

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



**Diogo Godoi de Carvalho Ramos**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ACOMODAÇÃO DE  
VOOS COMERCIAIS NA PISTA AUXILIAR DO AEROPORTO  
DE SÃO PAULO/CONGONHAS**

Trabalho de Graduação  
2017

**Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica**

**Diogo Godoi de Carvalho Ramos**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE  
ACOMODAÇÃO DE VOOS COMERCIAIS NA  
PISTA AUXILIAR DO AEROPORTO DE SÃO  
PAULO/CONGONHAS**

Orientador

Prof. Dr. Carlos Müller (ITA)

Coorientador

Major Esp McWilliam de Oliveira (ICEA)

**ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2017

## Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

### Divisão de Informação e Documentação

Ramos, Diogo Godoi de Carvalho

Avaliação da capacidade de acomodação de voos comerciais na pista auxiliar do Aeroporto de São Paulo/Congonhas / Diogo Godoi de Carvalho Ramos.

São José dos Campos, 2017.

91f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Müller. Co-orientador: Major Esp CTA McWilliam de Oliveira.

1. Aeroporto de São Paulo/Congonhas. 2. Simulação no RAMS. 3. Pista auxiliar. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Avaliação da capacidade de acomodação de voos comerciais na pista auxiliar do Aeroporto de São Paulo/Congonhas

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RAMOS, Diogo Godoi de Carvalho. **Avaliação da capacidade de acomodação de voos comerciais na pista auxiliar do Aeroporto de São Paulo/Congonhas**. 2017. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

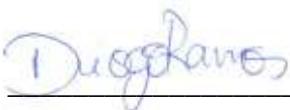
## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Diogo Godoi de Carvalho Ramos

TÍTULO DO TRABALHO: Avaliação da capacidade de acomodação de voos comerciais na pista auxiliar do Aeroporto de São Paulo/Congonhas

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2017

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



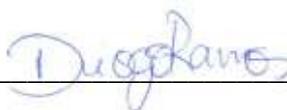
Diogo Godoi de Carvalho Ramos

Pça Mal-do-era Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias

12228-461, São José dos Campos - SP

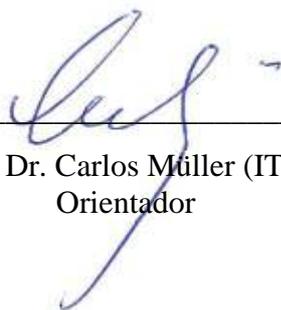
# **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ACOMODAÇÃO DE VOOS COMERCIAIS NA PISTA AUXILIAR DO AEROPORTO DE SÃO PAULO/CONGONHAS**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



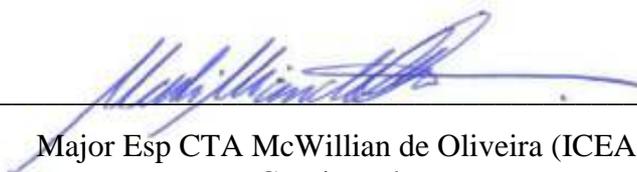
---

Diogo Godoi de Carvalho Ramos  
Autor



---

Prof. Dr. Carlos Müller (ITA)  
Orientador



---

Major Esp CTA McWilliam de Oliveira (ICEA)  
Coorientador



---

Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 21 de novembro de 2017

Dedico este trabalho a Maria, que pelo seu sim tornou possível o Evangelho.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus pelo dom da vida e aos meus pais pelo amor incondicional. Será sempre pouco recordar aqueles que me deram condições para lutar. Espero, portanto, tê-los sempre diante dos meus olhos em cada conquista.

Ao Ten. Almeida agradeço a orientação e disposição em propiciar meu acesso ao ICEA. Igualmente, agradeço ao Maj. McWilliam por igual disposição. Em especial, ao 3S Tavares, também deixo meus sinceros agradecimentos pelas valiosas informações sobre o tema tratado neste Trabalho.

Aos professores Cláudio Jorge, Carlos Müller e ao doutorando João Fortes por toda contribuição para o desenvolvimento e aperfeiçoamento do meu Trabalho de Graduação.

"Há pessoas que desejam saber só por saber, e isso é curiosidade;  
outras, para alcançarem fama, e isso é vaidade;  
outras, para enriquecerem com sua ciência, e isso é um negócio torpe;  
outras, para serem edificadas, e isso é prudência;  
*outras, para edificarem os outros, e isso é caridade.*"

(Santo Agostinho)

## Resumo

A crise econômico-financeira que o Brasil enfrenta desde 2014 mostra certas consequências no quadro da aviação nacional. No entanto, o Aeroporto de Congonhas tem se mostrado resiliente nesse cenário de crise, sendo sempre um aeroporto de expressiva importância para o país. Nesse sentido, a busca pela melhor utilização da capacidade instalada desse aeródromo sempre suscitou discussões entre o Governo Federal e as companhias aéreas que lá operam. Dentro do campo de discussões, levantou-se a hipótese de abertura da pista auxiliar de Congonhas com voos comerciais por aeronaves capazes de operar nessa pista. Dentro do quadro de previsão de demanda da Azul, a empresa aérea poderia ser beneficiada com a operação da sua frota de ATR nessa pista. Assim sendo, buscou-se avaliar a capacidade do aeroporto em acomodar aeronaves ATR na pista auxiliar do Aeroporto de Congonhas, de modo a não alterar bruscamente o cronograma de operação da pista principal.

