

# IMPACTOS NA CAPACIDADE AÉREA ATRAVÉS DA RE-CATEGORIZAÇÃO DA ESTEIRA DE TURBULÊNCIA DAS AERONAVES

Daniel Alberto Pamplona (ITA) pamplonadefesa@gmail.com

Thyago Silva Hermeto (ITA) thyagohermeto@globo.com

Claudio Jorge Pinto Alves (ITA) claudioj@ita.br

Carlos Muller (ITA) muller@ita.br

**Resumo:** A indústria do transporte aéreo tem se caracterizado pelo constante aumento da demanda no lado aéreo. Devido à dificuldade para a ampliação física dos aeroportos e construção de novas pistas de decolagem, várias soluções vêm sendo analisadas pelos especialistas para aumentar a capacidade de operação. Dentre as soluções, a redução da separação horizontal das aeronaves e implementação da recategorização da esteira de turbulência (RECAT) é tida como a melhor a ser implementada a curto prazo. O objetivo deste artigo é através da revisão da literatura existente investigar e analisar as características conceituais e operacionais da esteira de turbulência e os impactos que uma recategorização das aeronaves trará a capacidade aérea nos aeroportos e no fluxo de aeronaves ao propor uma diminuição da separação entre aviões e consequente aumento da quantidade total de movimentos por hora. Os resultados mostram que onde foi implantado, o RECAT trouxe um aumento de até 20% na capacidade do lado aéreo. A implantação do RECAT é importante para os avanços previstos nos programas de modernização da navegação aérea e seu entendimento é necessário para o planejador aeroportuário e profissional de logística.

**Palavras-chave:** RECAT, recategorização, capacidade aérea, esteira turbulência.

## IMPACTS ON AIR CAPACITY THROUGH THE IMPLEMENT OF THE RE-CATEGORIZATION OF AIRCRAFT WAKE VORTEX

**Abstract:** The air transport industry has been characterized by long-term growth and increase demand for air capacity. Due to the difficulty for physical expansion of airports and construction of new runways, several solutions have been analyzed by experts to increase the operating capacity. Among the solutions, the decrease of the horizontal separation of aircraft and implementation of the re-categorization of the wake turbulence (RECAT) is considered the best-implemented solution in the short term. The purpose of this article is through the literature review investigate and analyze the conceptual and operational characteristics of wake turbulence and the impact that a re-categorization of aircraft will impact in the air capacity at airports and aircraft flow through a reduction of separation between aircraft and the consequent increase in the total amount of movements per hour. The results show that where it was implemented, the RECAT brought an increase of up to 20% capacity in the airside. The implementation of RECAT is important for advances provided for in the air navigation modernization programs and understanding is required for the airport and logistic professional planner.

**Keywords:** RECAT, re-categorization, air capacity, wake vortex.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos grandes problemas enfrentados pelos sistemas aeroportuários é a limitação na capacidade de operação. Esse obstáculo tem se acentuado à medida que a aviação mundial tem crescido a taxas médias de aproximadamente 5% ao ano. Um estudo realizado pela Agência de Controle do Tráfego Aéreo na Europa (EUROCONTROL) previu que, no ano 2035, até 4,4 milhões de voo por ano ou 20% da demanda não poderão ser realizados por problemas de capacidade nos aeroportos europeus. Dentre os 50 maiores aeroportos, 20 estarão operando por seis ou mais horas do dia, com 80% ou mais de sua capacidade (EUROCONTROL, 2013).

Os pesquisadores da área aeroportuária têm dedicado esforços com o objetivo de aumentar a capacidade dos aeroportos. A capacidade pode ser definida como sendo a habilidade do aeródromo em acomodar as chegadas e partidas no lado aéreo e na área do terminal de

passageiros em acomodar os passageiros, sendo geralmente expressada em operações por hora no lado aéreo. Nesse artigo estaremos estudando a capacidade aérea que é definida como sendo o número máximo de operações aéreas que podem ser realizadas em uma hora seguindo as condições determinadas de operação (Ashford, Mumayiz e Wright, 2011).

A capacidade aérea depende de muitos parâmetros e fatores. São considerados como os fatores mais importantes que influenciam na capacidade: o número e geometria das pistas, as separações entre as aeronaves providas pelos órgãos de controle do tráfego aéreo, as condições meteorológicas, a combinação do tipo de aeronaves que operam em um aeroporto, a combinação do sequenciamento de aeronaves além das restrições de operação por questões ambientais (De Neufville e Odoni, 2003).

Devido à dificuldade em ampliação física dos aeroportos, em grande parte por causa dos elevados custos associadas a tal tarefa, assim como em muitas das vezes por não existir a disponibilidade territorial para o aumento do aeroporto, a solução mais promissora para o aumento da capacidade é a redução da separação horizontal entre as aeronaves, aumentando o fluxo de operações de um aeroporto.

A metodologia de separação por categoria de esteira de turbulência começou a ser empregada na década de 70 e foi criada com o intuito de evitar o risco da aeronave seguidora enfrentar dificuldades de controle ao entrar na esteira de turbulência da aeronave líder, tendo essa preocupação aumentado à medida que as aeronaves se tornaram mais rápidas, maiores e com maior peso de decolagem.

O fenômeno físico da esteira de turbulência é visto atualmente como o maior obstáculo para a redução das separações entre aeronaves, demandando um maior entendimento do funcionamento das esteiras de turbulência geradas pelas aeronaves. Maneiras de se detectar e prever a localização dos vórtices e como se dá o enfraquecimento da esteira são os objetivos das questões a serem melhor compreendidas (Breitsamter, 2011).

O objetivo do estudo foi através da revisão da literatura existente investigar e analisar as características conceituais e operacionais da esteira de turbulência e os impactos que uma recategorização das aeronaves trará a capacidade aérea nos aeroportos e ao fluxo de aeronaves ao propor uma diminuição da separação entre aviões e consequente aumento da quantidade total de movimentos por hora.

