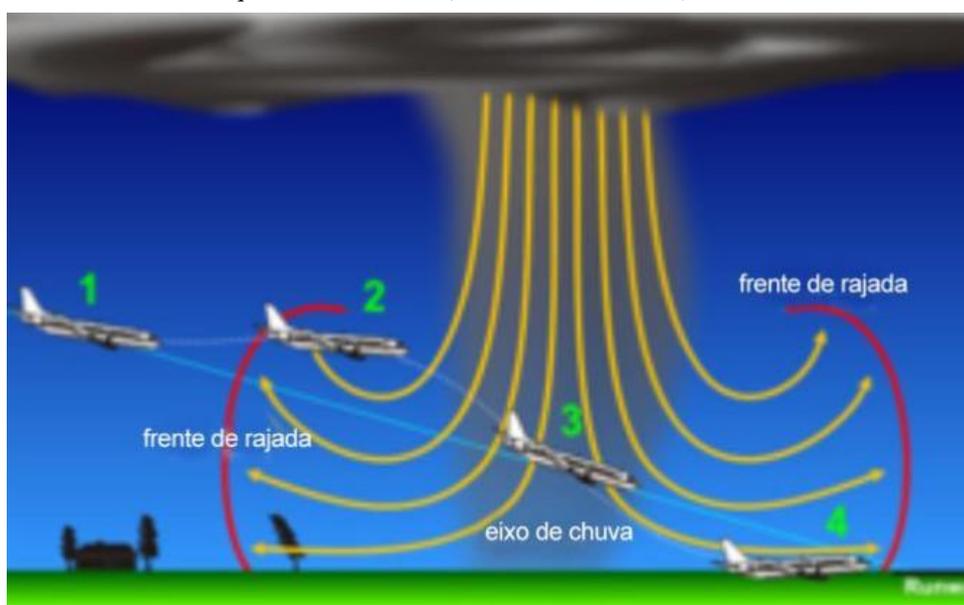


Figura 5 - Riscos do Windshear para o pouso de aeronaves. Fonte: Adaptado de Mersereau (2014).

2.1.4 Medidas Preventivas para o Windshear

Segundo NASA (1992), os pilotos precisam de 10 a 40 segundos de aviso prévio para evitar o Windshear. Uma sinalização em um intervalo de tempo inferior a 10 segundos do evento não é tempo suficiente para o piloto reagir, enquanto que um alarme a mais de 40 segundos da ocorrência é muito antecipado, tendo em vista que as condições atmosféricas podem alterar rapidamente à medida em que o tempo passa. A figura 6 mostra a evolução dos mecanismos que surgiram para evitar acidentes com aeronaves causados por Windshear, separados cronologicamente. A evolução relativa aos fatores humanos é abordada em “treinamentos”, a dos equipamentos de aeronaves é mostrada em “sistemas de bordo” e a dos equipamentos terrestres são os relativos a LLWAS/TDWR/WSP.

As principais medidas contra Windshear utilizadas atualmente baseiam-se em 3 vertentes:

- Fator humano: segundo Simão (2013), os pilotos devem seguir o programa de treinamento recomendado pelo Federal Aviation Administration no documento *Pilot Windshear Guide* (FAA, 1988), composto por exercícios básicos e opcionais que têm por objetivo dar aos pilotos noções práticas sobre as características de voo das aeronaves sob condições de cortante de vento e medidas preventivas e técnicas de recuperação mais adequadas a cada fase de operação. Além disso, o *Doc 9817 – Manual on Low-level Wind Shear* (ICAO, 2005) apresenta um fluxograma para tomada de decisões e ações que pode ser utilizado tanto nos treinamentos de simulador como em situações reais de Windshear.
- Equipamentos de voo: com o avanço da tecnologia, as aeronaves têm evoluído bastante no sentido de detecção precoce de eventos indesejáveis com instrumentos como radares meteorológicos do tipo Doppler e de microondas, que detectam a maioria das ocorrências em tempo hábil de os pilotos tomarem ações preventivas. Além disso, sistemas como o GPWS (*Ground Proximity Warning System* – Sistema de aviso de proximidade do solo), *stick shaker* (sistema de vibração do manche para aviso de *stall*) e os mais diversos alarmes presentes nas aeronaves modernas avisam aos pilotos proximidade de obstáculos a frente, perda de sustentação e outras anomalias no voo. O Boeing 777 possui um dos sistemas mais modernos de detecção de eventos adversos, chamado PWS (*Predictive Windshear Warning System*), que detecta o fenômeno em seus radares meteorológicos, porém com boa eficiência apenas para ocorrências de *Windshear* com presença de água, pois este sistema baseia-se na detecção da velocidade de movimentação das partículas de água ou gelo à frente da aeronave. (SKYBRARY, 2016).