A fim de se realizar a avaliação, buscou-se identificar precisamente as regras de operação atuantes no aeroporto, bem como a caracterização física e o perfil atual da demanda. De posse de um cenário base representativo do que acontece na pista principal do aeroporto, buscou-se realizar uma simulação desse cronograma no software RAMS. Após verificada a aderência da simulação ao cronograma real sob um conjunto de hipóteses simplificadoras, passou-se introduzir aeronaves ATR na pista auxiliar sob dois cenários básicos: o primeiro supondo uma rampa de aproximação de  $3^\circ$  e o segundo supondo uma rampa de aproximação de  $5^\circ$ . A análise se resumiu apenas às cabeceiras 17R e 17L, que são as mais utilizadas. Com base nas simulações, o aeródromo apresenta uma capacidade de acomodar até 7 aeronaves ATR, não apresentando nenhum ganho significativo pela mudança de inclinação de  $3^\circ$  para  $5^\circ$  na rampa de aproximação.

Palavras-chave: Aeroporto de São Paulo/Congonhas; Simulação no RAMS; Pista auxiliar; Capacidade de pista.

## Abstract

The economic and financial crisis facing Brazil since 2014 shows certain consequences in the context of national aviation. However, the Congonhas Airport has been resilient in this scenario of crisis, always being an airport of significant importance for the country. In this sense, the search for the best use of the installed capacity of this aerodrome always provoked discussions among the Federal Government and the airlines operating there. Within this field of discussions, it was raised the hypothesis of opening the auxiliary runway to commercial flights with aircraft capable of operating in this runway. Within Azul's demand forecast, the airline could benefit from the operation of its ATR fleet on that runway. Therefore, the objective was to evaluate the airport's ability to accommodate ATR aircraft on the auxiliary runway at Congonhas Airport without abruptly change the main runway's operating schedule.

In order to carry out the evaluation, it was identified precisely the operating rules at the airport, as well as the physical characterization and the current profile of the demand. With a base scenario representative of what happens in the main runway of the airport, a simulation of this schedule was carried out in RAMS software. After verifying the adherence of the simulation to the actual schedule under a set of simplifying hypotheses, ATR aircraft were introduced in the auxiliary runway under two basic scenarios: the first assuming a 3° approach track flight and the second assuming an approach of 5°. The analysis was summarized only to thresholds 17R and 17L, which are the most used nowadays. Based on the simulations, the aerodrome has a capacity to accommodate up to 7 ATR aircraft, with no significant gain from the 3° to 5° slope change on the approach ramp.

Keywords: São Paulo / Congonhas Airport; Simulation in RAMS; Auxiliary runway; Runway capacity.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Limite patrimonial do Aeroporto de São Paulo/Congonhas .....	17
Figura 2 - Esquema dos diferentes órgãos de controle durante as fases de um voo.....	22
Figura 3 - Localização geográfica relativa da TMA-SP1, TMA-SP2, CTR-SP, SIDs e STARs .....	23
Figura 4 – Apresentação esquemática da TMA-SP – Vista em perfil.....	24
Figura 5 - Classificação dos espaços aéreos ATS .....	25
Figura 6 – Exemplo de carta STAR para as cabeceiras 17R/17L em SBSP .....	27
Figura 7 - Esteira de turbulência .....	28
Figura 8 - Aproximação SEAP .....	36
Figura 9 - Carta IAC cabeceira 27 de London City.....	36
Figura 10 - STAR (amarelo) e SID (azul) da cabeceira 17R de Congonhas modeladas pelo RAMS.....	38
Figura 11 - Diagrama das etapas desenvolvidas.....	41
Figura 12 - Mix diário para cada tipo de aeronave (MTOW) .....	47
Figura 13 - Trajetórias de voos próximos a SBSP .....	49
Figura 14 - Caixa de diálogo Runway Dependecies .....	53
Figura 15 - Requisitos de comprimento de pista (ISA + 15°C) do ATR 72-210A .....	58
Figura 16 - Carga paga versus alcance para ATR72-210A.....	59
Figura 17 - Principais aeroportos dentro de um raio de 525 NM.....	59
Figura 18 - Localização das STARs e SID utilizadas na cabeceira 17L .....	60
Figura 19 - Rampas de aproximação de 2,9° (verde) na cabeceira 17R e de 5° (azul) na cabeceira 17L.....	62

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Crescimento dos três aeroportos mais movimentados (pouso e decolagem) do país .....	15
Tabela 2 - Crescimento dos três aeroportos mais movimentados (passageiros) do país.....	15
Tabela 3 – Total de movimentos anual em Congonhas, somando-se pouso, decolagem, cruzamentos e TGL .....	18
Tabela 4 – Porcentagem de uso das cabeceiras ao longo dos anos .....	19
Tabela 5 – Crescimento da frota ao longo dos anos .....	20
Tabela 6 - Categorização de aeronaves para regular as separações .....	29
Tabela 7 - Mínimos de separação longitudinal para situação 1 (em voo) .....	30
Tabela 8 - Mínimos de separação longitudinal para situação 2 (pouso-pouso).....	31
Tabela 9 - Mínimos de separação longitudinal para a situação 5 (decolagem-decolagem) ....	32
Tabela 10 - Distâncias declaradas em metros.....	43
Tabela 11 – Slot de pista para aviação comercial e geral .....	45
Tabela 12 - Porcentagem de utilização das cabeceiras.....	45
Tabela 13 - Porcentagem de operação de pouso por cabeceira .....	46
Tabela 14 - Porcentagem de operações IFR por cabeceira.....	46
Tabela 15 - Média mensal por MTOW em 2017.....	47
Tabela 16 - Desvio padrão mensal por MTOW em 2017.....	47
Tabela 17 – Porcentagem do volume total de aeronaves desconsideradas na análise no ano de 2017 .....	48
Tabela 18 - Movimentação horária do dia 06/07/2017.....	51
Tabela 19 - Regras de dependência para uso da pista .....	54
Tabela 20 – Análise do resultado da simulação de 39 voos registrados no SETA Millenium entre 17:44h e 18:44h do dia 29 de Dezembro de 2016 .....	56
Tabela 21 - Análise do resultado da simulação de 32 voos registrados no SETA Millenium entre 15:00h e 16:00h do dia 06 de Junho de 2017 .....	56
Tabela 22 - Cálculo do comprimento básico de pista utilizado nos ábacos .....	58
Tabela 23 - Determinação do mix de entrada dos ATRs.....	61
Tabela 24 - Diferença de altura entre pontos das rampas.....	62
Tabela 25 - Resultados da simulação de 39 voos com rampa de 3° na cabeceira 17L .....	63
Tabela 26 - Resultados da simulação de 39 voos com rampa de 5° na cabeceira 17L .....	63