Por ser um programa novo, que trará aumento para a capacidade do lado aéreo, que carece pela falta de investimentos e necessidade de aumento da capacidade nos aeroportos mais movimentados, e por ser um dos principais projetos previsto nos programas de modernização da navegação aérea, o seu entendimento é necessário para o planejador aeroportuário e profissional de logística.

Para atingir este objetivo, um estudo investigativo foi conduzido. O artigo está dividido em cinco seções. Além desta introdutória, a segunda seção aborda as características da esteira de turbulência, como ocorre a sua formação, quais os perigos à navegação aérea estão associados ao fenômeno, a taxa de acidentes apresentados e a separação de aeronaves implantada para se evitar acidentes. Na terceira seção são discutidos os novos meios de separação das aeronaves e os impactos na capacidade aérea e, por fim, na seção quatro serão apresentadas as conclusões.

## 2. A ESTEIRA DE TURBULÊNCIA

O fenômeno aerodinâmico da esteira de turbulência está diretamente ligado às forças de sustentação de uma aeronave. Para manter uma aeronave em voo é necessário a geração de uma força de sustentação que deve contrapor o seu peso. Ao mesmo tempo, agem o impulso e o arrasto, conforme a Figura 1.



Figura 1 – Forças em uma aeronave durante voo nivelado  
Fonte: Próprio autor

As forças aerodinâmicas opostas ao Peso de uma aeronave podem ser geradas ao se utilizar um aerofólio. A Sustentação será gerada pelo aerofólio quando o fluxo de ar sobre o topo da superfície for maior que o fluxo sobre a parte de baixo. A diferença de pressão resultante produzirá uma força para cima, conforme Figura 2.

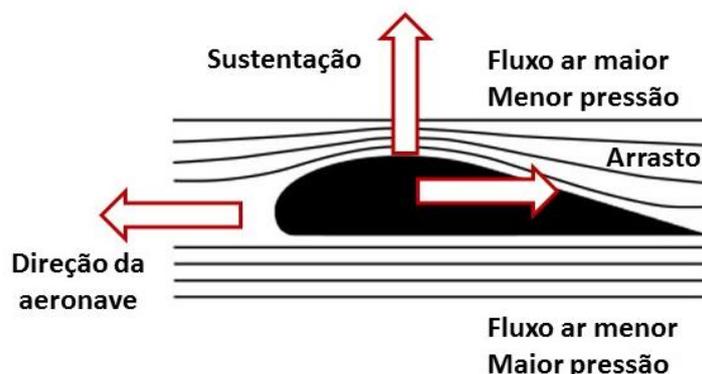


Figura 2 – Forças em um aerofólio  
Fonte: Próprio autor

Da mesma maneira que um aerofólio produz Sustentação, ele produz também Arrasto. A componente de alta pressão que passa pela parte de baixo da asa desloca-se para a ponta da asa para encontrar a componente de baixa pressão que passa pela parte de cima da asa, ocorrendo o surgimento de vórtices rotativos que recebem o nome de esteira de turbulência. O vórtice da asa direita possui rotação no sentido anti-horário e o vórtice da asa esquerda possui rotação no sentido horário, observando-se por trás, conforme Figura 3 (Hünecke, 2001).

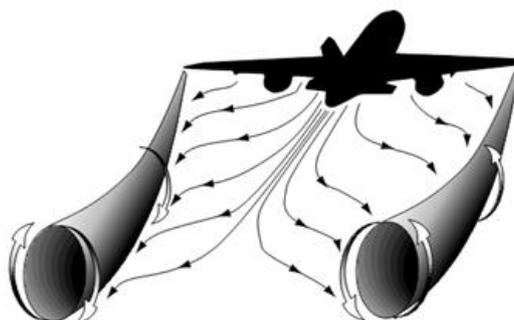


Figura 3 – Formação da esteira de turbulência  
 Fonte: FAA, 2005

O seu tamanho em diâmetro pode ser desde alguns centímetros até um metro ou mais, estando ligado ao tipo de aeronave, podendo persistir em alguns casos por mais de três minutos. A força da esteira de turbulência está associada as seguintes características da aeronave geradora: peso, velocidade e envergadura. O fenômeno é observado em sua maior magnitude quando a aeronave geradora é da categoria Pesada - H (*heavy*), em baixa velocidade e em configuração lisa (com flap, *slat* e *slot* recolhidos) (Klaus, 2002).

Em termos de segurança de voo, o problema que pode existir é um excessivo movimento de rolagem e guinada causado à aeronave seguidora, podendo em alguns dos casos exceder a controlabilidade da aeronave. O cenário mais grave, conforme mostra a Figura 4, é quando a aeronave em uma decolagem ou aproximação para pouso, voando a baixa altitude, é submetida às forças de rolagem e guinada, vindo a perder o controle do avião e causando acidentes, o que se agrava por estar voando em baixa velocidade. A possível recuperação de um evento extremo será inerente a altitude, manobrabilidade e potência da aeronave (FAA, 2005).