- Equipamentos de solo: Os radares de terra possuem avançados de previsão do tempo e sistemas de detecção de *Windshear* a baixas altitudes em suas proximidades, gerando assim reportes de tempos em tempos sobre as condições climáticas locais. Um dos primeiros LLWAS (*Low Level Windshear Alerting System* – Sistema de Alerta de Windshear a Baixa Altitude) citado por Skybrary (2016) é o do tipo anemômetro, o qual detecta o evento com base exclusivamente na velocidade do vento. Este tipo foi gradualmente substituído pelo do tipo TDWR (*Terminal Doppler Weather Radar* – Radar Meteorológico do tipo Doppler), que detecta o fenômeno baseado em medições atmosféricas tridimensionais, com precisão e velocidade de detecção melhores em relação aos sistemas mais primitivos (anemômetros). Este sistema tem capacidade de detectar fenômenos a longas distâncias e por isso não necessariamente as estruturas físicas precisam estar nas dependências aeroportuárias. Alguns aeroportos de médio tráfego nos EUA utilizam uma alternativa de menor custo, porém com resultados similares, chamado de WSP (*Weather Systems Processor* – Processador de sistemas climáticos). Este geralmente utiliza o radar ASR-9, capaz de monitorar tráfego e clima, em conjunto com o sensor de velocidade e direção do vento já instalado no aeroporto, tendo a capacidade de detecção de microbursts à distância de 15 milhas náuticas (27,7km), além de frentes de rajadas, monitoramento de ventos e precipitações, *Windshear* e demais eventos meteorológicos que possam impactar as operações aeroportuárias, possibilitando aos controladores de tráfego avisar às tripulações em tempo hábil para tomada de providências. (STEINHORN, 2009).

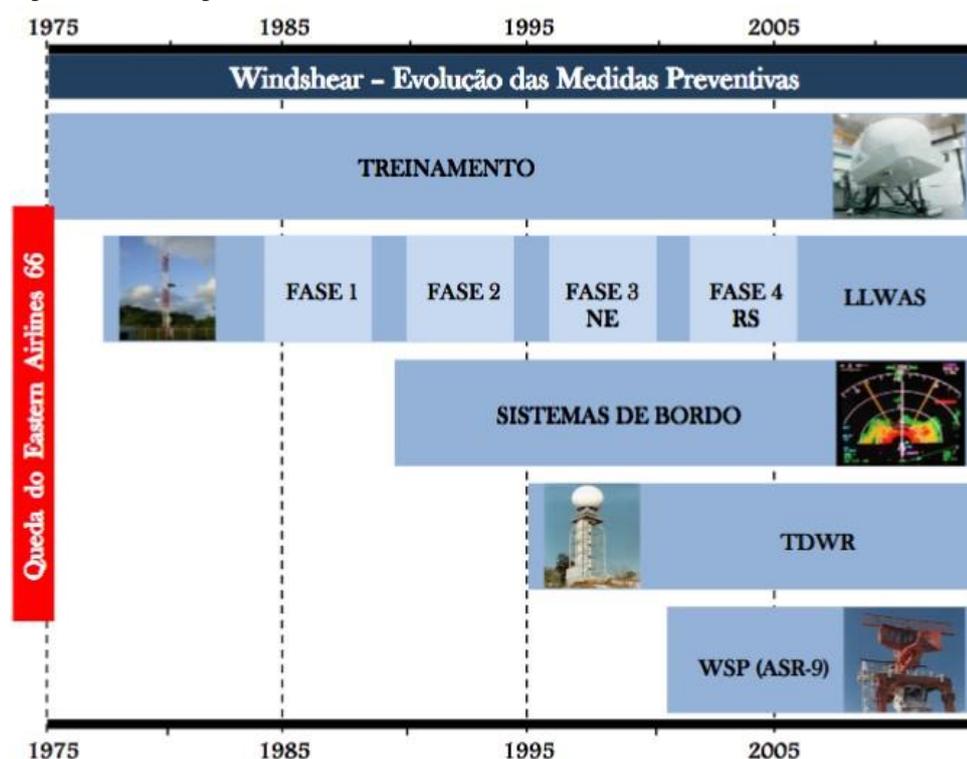


Figura 6 - Evolução das medidas preventivas contra Windshear. Fonte: Simão (2013).