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ADC	Carta do aeródromo
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
AIP	Aeronautical Information Publication
AISWEB	Aeronautical Information System
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APP	Controle de Aproximação
ASDA	Accelerate-stop distance available
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Services
ATZ	Zona de Tráfego de Aeródromo
CGNA	Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea
CIRCEA	Circular Normativa de Controle do Espaço Aéreo
CTR	Zona de Controle
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
FAG	Final Approach Gate
FCFS	First-come first-served
HOTRAN	Horário de Transporte
IAC	Instrument Approach Chart
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IFR	Instrument Flight Rules
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
LDA	Landing Distance Available
MTOW	Maximum Takeoff Weight
NASP	Novo Aeroporto de São Paulo
NM	Nautical Miles
RAMS	Reorganized ATC Mathematical Simulator
RPK	Revenue passenger kilometres
RPL	Plano de voo repetitivo
SEAP	Steeper Approach Procedure
SID	Standard Instrument Departure
STAR	Standard Instrument Arrivals
TG	Trabalho de Graduação
TGL	Touch and go landing
TMA	Área de Controle Terminal
TODA	Take-off distance available
TORA	Take-off run available
TWR	Torre de Controle
VFR	Visual Flight Rules
VMC	Visual Meteorological Conditions

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	Apresentação do problema .....	15
1.2	Objetivo.....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
2.1	Procedimentos e regras de navegação aérea .....	21
2.1.1	Regiões e classificações do espaço aéreo .....	21
2.1.2	Cartas SID e STAR .....	26
2.1.3	Regras de separação.....	28
2.2	Fatores que limitam a capacidade de pista.....	32
2.3	Steeper Approach Procedure (SEAP) .....	35
2.4	Simulação.....	36
2.4.1	Ferramenta escolhida.....	37
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CONGONHAS</b> .....	<b>43</b>
4.1	Características físicas e operacionais do aeroporto.....	43
4.2	Características da demanda do aeroporto.....	43
4.3	Hipóteses simplificadoras.....	48
4.3.1	Escolha do cenário base.....	50
4.3.2	Construção da simulação do cenário base .....	52
4.4	Verificação da simulação.....	54
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>57</b>
5.1	Escolha das rotas SID e STAR.....	57
5.2	Cenários alternativos .....	60
5.2.1	Determinação do mix de pouso e decolagem .....	60
5.2.2	Comparação entre 3° e 5° na rampa de aproximação.....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>64</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO A – Cartas STAR 17L/17R.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO B – Cartas SID 17L/17R .....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO C – Cartas IAC 17L/17R .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO D – Distribuição mensal do mix por MTOW .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO E – Cronogramas do cenário base .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO F – Cronogramas para verificação .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO G – Cronograma final comparado .....</b>	<b>90</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação do problema

Diante da crise econômica que afeta o Brasil desde 2014, a economia nacional sofre a pior recessão desde os anos 30. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em setembro de 2016, a taxa de desemprego chegava a 11,8%. Não obstante, a Tabela 1 e Tabela 2 a seguir sugerem o impacto dessa recessão em termos da variação na movimentação nos três maiores aeroportos brasileiros, sendo o Aeroporto de Congonhas o menos afetado em termos percentuais de um ano para o outro. Atualmente, o Aeroporto de São Paulo/Congonhas é classificado como doméstico, localizado no município de São Paulo, e o segundo mais movimentado do Brasil de acordo com os dados liberados pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO, 2017a), estando à frente do Aeroporto de Brasília (AEROPORTO DE BRASÍLIA, 2017) e abaixo apenas do Aeroporto Internacional de Guarulhos (GRUairport, 2017), conforme os dados disponibilizados pelos respectivos administradores.

**Tabela 1 – Crescimento dos três aeroportos mais movimentados (pouso e decolagem) do país**

Aeroporto	2014	2015	2016	Cresc. em 2015	Cresc. em 2016
Guarulhos	304.586	295.030	267.746	-3,1%	-9,2%
Congonhas	205.407	213.833	213.043	4,1%	-0,4%
Brasília	183.874	186.377	161.167	1,4%	-13,5%

Fontes: GRUairport, INFRAERO e Aeroporto de Brasília

**Tabela 2 - Crescimento dos três aeroportos mais movimentados (passageiros) do país**

Aeroporto	2014	2015	2016	Cresc. em 2015	Cresc. em 2016
Guarulhos	39.537.000	38.985.000	36.596.326	-1,4%	-6,1%
Congonhas	18.134.768	19.279.644	20.816.957	6,3%	8,0%
Brasília	1.691.948	1.786.900	1.483.045	5,6%	-17,0%