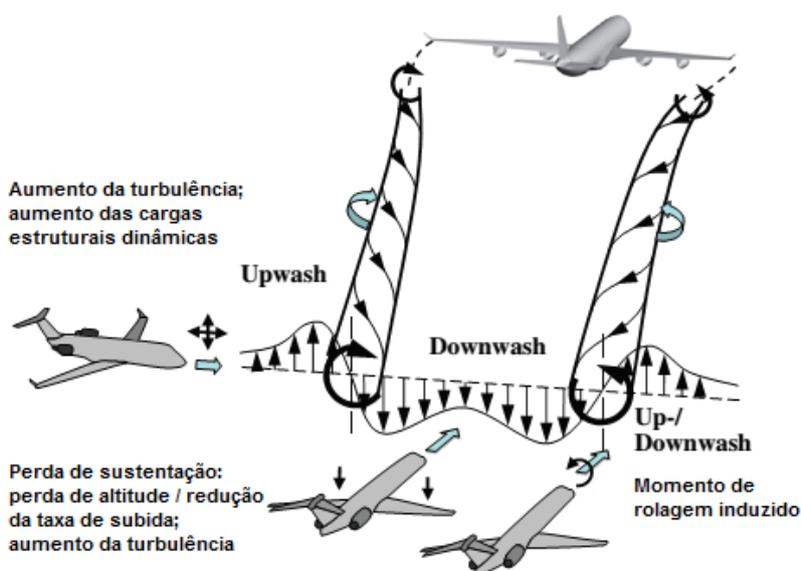


Figura 4 – Perigos da esteira de turbulência  
 Fonte: Adaptado de Breitsamter, 2011

Fisicamente, conforme reproduz a Figura 5, a esteira apresenta o comportamento de inicialmente se mover para baixo e depois manter-se nivelada. Ela nunca é encontrada no mesmo nível, nem abaixo de 300 metros que a aeronave geradora. Geralmente, os vórtices apresentam uma razão de descida de 100 a 150 metros por minuto, nos primeiros 30 segundos. A razão de descida diminui, atingindo zero entre 150 a 300 metros abaixo da linha de voo. A velocidade da aeronave irá determinar a força e o movimento inicial do vórtice. A atmosfera (vento, turbulência, entre outros fatores) irá ditar o comportamento e a taxa de decréscimo dos vórtices (FAA, 2005).

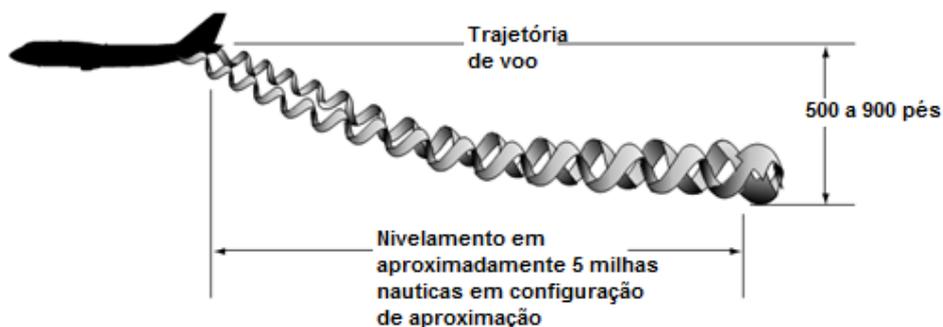


Figura 5 – Comportamento da esteira de turbulência  
Fonte: Adaptado de FAA, 2005

Portanto, a melhor maneira da aeronave seguidora evitar a esteira de turbulência é voando acima do nível de voo da aeronave líder. Em voos visuais essa técnica não representa grandes problemas para a tripulação, mas representa grande dificuldade quando as aeronaves estiverem voando segundo regras por instrumento e por esse motivo a separação por categorização foi instituída na aviação.

Os comportamentos da esteira de turbulência, conforme o perfil mostrado na Figura 5, apresentados durante a aproximação para pouso, com a aeronave a baixa altura e em configuração para pouso conforme a Figura 6, e na decolagem seguem o mesmo padrão. A esteira desce abaixo da trajetória de voo até atingir o solo, movendo-se para os lados. O movimento horizontal será influenciado pelo vento local e a proximidade do vórtice em relação ao solo. Durante a presença de vento calmo (3 a 10 nós) em estado de atmosfera estável, a esteira tende a ser mais persistente, podendo levar para pistas paralelas quando suas separações forem menores que 1100 metros (Holzäpfel et al., 2009).

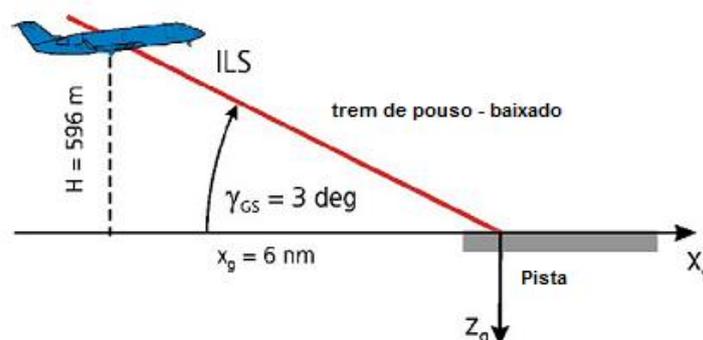


Figura 6 – Perfil típico de uma aproximação ILS  
Fonte: Adaptado de FAA, 2005

O processo de decréscimo, conforme Figura 7, é considerado pelos pesquisadores da área algo complexo e altamente influenciado por condições atmosféricas. Os ventos atmosféricos exercem a maior influência para o decréscimo, quanto maior a intensidade dos ventos, maior será o decréscimo da esteira de turbulência. (Tittsworth et al.,2012).

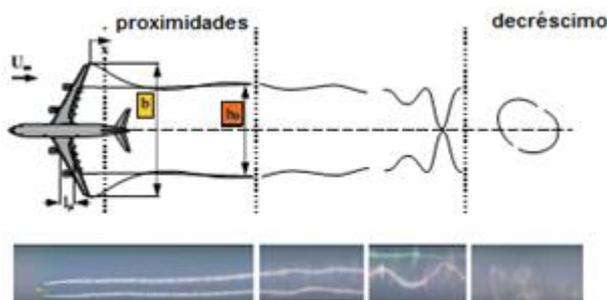


Figura 7 – Estágios da esteira de turbulência  
 Fonte: Breitsamter, 2011

Para evitar um maior número de acidentes e com o surgimento das aeronaves *widebodies* na década de 70, deu-se o início do estudo do comportamento da esteira de turbulência e a investigação de maneiras para se restringir as ameaças associadas. O método escolhido foi a separação de aeronaves por peso máximo de decolagem.