Segundo Cabral (2006), nas Estações Meteorológicas de Superfície, existentes em mais de 100 aeródromos brasileiros, são confeccionados e difundidos de hora em hora boletins meteorológicos onde constam as informações reais da área do aeródromo e que servirão de base às operações de pouso e decolagem.

Tem-se a elaboração de 2 tipos de boletins, baseados em códigos, que são difundidos para fora do aeródromo: – METAR (*ME*eteorological *A*erodrome *R*eport - Informe meteorológico regular de aeródromo) e SPECI; o boletim METAR é elaborado automaticamente de hora em hora, enquanto o SPECI é de caráter esporádico, sendo emitido no período entre 2 METARs, somente nas condições de mudanças bruscas (quando há a elevação de 2°C ou mais desde a última observação ou quando for constatada a presença de turbulência moderada ou forte ou gradiente de vento, chuva, etc. (CABRAL, 2006).

Os METAR/SPECI são codificados conforme especificado abaixo:

METAR | SBRJ | 231200Z | 31015G27KT | 280V350 | 4000 | -RA | SCT020 | BKN120 | 25/20 | Q1012 | =

Onde:

- **METAR** ou **SPECI** é o tipo de mensagem;
- **SBRJ** é o código do aeródromo;
- **231200Z** é o dia e hora, em UTC (representado pela letra Z);
- **31015G27KT** indica a direção do vento(310°), velocidade (15 nós) e rajadas (27 nós). KT é a unidade (nós);
- **280V350** indica que há variações do vento entre 280° e 350°;
- **4000** representa a visibilidade horizontal, em metros;

- **-RA** indica a presença de chuva (RA) leve (-) sobre o aeródromo. Este campo também pode conter outros códigos: **DZ** = chuvisco, **RA** = chuva, **TS** = trovoada **GR** = granizo, **SH** = pancada, **HZ** = névoa seca, **BR** = névoa umida e **FG** = nevoeiro (visibilidade abaixo dos 1000 metros), podendo ser de intensidade moderada (sem símbolo), leve (-) ou severa (+);
- **SCT020** e **BKN120** indicam a presença de nuvens em 2 níveis diferentes; os três dígitos após os indicadores se referem a altitude em hectopés (x100 pés). Neste exemplo há nuvens esparsas a 2.000 pés e céu nublado a 12.000 pés. Os códigos relativos a nuvens podem ser **NSC** = Sem nuvens significativas (nenhuma nuvem abaixo de 5000 pés e nenhuma presença de **TCU** = Towering Cumulus e **CB** = Cumulusnimbus), **FEW** = Poucas Nuvens, **SCT** = Nuvens Esparsas, **BKN** = Nublado, **OVC** = Céu Encoberto;
- **25/20** indicam a temperatura e ponto de orvalho (graus Celsius).
- **Q1012** é a pressão atmosférica em Hectopascals (hPa).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi baseado em uma pesquisa quantitativa da presença de Windshear, com dados advindos do perfilador de vento do tipo SODAR, cedidos pela INFRAERO. Segundo Luiz Silva et al., (2016), esse equipamento é um perfilador de vento de baixo custo e com facilidade de instalação, que usa a reflexão de pulsos acústicos nas não homogeneidades da atmosfera para estimar a direção e velocidade tridimensionalmente, em intervalos de 15 minutos, com uma resolução vertical de 10 metros e alcance vertical máximo de 500 metros.

O Aeroporto de Guarulhos (figura 7) possui 2 pistas paralelas, sem operações simultâneas: 09L (27R) e 09R (27L), medindo respectivamente 3700m e 3000m (DECEA, 2015) O equipamento utilizado neste trabalho está localizado na cabeceira da pista 27L e os dados foram levantados durante o período de 01 de Janeiro a 31 de Maio de 2016, para em seguida serem tratados e representados graficamente utilizando o aplicativo APRun.

As ocorrências apontadas como Windshear foram classificadas de acordo com a intensidade, baseado nos parâmetros de classificação do DECEA (2014):

- Leve: 0-4 kt/100ft;
- Moderada: 5-8 kt/100ft;
- Severa: 9-12 kt/100ft;
- Extrema: maior que 12 kt/100ft.