Fontes: GRUairport, INFRAERO e Aeroporto de Brasília

No entanto, os estudos de perspectivas para o mercado aéreo global realizados pelas maiores fabricantes de aeronaves do mundo, a francesa Airbus e a americana Boeing, atestam

a resiliência do mercado aos efeitos externos. De acordo com a empresa francesa, o número de passageiros pagantes transportados por quilômetros voados (RPK) sempre se manteve crescente de 1965 a 2015, mesmo diante de crises do petróleo, ataques terroristas e crises financeiras mundiais no decorrer dos anos (AIRBUS, 2016). Não obstante, ambas as fabricantes projetam um cenário de crescimento para o setor aéreo na América Latina, ressaltando as mudanças no Brasil em busca de melhorias no setor, tais como o aumento para 49% do nível máximo de propriedade estrangeira em companhias aéreas brasileiras e acordos de liberações do espaço aéreo com os EUA (BOEING, 2016). Desde abril de 2017, está sujeito a apreciação do plenário o projeto de lei PL7425/2017 que permite a abertura de 100% do capital das companhias aéreas brasileiras ao investimento estrangeiro, sendo hoje essa participação limitada a 20%. Desse modo, torna-se evidente a importância do setor aéreo para a recuperação nacional, bem como a presença do Aeroporto de Congonhas nesse cenário.

Desde sua inauguração em meados dos anos 30, o aeródromo foi logo envolvido pela cidade tornando-se uma referência ao fluxo de passageiros, ocupando a posição de aeroporto mais movimentado do país de 1990 até 2006 (INFRAERO, 2017b), com fluxo principal na ponte área Rio-São Paulo. No decorrer dessa história, após o acidente com a aeronave Airbus da TAM em julho de 2007, o aeroporto passou por sérias restrições em suas operações. Em 2008, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) definiu critérios de utilização do aeroporto determinando, por exemplo, que “nenhuma aeronave civil poderá operar no Aeroporto de Congonhas após as 23:00h, horário local, e antes das 06:00h, horário local, exceto nas condições especiais citadas na resolução” (ANAC, 2017a), além de passar a operar apenas voos domésticos no mesmo ano.

Além da restrição ao horário de funcionamento, também em 2008, a ANAC apresentou novas regras de coordenação de slots a fim de possibilitar e regular a entrada de empresas em aeroportos saturados como Congonhas, incentivando a concorrência no setor. O slot equivale a um horário pré-determinado no qual a empresa aérea pode marcar um pouso ou uma decolagem, sendo que, para efeito de planejamento, considera-se o horário em que a aeronave chega ou sai do terminal de passageiros, caracterizado pelo calço e descalço da mesma. Em Congonhas, além de ser um aeroporto saturado, obras de ampliação e modernização não poderiam mudar o fato de o sítio aeroportuário estar cercado pelo avanço da cidade, fazendo do sistema de pistas seu principal gargalo. A Figura 1 ilustra a situação atual do aeroporto pelo contorno de sua área patrimonial, com sua pista principal de 1940 m e pista auxiliar de 1435 m, de acordo com o declarado pela carta ADC do aeródromo.

**Figura 1 – Limite patrimonial do Aeroporto de São Paulo/Congonhas**



Fonte: INFRAWAY Engenharia adaptado pelo autor

Diante desse contexto, ainda que se façam rearranjos em outros componentes do lado ar (pistas de táxi, pátio, saídas de pista, etc.) ou lado terra (meio fio, terminal de passageiros, etc.) com o intuito de aumentar suas respectivas capacidades, o sistema de pistas continua sendo o principal determinante do volume de operações que podem ser acomodadas no aeroporto. No entanto, ao mesmo tempo em que a cidade em torno promove a limitação da expansão, também oferece a Congonhas uma localização geográfica privilegiada ao garantir sua proximidade a milhões de usuários. Assim sendo, discussões são constantemente levantadas entre os stakeholders da aviação nacional acerca das diferentes possibilidades de utilização das pistas de Congonhas, com o intuito de melhorar o uso da capacidade instalada no aeroporto.

Em 2013, o Governo Federal propôs a reabertura da pista auxiliar aos voos comerciais com aeronaves capazes de operar sem restrições nessa pista, tais como as da frota da Azul (ATR-42, ATR-72 e jatos Embraer). No cenário proposto pelo Governo, sugeria-se o aumento de 4 slots por hora de aviação regular, sendo 2 deles operando na pista auxiliar. De acordo com o último relatório declarando o uso de slots no sistema de pistas, liberado em março deste ano (INFRAERO, 2017c), Congonhas apresenta 32/33 slots por hora para a aviação

regular operando apenas na pista principal, enquanto que a pista auxiliar oferece slots apenas a aviação geral.

Dentro desse contexto, uma possibilidade que oferece abertura às empresas aéreas em Congonhas, principalmente à Azul e Avianca, é a utilização da pista auxiliar 17L/35R – ilustrada na Figura 1 - também para operação de voos comerciais regionais, além dos voos executivos que nela já ocorrem. Antes do acidente em 2007, o sistema de pistas do aeroporto operava 48 slots por hora, segundo a ANAC. Após o acidente, a pista auxiliar passou a possuir 4 slots por hora de aviação geral, enquanto a pista principal 30 slots por hora de aviação regular. No mesmo ano, também se definiu que aeronaves comerciais, quando transportando passageiros, não podiam operar na pista auxiliar (ANAC, 2008).

De acordo com o anuário publicado em 2016 pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), a aviação geral apresentou uma redução na participação dos movimentos de 2013 a 2016. De acordo com a Tabela 3 a seguir, a aviação geral apresentou uma redução de 16,1% de 2014 a 2015, enquanto que a aviação comercial cresceu 9,5%. Os cálculos também mostram que, em termos de participação, a aviação geral compõe 21% de toda movimentação de 2015 e 19% em 2016, enquanto que a aviação comercial compõe 78% em 2015 e 80% em 2016. Vale ressaltar que a aviação geral é composta de aeronaves de asa fixa e rotativa, portanto, parte de sua participação deve-se a presença de helicópteros na região.