### 2.1 A separação de aeronaves por peso máximo de decolagem

Com o objetivo de aumentar a segurança do sistema aéreo, a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) dividiu as aeronaves pela sua esteira de turbulência gerada, correlacionando o seu peso máximo de decolagem com o vórtice criado. As aeronaves foram divididas em três categorias:

- **Pesada (H)** – todos os tipos de aeronaves de peso máximo de decolagem de 136.000 kg ou mais.
- **Média (M)** – tipos de aeronaves de peso máximo de decolagem inferior a 136.000 kg e superior a 7.000 kg.
- **Leve (L)** – tipos de aeronaves de peso máximo de decolagem de 7.000 kg ou menos.

A Tabela 2 mostra a distância mínima para cada par, quando na situação de aeronave líder e aeronave seguidora.

Tabela 2 – Separação de Aeronaves por peso máximo de decolagem

		Aeronave Seguidora		
		Pesada	Média	Leve
Aeronave Líder	Pesada	4	5	6
	Média	3	3	5
	Leve	3	3	3

O mínimo de separação radar para se evitar a esteira de turbulência é aplicado durante as fases de aproximação e decolagem, assim como quando uma aeronave está operando atrás de outra

no mesmo nível de voo ou com uma diferença de altitude de no máximo 1000 pés, quando as aeronaves utilizam uma mesma pista ou pistas paralelas separadas por menos de 760 metros ou quando uma aeronave está cruzando a trajetória de voo de outra na mesma altitude ou a uma diferença de altitude de no máximo 1000 pés.

De uma maneira gráfica, a separação entre os pares se dá conforme a Figura 8.

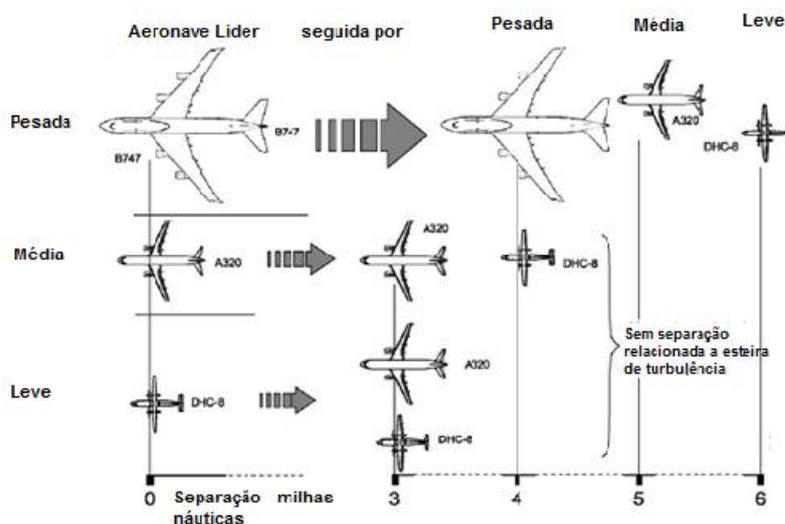


Figura 8 – Separação OACI para aproximações para pouso  
 Fonte: Adaptado de Hüneck, 2001

Apesar de ser um fenômeno conhecido e documentado, inúmeros acidentes aeronáuticos tiveram como fator contribuinte a esteira de turbulência, tendo as aeronaves de pequeno porte as que mais foram afetadas.

## 2.2 Taxa de acidentes causados por esteira de turbulência nos Estados Unidos

Em uma pesquisa realizada pela NTSB (*National Transportation Safety Board*) mostrou que entre os anos de 1983 e 1993 ocorreram pelo menos 51 acidentes e incidentes nos Estados Unidos que foram resultado de possíveis encontros com esteiras de turbulência, causando 27 mortes e elevados danos a aeronaves. A pesquisa apontou que os acidentes e incidentes causados pela esteira de turbulência foram mais frequentes durante as aproximações para pouso e no pouso do que em qualquer outra fase do voo pelo fato dos aviões estarem voando em baixas velocidades e alturas, tendo os efeitos do fenômeno sido sentidos de forma abrupta e sem aviso prévio (FAA, 2005).

A Tabela 1 mostra a ocorrência total de eventos entre os anos 1983 até 1999 por fase de voo nos Estados Unidos em estudo conduzido por Veillette (2002) para a *Flight Safety Foundation*.

Tabela 1 – Ocorrência de eventos por fase de voo nos EUA, 1983-1999

	Fase de Voo	Aeronave Líder				Total
		Decolagem	Cruzeiro	Aproximação e Pouso	Solo	
Aeronave Seguidora	Decolagem	30	0	7	0	37
	Cruzeiro	0	14	8	0	22
	Aproximação e Pouso	13	1	92	0	106
	Solo	0	0	0	0	0
	<b>Total</b>	43	15	107	0	165

Fonte: *Flight Safety Foundation*, 2002

O estudo apontou que entre 1983 e 2000 ocorreram 130 acidentes e 60 incidentes nos Estados Unidos que tiveram como um dos fatores contribuintes a esteira de turbulência. Dentre esses, 14 constituíram em acidentes com vítimas fatais e 20 acidentes com danos graves a passageiros e tripulantes. Desses, 83% dos acidentes ocorreram durante a aproximação para pouso ou durante a decolagem, a uma altura inferior a 60 metros. 90% dos acidentes envolveram aeronaves com peso inferior a 13.600 kg (Veillette, 2002).