Adicionalmente os dados do SODAR foram comparados aos registros de “Avisos de Aeródromo” e METAR/SPECI, extraídos do sistema OPMET (<http://www.redemet.aer.mil.br/?i=produtos&p=consultade-mensagens-opmet>) para relacionar possíveis reportes de Windshear.

A figura 8 mostra uma ilustração do equipamento SODAR. A figura 9 mostra as convenções de sinais utilizados para representação gráfica dos vetores de velocidade e direção do vento utilizadas pelo aplicativo APRun, de acordo com o manual de utilização do usuário.



Figura 7 - Vista Aérea do Aeroporto de Guarulhos. Fonte: Luiz Silva et al. (2016).



Figura 8 - Ilustração do SODAR. Fonte: Luiz Silva et al. (2016).

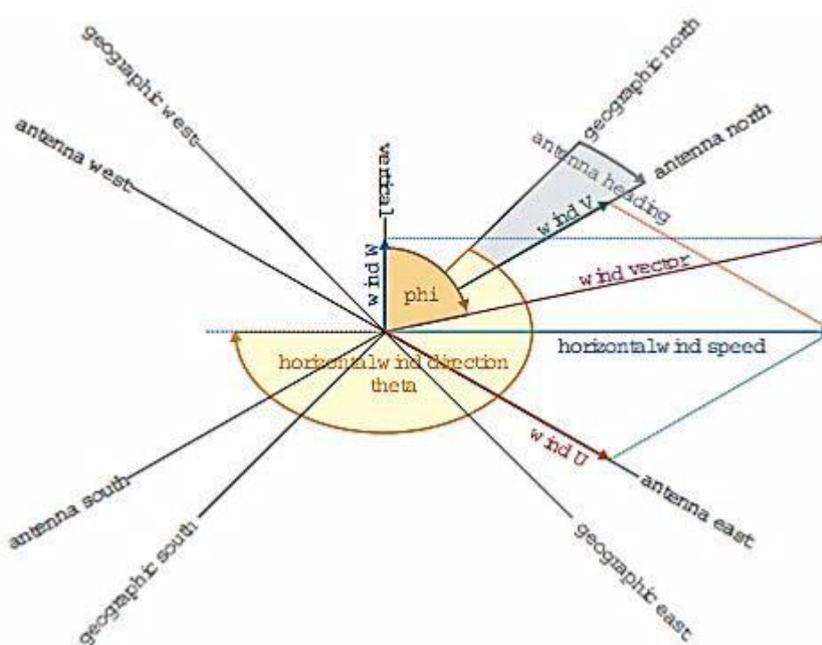


Figura 9 - Convenção de direções do vento utilizada pelo aplicativo APRun. Fonte: Scintec Ag. (2011).

4 RESULTADOS OBTIDOS

A partir dos dados analisados foi constatado um grande número (da ordem de milhares) de ocorrências de Windshear, entretanto, em sua grande maioria (98,69%), de intensidade leve, os quais normalmente não são reportados por pilotos e, conseqüentemente não são registrados pelos controladores de voo. O quadro 1 mostra um sumário dos resultados verificados neste período.

LEVE	365.785	98,69%
MODERADA	4.801	1,30%
SEVERA	42	0,01%
EXTREMA	6	0,002%
Total	370.634	

Fonte: O autor (2017).

Quadro 1 - Sumário das ocorrências de *Windshear* em Guarulhos no período estudado.

Apesar de a maioria das ocorrências serem de intensidade leve, algumas ocorrências merecem estudos mais aprofundados, como aquela ocorrida entre os dias 15 e 16 de Janeiro de 2016, no horário de 22 a 04 UTC, apresentada na figura 9.

Trata-se de uma ocorrência de *Windshear* classificada como extrema, de acordo com a intensidade máxima do período (17,83 kt/100ft, destacado na área marcada em vermelho).

Analisando a figura 10, nota-se ocorrência de *Windshear* em uma larga faixa de valores de altitude a partir das 22 UTC do dia 15, de intensidade leve (0-4 kt/100ft).

Por volta de 22:30 UTC, este torna-se moderado (5-8 kt/100ft) a baixas altitudes (100-200 ft), atingindo nos momentos seguintes esses valores em altitudes de até 300 ft.