**Tabela 3 – Total de movimentos anual em Congonhas, somando-se pouso, decolagem, cruzamentos e TGL**

<b>Tipo de aviação</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Cresc. em 2015</b>	<b>Cresc. em 2016</b>
Total	222.902	216.133	221.534	219.746	2,5%	-0,8%
Comercial	159.756	158.331	173.382	175.945	9,5%	1,5%
Geral	60.386	54.592	45.825	41.714	-16,1%	-9,0%
Militar	2.760	3.210	2.327	2.087	-27,5%	-10,3%

Nota: TGL é abreviação de touch and go landing, isto é, toque e arremetida.

Fonte: Anuário DECEA, 2015

**Tabela 4 – Porcentagem de uso das cabeceiras ao longo dos anos**

<b>Cabeceira</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017 (1)</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
17L	6,51%	5,47%	5,26%	4,83%	4,24%	3,67%	5,00%	0,91%
17R	57,49%	58,49%	57,78%	51,49%	58,32%	56,65%	56,70%	2,41%
35L	32,77%	32,88%	34,02%	40,08%	34,44%	36,96%	35,19%	2,59%
35R	3,23%	3,16%	2,94%	3,60%	3,01%	2,71%	3,11%	0,28%

Notas: (1) Os dados de 2017 são dos movimentos ocorridos entre 01 de janeiro a 06 de julho apenas.

O cálculo desconsidera todas as operações de helicópteros e operações cuja cabeceira não foi informada pelo SETA Millenium.

Fonte: ICEA - – Dados internos SETA Millenium

Além disso, de acordo com as informações disponíveis no banco dados SETA Millennium do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), os dados da Tabela 4 acima revelam uma tendência constante na utilização das cabeceiras, sendo apenas 8,11% do uso anual ocorrendo na pista auxiliar, em média, entre os períodos de 2012 e 2017. Desse modo, o baixo uso da pista auxiliar sugere uma oportunidade de melhoria do uso da capacidade instalada do sistema de pistas, favorecendo o aproveitamento da mesma pela aviação regular que continua crescendo conforme ilustrado na Tabela 3. Não obstante, em 2013, as empresas aéreas TAM e Gol defendiam a retirada dos slots de pouso e decolagem da aviação geral da pista auxiliar, deixando apenas os slots de oportunidade disponíveis para esse tipo de aviação por ocasião de atrasos e cancelamentos ou em ocasiões especiais.

Finalmente, levando-se em conta todo o cenário de importância e localização do aeroporto, as especulações quanto as possibilidades de operações e a realidade atual de uso das pistas; levanta-se o questionamento de quanto o aeroporto poderia ganhar em capacidade operando apenas aviação regular no seu sistema de pistas e regras atuais. Além disso, estando atualmente declarada para a aviação geral o uso de 6 slots na pista auxiliar e 2 na pista principal, haveria a possibilidade de acomodá-los no Novo Aeroporto de São Paulo (NASP), localizado na cidade de Caieiras, do qual se prevê a construção até 2020. Do ponto de vista do crescimento do mercado de ATR, a AZUL, empresa aérea que mais opera ATR no mundo, liberou seu plano de frota até 2020, mostrando que a aeronave foi introduzida na operação com o intuito de servir rotas de curta distância e mercados secundários. Atualmente, a empresa aérea espera uma encomenda de 8 aeronaves ATR entre 2019 e 2021, esperando um crescimento na frota conforme ilustrado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Crescimento da frota ao longo dos anos**

Aeronave	2016	2017	2018	2019	2020
ATR	39	35	35	38	40
Embraer E-Jet	74	69	69	69	69

Fonte: Azul S.A., 2017

## 1.2 Objetivo

Diante da realidade apresentada na introdução deste Trabalho de Graduação (TG), os esforços de análise têm por objetivo geral avaliar a hipótese de ganho de capacidade do sistema de pista do Aeroporto de Congonhas com a operação de ATR-72 apenas na pista auxiliar e com rampa de aproximação mais acentuada que o convencional, permitindo maior separação entre as aeronaves pousando na pista auxiliar daquelas pousando na pista principal, sob hipótese de que toda operação de aviação geral de asa fixa tenha sido transferida para outro aeroporto. Para tanto, propõe-se cenários que avaliem a quantidade de aeronaves ATR possíveis de serem introduzidas sem impactar os movimentos atuais de operação na pista principal.

Para tanto, a análise se utiliza da simulação computacional do tráfego aéreo correspondente ao aeródromo de Congonhas que opera em seu sistema de pistas numa hora típica. As etapas que servem como critérios de sucesso e estrutura para este TG podem ser listadas como:

- Definição dos conceitos, normas, procedimentos e metodologia que baseiam a análise de capacidade com simulação;
- Definição o perfil operacional atual do Aeroporto de Congonhas para escolha do cenário base por meio de banco de dados disponibilizados e informações obtidas;
- Declaração das principais premissas simplificadoras da análise, verificando o modelo de simulação utilizado;
- Comparação das diferenças de capacidade e viabilidade operacional de cada cenário simulado.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

De posse do objetivo, torna-se necessário o entendimento dos elementos que caracterizam o espaço aéreo no entorno do aeródromo, bem como os fatores que influenciam a capacidade de pista e o método de avaliação da capacidade utilizado neste TG. A seguir, portanto, são abordados conceitos relevantes para o assunto, buscando-se referências nas literaturas pertinentes, normas e regulamentos do setor.