Os critérios de separação encontrados foram baseados nos pesos da aeronave líder e da seguidora. Por terem se tornado um critério limitador da capacidade ao diminuírem o fluxo das aeronaves em consequências das distâncias mínimas a serem seguidas.

As pesquisas mostram que as aeronaves de grande porte são as menos atingidas pelo fenômeno e que as distâncias para as aeronaves seguidoras de grande porte são conservadoras. Com os problemas de capacidade nos grandes aeroportos, os trabalhos atuais na área buscam desenvolver ferramentas capazes de prever as esteiras de turbulência, sensores para detectar a esteira na aproximação final e um sistema automatizado para maximizar a eficiência operacional diminuindo a distância entre aeronaves, principalmente as de grande porte e mantendo níveis seguros de operação.

Dos trabalhos existentes para analisar o comportamento da esteira de turbulência, a recategorização das aeronaves (RECAT) tem se destacado nos últimos anos.

### 3 A RECATEGORIZAÇÃO DAS AERONAVES (RECAT)

Os conceitos *NextGen* e SESAR de remodelagem dos serviços de tráfego aéreo, foram criados pelos órgãos governamentais americano (FAA) e europeu (Eurocontrol) respectivamente, com o escopo de aumentar o fluxo e a capacidade em rota nos terminais dos aeroportos almejando o aumento da capacidade aérea. Muitos dos estudos focam a diminuição das incertezas do sistema de navegação aérea, para que a diminuição das distâncias entre aeronaves possa ser aplicado. Nessa conjuntura, um melhor conhecimento do comportamento e da localização dos vórtices possibilitaria uma diminuição das separações sem afetar os índices de segurança da navegação aérea (Tittsworth et al.,2012).

Atualmente, não existe uma padronização mundial de qual deve ser a distância a ser mantida entre as aeronaves para se evitar a esteira de turbulência. A OACI divide as aeronaves em 3 categorias (Leve, Médio, Pesada) e com o surgimento do A380 criou-se uma categoria específica para essa aeronave. Os Estados Unidos dividem suas aeronaves em 6 categorias (Pequena, Pequena+, Grande, B757, Pesada, A380). Da mesma maneira países europeus

adotam os seus próprios parâmetros de separação, de maneira sempre mais conservadora (maior distância) que os parâmetros adotados pela OACI (Tittsworth et al.,2012).

Esses parâmetros mantiveram as taxas de segurança de voo elevadas no tocante à esteira de turbulência, não tendo nunca sido registrado um acidente causado pela esteira de turbulência quando aplicado os critérios estabelecidos de separação.

O RECAT busca repensar as distâncias entre aeronave líder e seguidora e verificar se essa distância pode ser encurtada, sem diminuir a segurança. O programa foi dividido em três fases: RECAT I, RECAT II e RECAT III.

### 3.1 RECAT I

O RECAT é um projeto dividido em três fases buscando revisar os padrões adotados até o momento para a separação de aeronaves das frotas atuais, assim como com a introdução de novas aeronaves.

A fase 1 ou RECAT I é um trabalho conjunto entre a FAA e o EUROCONTROL para revisar a separação entre aeronaves, tida por muitos como ultra conservadora e desatualizada, quando operando em uma única pista (Tittsworth et al.,2012).

A grande mudança proposta no RECAT I é o abandono da separação existente entre aeronaves em função do peso máximo de decolagem para se adotar uma nova matriz de separação baseado nas características físicas individuais da esteira de turbulência das aeronaves.

Em outras palavras, o RECAT I significaria o abandono do padrão de separação por peso máximo de decolagem e a introdução de uma nova separação baseada no comportamento individual da esteira de turbulência.

Conforme mostra a Tabela 3, nos estudos do RECAT I foram escolhidos 61 modelos de aeronaves que compreendem 85% do movimento nos aeroportos mais movimentados da Europa e dos Estados Unidos.

Tabela 3 – Modelo de aeronaves escolhidos para o RECAT I

Fabricante	Modelo	Fabricante	Modelo	Fabricante	Modelo
Aerospatiale	ATR 42-300	Boeing	B737-500	Bombardier	DHC8-200
Aerospatiale	ATR42-500	Boeing	B737-600	Bombardier	DHC8-300
Aerospatiale	ATR 72	Boeing	B737-700	Bombardier	DHC8-Q400
Airbus	A300-600	Boeing	B737-800	BAE	BAE 146-200
Airbus	A318	Boeing	B737-900	BAE	BAE 146-300
Airbus	A319	Boeing	B747-400	Cessna	CITATION CJ1
Airbus	A320	Boeing	B757-200	Cessna	6650 C-III/VI/VII
Airbus	A321	Boeing	B757-300	Embraer	EMB-120
Airbus	A330-200	Boeing	B767-300	Embraer	EMB-135
Airbus	A330-300	Boeing	B777-200	Embraer	EMB-145
Airbus	A340-300	Boeing	B777-300	Embraer	EMB-170
Airbus	A340-600	Boeing	DC-9-30	Embraer	EMB-190
Airbus	A380	Boeing	DC-9-50	Embraer	EMB-145XR
Avro	RJ-85	Boeing	MD-11	Fokker	F-50
Avro	RJ-100	Boeing	MD-82	Fokker	F-70
Beechcraft	1900D	Bombardier	CRJ-100	Fokker	F-100
Boeing	B717-200	Bombardier	CRJ-200	Gulfstream	G-4
Boeing	B727-200	Bombardier	CRJ-700	Gulfstream	G-5
Boeing	B737-300	Bombardier	CRJ-900	Saab	340
Boeing	B737-400	Bombardier	DHC8-100	Raytheon	125-700

Fonte: Tittsworth et al.,2012

Os dados para análise e verificação do comportamento individual foram colhidos próximo da cabeceira da pista e em condições de baixa intensidade do vento, tendo a maioria dos dados sido coletados com ventos de 5 nós ou menos, situação considerada a que mais gera esteira de turbulência. Para a medição foram utilizados três tipos diferentes de sensores: Lidar (Radar a laser) de onda contínua, Lidar (Radar a laser) pulsante e um conjunto de anemômetros assentados em linha (Mundra et al., 2003).