Em seguida o *Windshear* adquire valores classificados como severos/extremos na área marcada em vermelho, por volta de 00 UTC (com valores 10 e 17 kt/100ft nas altitudes de aprox. 100-130 pés), perdendo força novamente na medição feita às 02 UTC, sendo ainda registradas ocorrências leves até o fim do período (4 UTC).

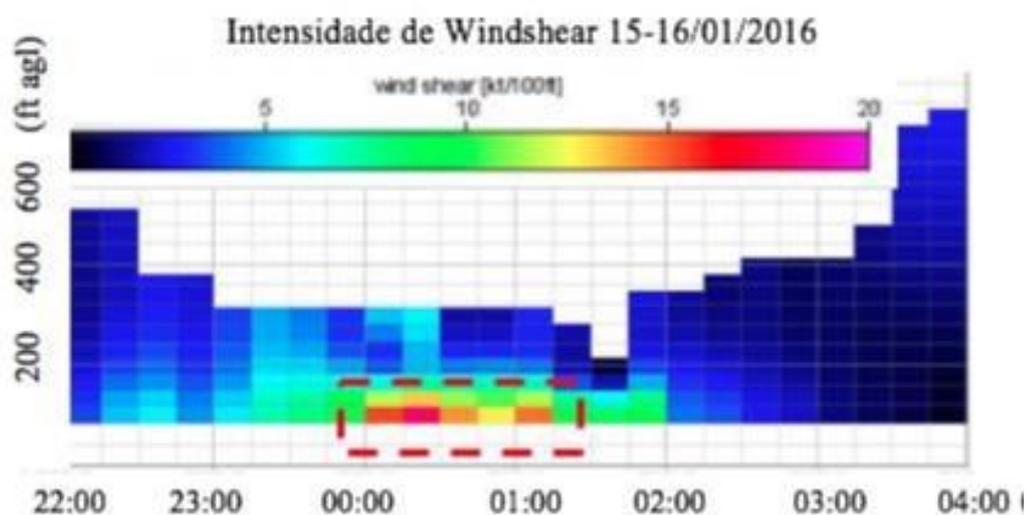


Figura 10 - Intensidade de *Windshear* de 15/01/2016 22 UTC a 16/01/2016 04 UTC. Fonte: O autor (2017).

Em relação ao vetor velocidade do vento, constata-se elevados gradientes de ventos para o período, com destaque à região da figura 12 b), onde o vento varia de 20 kt a 300 ft para 5 kt a 100 ft. Essa mudança repentina de velocidade do vento pode gerar um *Windshear*, influenciando os valores de vento de proa ou de cauda de uma aeronave a baixas altitudes, podendo causar acidentes. Por volta de 02 UTC as correntes de vento mudaram de direção e intensidade, diminuindo o gradiente de velocidade, tornando-se mais calmas. Isso pode ser confirmado pelo METAR, representado posteriormente.

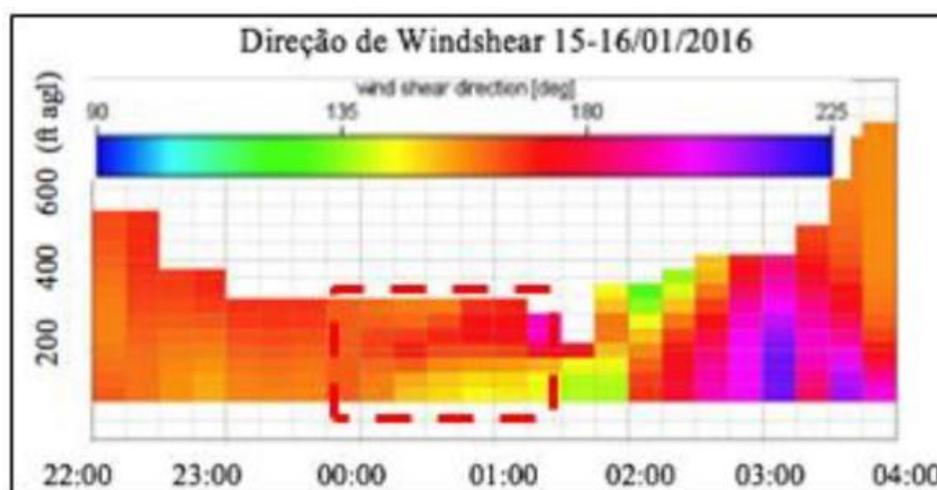


Figura 11 - Direção de *Windshear* em 15/01/2016 22 UTC a 16/01/2016 04 UTC. Fonte: O autor (2017).