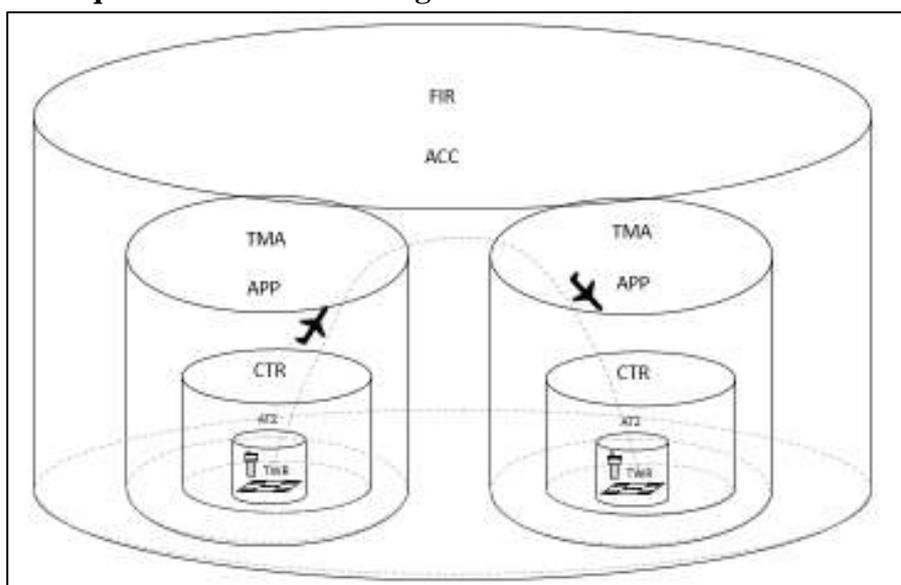
### **2.1 Procedimentos e regras de navegação aérea**

Visando promover o desenvolvimento seguro e ordenado do transporte aéreo internacional, a partir de 7 de dezembro de 1944, a International Civil Aviation Organization (ICAO) passou a emitir recomendações aos países signatários a respeito de diversos assuntos relacionados à aviação civil. No Brasil, os procedimentos recomendados pela ICAO são adotados pelo DECEA, o qual emite documentos que regulam as regras e serviços de tráfego aéreo.

#### **2.1.1 Regiões e classificações do espaço aéreo**

As regiões do espaço aéreo são controladas por órgãos competentes que possuem a finalidade de controlar o tráfego, oferecer serviços de meteorologia e informações aeronáuticas, comunicações e manutenção técnica aos equipamentos. Assim sendo, do ponto de vista das etapas de um voo, pode-se localizar as diferentes regiões do espaço aéreo desde o momento de decolagem até o pouso no aeródromo de destino. O esquema da Figura 2 ilustra todos os passos citados a seguir.

**Figura 2 - Esquema dos diferentes órgãos de controle durante as fases de um voo**



Fonte: FORTES, 2017

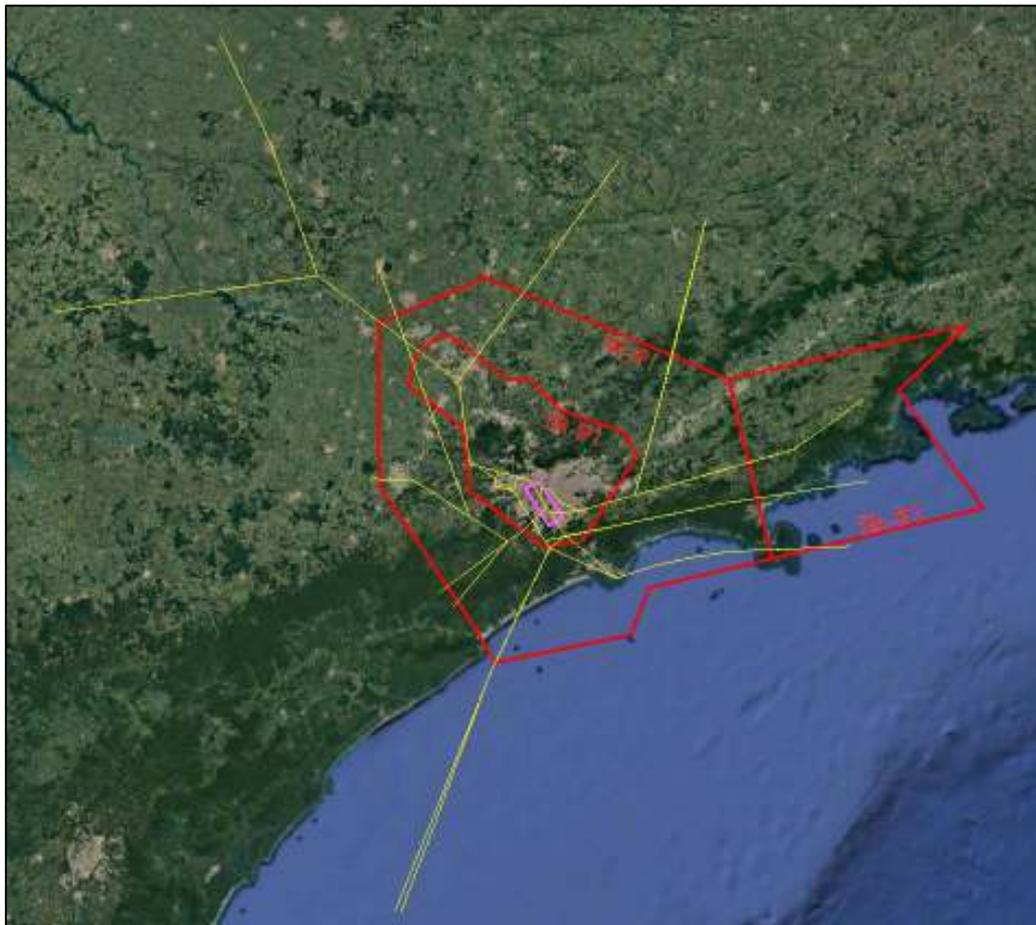
Após a aprovação do plano de voo, a aeronave solicita à torre de controle (TWR) o acionamento dos motores para o início de deslocamento no solo, rumo a decolagem. Ao chegar no ponto de espera próximo a cabeceira, a TWR emite autorização para ocupação da pista e subsequente decolagem dentro da Zona de Tráfego de Aeródromo (ATZ). Passando pela Zona de Controle (CTR), cujo controle está sob responsabilidade do Controle de Aproximação (APP), estão situadas as rotas de saída por instrumentos e visuais. Após a subida inicial, dentro da CTR, a saída é desenvolvida por um procedimento de subida especificado nas cartas de navegação (no caso de saída por instrumentos), passando-se o controle da TWR para o APP. Cada trajeto já definido, em regime ascendente, irá conduzir a aeronave para a aerovia fora da Área de Controle Terminal (TMA), iniciando-se um voo em cruzeiro na região de informação de voo (FIR) controlada pelo Centro de Controle de Área (ACC). Vale ressaltar que a CTR pode conter mais de um aeródromo, bem como a TMA pode conter mais de uma CTR.