O dado principal utilizado para a separação foi à força da esteira de turbulência. Foram ainda utilizados os coeficientes de momento de rolamento, tamanho da aeronave, resistência à esteira de turbulência e ângulo de inclinação.

Os estudos foram concluídos em 2011 e como resultado foi abandonado a antiga separação OACI em 3+1 classes para se adotar um total de seis categorias, conforme mostra a Figura 9 (Audenaerd et al., 2009).

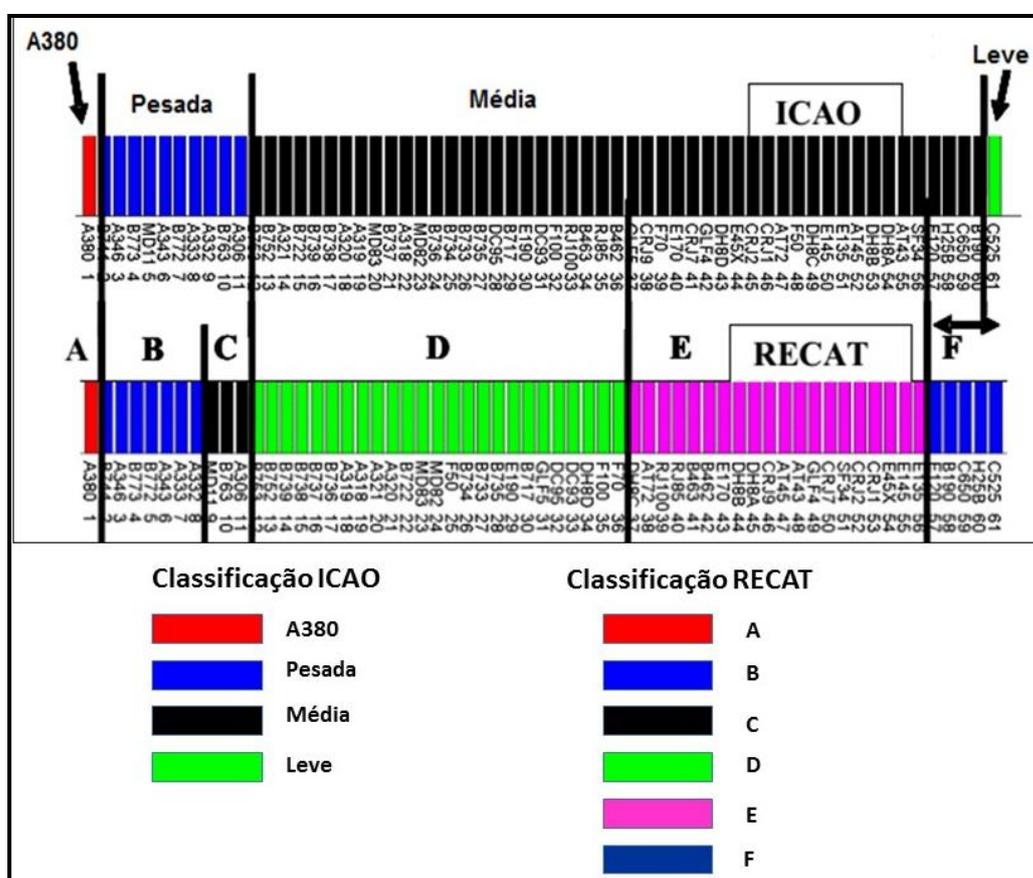


Figura 7 – Nova separação RECAT I  
 Fonte: Adaptado de Tittsworth et al., 2012

Com isso algumas separações foram diminuídas, outras foram mantidas e outras foram aumentadas. A categoria Pesada foi dividida em A (Super Pesada), B (Alto Pesada) e C (Baixo Pesada).

O estudo não focou apenas em diminuir as separações. Em relação as aeronaves pesadas, houve um encurtamento nas distâncias e para as aeronaves mais leves houve um acréscimo, tudo dentro da filosofia de segurança e aeronavegabilidade aérea.

A Tabela 4 mostra a nova matriz de separação entre pares de aeronaves com o RECAT I. As distâncias são medidas em milhas náuticas. O termo SMR significa Separação Mínima Radar e dependendo da infraestrutura presente no aeroporto será de 2.5 ou 3 milhas náuticas.

Tabela 4 –Matriz de separação entre pares de aeronaves RECAT I

		Aeronave Seguidora					
		A	B	C	D	E	F
Aeronave Líder	A	SMR	5	6	7	7	8
	B	SMR	3	4	5	5	7
	C	SMR	SMR	SMR	3.5	3.5	6
	D	SMR	SMR	SMR	SMR	SMR	5
	E	SMR	SMR	SMR	SMR	SMR	4
	F	SMR	SMR	SMR	SMR	SMR	SMR

O Aeroporto de Memphis, *hub* da FedEx, nos EUA foi escolhido, no ano de 2012, para ser o principal lugar de estudo do RECAT I. Memphis é o maior operador de carga dos Estados Unidos e o segundo maior do mundo<sup>1</sup> e a FedEx é a maior empresa de carga aérea do mundo<sup>2</sup>

Sua escolha deu-se por possuir: uma alta taxa de operações aéreas; profissionais de tráfego aéreo altamente treinados e experientes; e basicamente uma frota de aeronaves pesadas (B777, B757, B727, MD11, DC10 e A300), mais suscetível aos ganhos de capacidade com a diminuição da separação. A empresa opera a quarta maior frota das empresas aéreas (Carga e Passageiros) e a maior frota entre as empresas cargueiras do mundo.