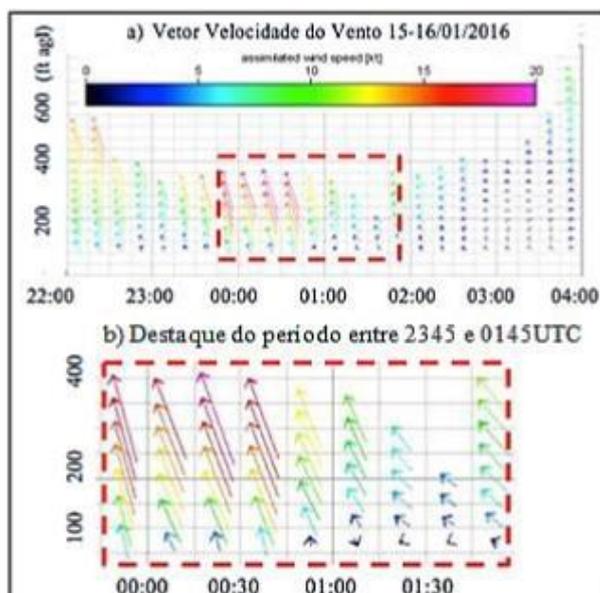


Figura 12 - a) Vetor velocidade do vento 15/01/2016 22 UTC a 16/01/2016 04 UTC; b) Destaque do período entre 2345 e 0145 UTC. Fonte: O autor (2017).

Em relação à direção, o *Windshear* registrado neste período está representado na figura 11. O cisalhamento se inicia na direção sul-sudeste (aprox. 160 graus) às 22 UTC e segue constante até o momento em que o fenômeno se intensifica, aproximadamente a 0030 UTC, quando a direção chega a variar de 140 graus (sudeste) a 100 pés de altitude para 190 graus (sulsudoeste) a 260 pés de altitude.

Os METAR/SPECI reportados para o período estudado estão representados no quadro 2. Os pontos mais relevantes encontrados na análise destes foram:

- Às 22 UTC havia a ocorrência de chuva leve e névoa úmida, nuvens esparsas e céu encoberto a 800 pés, com visibilidade de 5 km;
- Às 2235 UTC foi emitido uma mensagem SPECI, quando não mais foi reportado chuva ou névoa, porém o céu continuava nublado e encoberto. A visibilidade passou a ser total;
- No início da ocorrência registrada pelo SODAR (por volta de 00 UTC), o METAR não registrou nenhuma alteração meteorológica típica de *Windshear*;
- No fim do período analisado (04 UTC), a visibilidade estava total e o vento calmo.

Além dos dados do METAR, não há outros reportes de *Windshear* registrados para o período no sistema OPMET (<http://www.redemet.aer.mil.br/?i=produtos&p=consulta-demensagens-opmet>), no campo “Aviso de Aeródromo”, o que indica que este evento não foi reportado por nenhuma aeronave.

Mensagem

METAR SBGR 152200Z 17006KT 5000 -RA BR SCT005 OVC008 20/20 Q1012=

SPECI SBGR 152235Z 16005KT 9999 BKN010 OVC020 21/20 Q1012=

METAR SBGR 152300Z 14005KT 9999 BKN010 OVC080 20/20 Q1012=

METAR SBGR 160000Z 15007KT 9999 BKN010 OVC080 20/19 Q1013=

METAR SBGR 160100Z 16005KT 9999 BKN010 BKN015 BKN080 19/18 Q1014=

METAR SBGR 160200Z 13004KT 9999 BKN013 BKN030 BKN080 19/18 Q1014=

METAR SBGR 160300Z 15002KT 9999 SCT013 19/18 Q1013=

METAR SBGR 160400Z 00000KT 9999 FEW013 18/17 Q1013=

Quadro 2 - METAR/SPECI no período de 15/06/2016 22 UTC a 16/06/2016 04 UTC. Fonte: REDEMETS (2016).

5 COMENTÁRIOS FINAIS

O *Windshear*, devido a seu poder letal para a aviação, deve ser constantemente monitorado, já que, devido ao fato de ser um fenômeno extremamente transiente, faz com muitas vezes a atividade de detecção em solo e reporte aos pilotos não chegue a tempo para a tomada de ações da tripulação do voo, trazendo riscos à operação segura.