Depois que a aeronave executa sua rota de destino e se aproxima do início do procedimento de descida para pouso, o APP da TMA de destino irá definir o procedimento de aproximação já declarado em cartas de navegação para aquele aeródromo, bem como a pista em uso. Dentro da área terminal TMA, ainda sob controle do APP, a aeronave pode ser conduzida pelo controle de modo a garantir os espaçamentos otimizados e seguros entre as aeronaves. Durante esse procedimento de aproximação, o controle pode submeter a aeronave a órbitas de espera (holdstacks) ou manobras de sequenciamento. Em seguida, inicia-se a

aproximação final dentro da CTR, onde a aeronave alinha-se com a pista mantendo a trajetória de planeio até o pouso ou toque e arremetida.

Dentre as áreas terminais brasileiras, a TMA São Paulo (TMA-SP) é a mais densa e movimentada e engloba oito aeroportos, dentre eles os três principais aeroportos do Estado de São Paulo: Aeroporto de Congonhas/São Paulo (SBSP), Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos (SBGR) e o Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas (SBKP). A Figura 3 ilustra, plotadas e georreferenciadas no Google Earth, as posições da TMA-SP1, TMA-SP2 e TMA-SP3 em vermelho e a CTR-SP em magenta, em relação a todas as rotas de saída e entrada (por instrumentos) em amarelo, declaradas para o aeroporto de Congonhas, mostrando que todos os fixos de transição da TMA para uma rota ATS (Air Traffic Services) se localizam fora da TMA-SP.

**Figura 3 - Localização geográfica relativa da TMA-SP1, TMA-SP2, CTR-SP, SIDs e STARS**

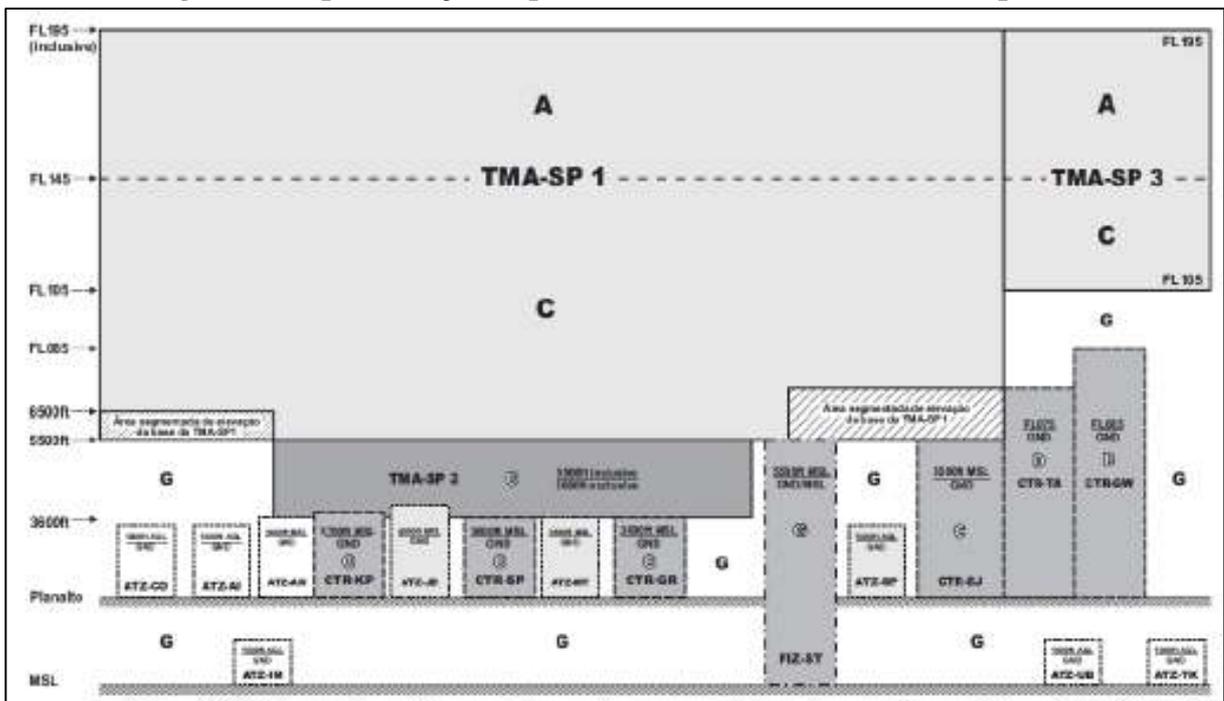


Fonte: Autor

Além disso, para um mesmo fixo de transição pode haver diferentes rotas ATS (DECEA, 2016b). Conforme declarado no documento de Publicação de Informação