Os dados colhidos na operação em Memphis (FedEx) serviriam de análise para possíveis benefícios e perigos nessa nova metodologia de operação. A Figura 8 mostra a separação utilizando o padrão FAA e com a recategorização com a frota da FedEx<sup>3</sup>. Os números representam as distâncias entre aeronaves em milhas náuticas. A primeira distância representa a separação pelo padrão ICAO e a segunda distância pelo novo padrão proposto no RECAT.

		Aeronave Seguidora							
		ICAO/RECAT	A300/A310	ATR 42/72	B757	B767	B777	DC-10	MD-11
Aeronave Líder	A300/A310	C/H	4/3	5/3.5	5/3.5	4/3	4/3	4/3	4/3
	ATR 42/72	E/M	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3
	B757	D/M	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3
	B767	C/H	4/3	5/3.5	5/3.5	4/3	4/3	4/3	4/3
	B777	B/H	4/4	5/5	5/5	4/4	4/3	4/4	4/4
	DC-10	C/H	4/3	5/3.5	5/3.5	4/3	4/3	4/3	4/3
	MD-11	C/H	4/3	5/3.5	5/3.5	4/3	4/3	4/3	4/3



- Diminuiu a distância
- Manteve a distância
- Aumentou a distância

Figura 8 – Comparação separação aeronaves FedEx  
 Fonte: Próprio autor

<sup>1</sup> Disponível em <https://www.faa.gov/nextgen/snapshots/airport/?locationId=51>

<sup>2</sup> Disponível em <http://www.iata.org/publications/Pages/wats-freight-km.aspx>

<sup>3</sup> Frota das aeronaves disponível em [http://www.planespotters.net/Airline/Federal-Express-\(FedEx\)](http://www.planespotters.net/Airline/Federal-Express-(FedEx))

O novo espaçamento representou um aumento de operações na ordem de 9 operações a mais a cada hora, o que significa um aumento de 20% da capacidade e economia mensal de combustível no valor de 1.8 milhões de dólares<sup>4</sup>. Esse ganho deu-se principalmente pela nova definição da separação das aeronaves pesadas adotando uma distância de 3 milhas náuticas ao invés da antiga distância de 4 milhas náuticas.

Devido os resultados obtidos em Memphis, em agosto de 2013, foi introduzido o RECAT no Aeroporto de Louisville, *hub* da UPS a segunda maior empresa de carga aérea do mundo<sup>2</sup>. A FAA aprovou em 2014 introdução da recategorização no Aeroporto Hartsfield em Atlanta, considerado o aeroporto mais movimentado do mundo<sup>5</sup>. É a primeira vez que o novo conceito de operação é testado com aeronaves de passageiros.

Uma nova fase do estudo da esteira de turbulência tem sido realizada com o intuito de não mais dividir por categorias, mas o de definir as distâncias por par de aeronaves, singularizando cada distância necessária.

### 3.2 RECAT II – Separação estática por par de aeronaves

A fase 2 ou RECAT II ainda está em andamento e almeja a criação de uma matriz de separação para o espaçamento de pares estáticos com cada combinação de líder e seguidora otimizado para a separação em acordo com a esteira de turbulência. A matriz associa o comportamento do vento ao da esteira de turbulência criando ferramentas e conceitos para um sistema de alerta e conceitos de operação.

O RECAT II utilizou as análises e críticas realizadas no RECAT I, além de examinar um número maior de aeronaves abrangendo 99% do tráfego global, assim como o aumento do número de aeroportos analisado, passando dos 9 no RECAT I para 87 em âmbito global. Ao propor uma maneira individualizada, acredita-se ganhos na capacidade aérea. O grande desafio será a análise dos mais de 9000 modelos de aeronaves previstos no Doc 8643 – Tipos de designação de aeronaves da ICAO (Booth, 2014).

A separação mínima entre aeronaves será definida pela combinação aeronave líder – aeronave seguidora e não mais pela categoria da aeronave líder e da aeronave seguidora. As distâncias serão calculadas considerando as condições de vento calmo, considerado o pior cenário para a formação da esteira de turbulência. Por essa razão que é considerada como separação estática entre aeronaves, ou seja, uma condição meteorológica fixa.

Booth (2014) cita um exemplo de como funcionará o RECAT II. Considere como aeronave líder um B777 e um B738 como aeronave seguidora. Utilizando o parâmetro ICAO em vigor, a separação entre o B777 (Pesada) e o 738 (Média) será de 5 milhas náuticas. Com o RECAT I, a distância entre um B777 (B) e um B738 (D) continuará de 5 milhas náuticas. Após o estudo da esteira máxima gerada pelo líder e tolerada pela seguidora, a nova distância será de 4.5 milhas náuticas.

Programas de computador para auxiliar o controlador de voo e ábacos em função do tempo, distância e diferentes velocidades das aeronaves serão produzidos para facilitar as operações diárias. Para complementar os estudos iniciados na fase 2, uma nova fase deverá analisar qual a menor distância possível nas diversas situações meteorológicas.

<sup>4</sup> Disponível em <http://www.volpe.dot.gov/news/new-aircraft-separation-standards-gain-wider-adoption-saving-time-and-money>

<sup>5</sup> <https://www.faa.gov/nextgen/snapshots/stories/?slide=34>

### 3.3 RECAT III - Separação dinâmica por par de aeronaves

Na fase 3 ou RECAT III ainda a ser iniciada e com previsão de término em 2020, ocorrerá uma ampliação do RECAT II ao expandir os conceitos operacionais com a previsão comportamental da esteira de turbulência e o sensoriamento, permitindo a previsão do fenômeno em todas as condições meteorológicas e entendimento de em quais situações meteorológicas (principalmente vento), será seguro diminuir ainda mais o espaçamento entre aeronaves.