Este artigo mostrou que o *Windshear* é um fenômeno bastante presente no aeródromo de Guarulhos, com 370.634 ocorrências reportadas entre janeiro e maio de 2016, com medições a cada 15 minutos. Devido à sua elevada ocorrência durante o período estudado, é essencial que se estendam as ações para a criação de mecanismos terrestres que visem o estudo das condições que tornam propícias à formação deste fenômeno natural para esta localidade.

Futuramente, será simulada a presença destes eventos com um modelo atmosférico regional (*WRF – Weather Research Forecast – Previsão por Pesquisa Meteorológica*), para se entender melhor a associação entre a convecção, formação de nuvens e ocorrência de cisalhamento do vento intenso, trazendo desta forma medidas preventivas para pilotos para que estes consigam antecipar-se e tomar ações para manter o voo seguro.

AGRADECIMENTOS

À INFRAERO pela colaboração e levantamento dos dados do perfilador SODAR do Aeroporto de Guarulhos. Ao Comando da Aeronáutica, por meio do DECEA, como proprietário do perfilador (SODAR) e do CTCEA, como gestora dos projetos relacionados ao equipamento.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 15/ICA, de 14 de julho de 2015. Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromo (PBZPA) e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea (PZPANA) para o Aeroporto Internacional de Guarulhos (SBGR), e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 17 jul. 2015. Seção 1, p.10.
- CABRAL, E. Meteorologia Aeronáutica. **Introdução à Meteorologia Aeronáutica**, 17 Maio 2006.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Windshear**, Abril 2014. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/uploads/2014/04/wind_shear.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2016.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **Advisory Circular AC-0054: Pilot wind shear guide**. Washington, EUA. 1988. 64 p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **FAA-P8740-40: Wind shear**. n. HQ101130. Washington, EUA. 2008.
- FUJITA, T. T. Downbursts and microbursts - an aviation hazard. In: NINETEENTH CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY. **Anais...** Boston: The American Meteorological Society. 1980. p. 94-101.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Doc 9817: Manual on Low-Level Wind Shear**. Montreal: Canadá, 2005.
- LUIZ SILVA et al. Conceptual model for runway change procedure in Guarulhos International Airport based on SODAR data. **The Aeronautical Journal**, v. 120, n. 1227, p. 725-734, May 2016. ISSN DOI 10.1017.
- MERSEREAU, D. Explaining Microbursts, One of Nature's Most Dangerous Wind Storms. **The Vane**, 2014. Disponível em: <<http://thevane.gawker.com/explaining-microbursts-one-ofnatures-most-dangerous-w-1643929336>>. Acesso em: 11 de Abril de 2017.
- NORTH AMERICAN SPACE AGENCY. (NASA). **Making the Skies Safe from Windshear**, June 1992. Disponível em: <<http://nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Windshear.html>>. Acesso em: 30 June 2016.
- NATIONAL WEATHER SERVICE. What is a Microburst? **National Weather Service**, 2011. Disponível em: <https://www.weather.gov/bmx/outreach_microbursts>. Acesso em: 17 de Abril 2017.
- REDEMET. Consulta de Mensagens OPMET. **REDEMET**, 15/16 Janeiro 2016. Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br/?i=produtos&p=consulta-demensagens-opmet>>. Acesso em: 03 Julho 2017.
- SCINTEC AG. **Software Manual APRun**. Rottenburg: [s.n.], v. 1.24, 2011.
- SIMÃO, A. C. Tesouras de Vento e a Segurança de Voo. Revista Conexão SIPAER, v. 4, n. 2, p. 149-188, mar-abr 2013. ISSN 2176-7777.
- SKYBRARY. Airborne Wind Shear Warning Systems. **Skybrary**, 2016. Disponível em: <http://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Wind_Shear_Warning_Systems>. Acesso em: 2 de Maio 2017.
- SPENCER, R.; TYNAN, M. **Windshear, microbursts, thunderstorms and lightning strikes: phenomena identification and impacts in flight**. Griffith University. Brisbane, p. 7-13. 2015.
- STEINHORN, I. Meteorological support of the weather systems processor (WSP) operation. In: SPECIAL SYMPOSIUM ON WEATHER - AIR TRAFFIC MANAGEMENT INTEGRATION, **Anais...** Phoenix, AZ, 11-15 Janeiro 2009. 1-7...