Em estudo realizado pela NASA, utilizando ferramentas de simulação *fast-time* do tráfego aéreo, os custos economizados com a aplicação dessa nova metodologia nos aeroportos selecionados, mostrou uma média de aumento de 40% na capacidade. Os estudos focaram a utilização de várias configurações das pistas nos aeroportos estudados, alternando entre as taxas de condições visuais e por instrumento; direção e força do vento, além de outros fatores meteorológicos (Tittsworth et al.,2012).

## 4. CONCLUSÃO

O aumento da capacidade aérea do lado aéreo dos aeroportos representa um desafio para os profissionais da aviação. Com o aumento da demanda e dificuldade para a ampliação dos sítios aeroportuários, seja por falta de recursos ou por não existir a disponibilidade territorial, a redução da separação horizontal entre as aeronaves surge como solução promissora para a mitigação do problema de saturação.

A redução da separação horizontal está ligada também ao fenômeno físico da esteira de turbulência que por sua vez está ligada ao ato de voar, mais especificamente a geração de sustentação de uma aeronave. A sua ocorrência impacta diretamente à segurança de controle de voo, em condições de baixas velocidades e de baixa altura das aeronaves envolvidas.

Sua introdução pela OACI teve como objetivo elevar o nível de segurança do modal aéreo, ao impedir que durante uma aproximação para pouso ou após a decolagem, fases críticas do voo, uma aeronave encontre uma esteira de turbulência e possa ser submetida a forças que possam causar a perda de controle e acidentes.

A divisão das aeronaves por esteira de turbulência gerada está correlacionada ao peso máximo de decolagem, atualmente dividido em 3+1 categorias. Historicamente, essa metodologia é considerada segura, pois nenhuma aeronave que seguiu as regras de separação, teve como fator causador de acidente a esteira de turbulência.

Apesar de segura, muitos especialistas consideram-na demasiadamente conservadora, atestando que com os avanços tecnológicos e dos meios de pesquisa é possível uma reavaliação objetivando uma maior capacidade aérea ao diminuir a distância entre aeronaves. O programa RECAT representa um dos estudos existentes que busca uma melhora na eficiência da utilização da pista e consequente aumento da capacidade.

Dividido em três fases, apenas a fase 1 está completa. Como demonstrado em Memphis, os ganhos de capacidade foram de até 20% e estima-se que os aumentos da capacidade no lado ar em podem ficar entre 7 a 10% a depender do aeroporto e da combinação da frota de aeronaves que lá operam<sup>6</sup>. Porém essa é uma realidade restrita a alguns aeroportos no mundo, pois ainda não teve aprovada a sua implementação pelos países membros da OACI.

<sup>6</sup> Disponível em <http://www.volpe.dot.gov/content/infographic-wake-turbulence-separation-standards-aircraft>

Mas muito ainda pode ser feito, faltando mais duas etapas para completar o programa. Muitos dos avanços previstos para a navegação aérea, a citar os programas *NextGen* e *SESAR*, são dependentes dos resultados que serão obtidos nas três fases da recategorização. Mas o grande desafio a ser superado não será a análise dos fenômenos físicos nem a busca por novas respostas mas sim a adoção por todos os países membros da OACI. Convencê-los da segurança da nova separação será um grande desafio.

## REFERÊNCIAS

- ASHFORD, N. J.; MUMAYIZ, S.; WRIGHT, P. H.** *Airport Engineering: Planning, Design and Development of 21st Century Airports.* Wiley. 2011.
- AUDENAERD, L. et al.** *Increasing airport arrival capacity in NextGen with wake turbulence avoidance. Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference, 2009.*
- BOOTH, D.** *Re-categorization of the Wake Turbulence Separation Minima. WakeNet-Europe Conference, 2014.*
- BREITSAMTER, C.** *Wake vortex characteristics of transport aircraft. Progress in Aerospace Sciences, v. 47, n. 2, p. 89-134. 2011 Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042110000576> >.*
- DE NEUFVILLE, R.; ODoni, A. R.** *Airport systems: planning design, and management. McGraw-Hill New York.2003*
- EUROCONTROL.** *Challenges to growth. 2013 report. Brussels, 2013.*
- FEDERAL AVIATION AGENCY (FAA).** *Wake turbulence training Aid. Estados Unidos. 2005.*
- HOLZÄPFEL, F. et al.** *Aircraft wake vortex scenarios simulation package – WakeScene. Aerospace Science and Technology, v. 13, n. 1, p. 1-11. 2009. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1270963808000515> >.*
- HÜNECKE, K.** *Wake vortex control - a challenge for large transport aircraft. Air & Space Europe, v. 3, n. 3–4, p. 209-213. 2001.*
- KLAUS, H.** *From Formation to Decay - Extended-time Wake Vortex Characteristics of Ransport-type Aircraft. In: (Ed.). 20th AIAA Applied Aerodynamics Conference: American Institute of Aeronautics and Astronautics. 2002.*
- LANG, S. et al.** *An analysis of potential capacity enhancements through wind dependent wake turbulence procedures.6<sup>th</sup> USA/Europe ATM Research & Development Seminar p.1-47.2005*
- MUNDRA, A. D. ;COOPER ,W.; LEVY, B.S.;LUNSFORD, C. R.;SMITH, A.P.** *A phased approach to increase airport capacity through safe reduction of existing wake turbulence constraints. Air Traffic Control Quarterly, v. 11, n. 4, 2003.*
- TITTSWORTH, J. A. et al.** *Federal Aviation Administration Wake Turbulence Program-Recent Highlights. Air Traffic Control Association (ATCA) Annual Conference & Exposition.2012*
- VEILLETTE, P. R.** *Data Show That US Waketurbulence Accidents Are Most Frequent at Low Altitude and During Approach and Landing. Flight Safety Digest, v. 21, n. 3/4.2002.*