Aeronáutica (AIP), chegam pelo fixo PAGOG as rotas ATS denominadas UZ44 e Z11. Dentre as diferenças, percebe-se que pela rota Z11 a aeronave deve estar entre os limites FL 155 (15.500 pés) e FL 245 (24.500 pés), enquanto que pela rota UZ44 deve estar entre FL 255 e UNL (ilimitado).

**Figura 4 – Apresentação esquemática da TMA-SP – Vista em perfil**



Fonte: DECEA, 2015b

Do ponto de vista do perfil vertical, a Figura 4 acima mostra as alturas e posições relativas entre a TMA-SP1, TMA-SP2, TMA-SP3 e CTR-SP, sendo o aeroporto de Congonhas localizado dentro desta última zona. Mesmo as rotas que possuem fixos de transição dentro da TMA-SP3 em termos horizontais, verticalmente nota-se que as aeronaves começam a adentrar na TMA-SP3 apenas abaixo do FL 195 (19.500 pés), o qual se localiza por volta do terceiro fixo, conforme descrito nos limites de altitude dos fixos no ANEXO A – Cartas STAR 17L/17R.

Quanto a classificação do espaço aéreo, nota-se a designação de letra C nas regiões TMA-SP1, TMA-SP2, TMA-SP3 e CTR-SP da Figura 4. Nota-se também uma pequena parte superior na TMA-SP3 e TMA-SP1 designada com a letra A. Isso se deve ao fato de o espaço aéreo ser dividido em sete classes de A a G, conforme Figura 5 a seguir. Cada classe tem diferentes regras quanto a separação entre aeronaves, controle exercido pelo órgão de controle do tráfego aéreo, exigência de autorização, condições meteorológicas mínimas para voos visuais, limites de velocidade e exigência de contato por rádio com controladores de tráfego.

Figura 5 - Classificação dos espaços aéreos ATS

CLASSIFICAÇÃO DOS ESPAÇOS AÉREOS ATS							
ESPAÇOS AÉREOS CONTROLADOS							
	A	B	C	D	E	F	G
<b>I</b> SEPARAÇÃO	TODAS AERONAVES		IFR e IFR IFR de VFR	IFR de IFR		IFR de IFR SEMPRE QUE FOR APLICÁVEL	NÃO PROPORCIONADA
<b>F</b> SERVIÇOS	ATC			ATC e INFORMAÇÃO de TRAFEGO SOBRE VOOS / VFR		SERVIÇOS de ASSESSORAM. e FIS	FIS
<b>R</b> LIMITE DE VELOCID.	NÃO APLICÁVEL			FL 100 150 KIAS AMBL			
RADIO COMUNC.	OBRIGATORIO						
AUTORIZ.	✓			DE ORGÃO ATC		NÃO EXIGIDA	
	A	B	C	D	E	F	G
<b>V</b> SEPARAÇÃO	TODAS AERONAVES		VFR de IFR	NÃO PROPORCIONADA			
<b>F</b> SERVIÇOS	ATC		ARC PI SEPARAÇÃO COM O IFR EO FIS PY VFR	FIS e AVISO PARA EVITAR TRAF. QUANDO REQUERIDO		FIS	
<b>M</b> MÍNIMOS	3 Km FL 100		3 Km FL 100	1000 ft 1500 ft 1000 ft 1500 ft		2 Km FL 100 1000 ft 1500 ft	
<b>C</b> VFR							
<b>R</b> LIMITE DE VELOCID.	360 KIAS			FL 100 150 KIAS			
RADIO COMUNC.	OBRIGATORIO					NÃO OBRIGATORIO CASO A AERONAVE POSSUA RADIO DEVERÁ ESTABELECCER CONTATO COM ORGÃO ATC	
AUTORIZ.	✓			DE ORGÃO ATC		NÃO EXIGIDA	

Fonte: SOARES, 1993 apud MEDAU, 2011

Uma definição importante nesse ponto se refere as diferenças de regras de voo entre visual (VFR) e por instrumento (IFR). Segundo Ashford et al (2011), o uso de cada regra depende essencialmente da equipagem da aeronave, condições climáticas, local e altitude das rotas aéreas. Em geral, as regras VFR prevalecem quando as condições climáticas são boas o suficiente para o piloto manter referências visuais com o solo e distâncias mínimas das nuvens, que variam de acordo com a classificação do espaço aéreo onde se encontra, além de estar dentro de uma região de tráfego aéreo de baixa densidade. Não obedecidas essas condições, por outro lado, a aeronave opera em voo por instrumentos e o piloto não necessita de visibilidade externa, podendo navegar dentro de nuvens e em condições de visibilidade reduzida.

Nas regiões classe C são permitidos voos IFR e VFR e todos os voos estão sujeitos ao serviço de controle de tráfego aéreo. Os voos IFR são separados entre si e dos voos VFR pelo controle; os voos VFR são separados apenas dos voos IFR pelo controle e apenas recebem informação de tráfego em relação aos outros voos VFR e aviso para evitar tráfego quando solicitado pelo piloto. Portanto, é de responsabilidade do piloto voando em VFR garantir sua

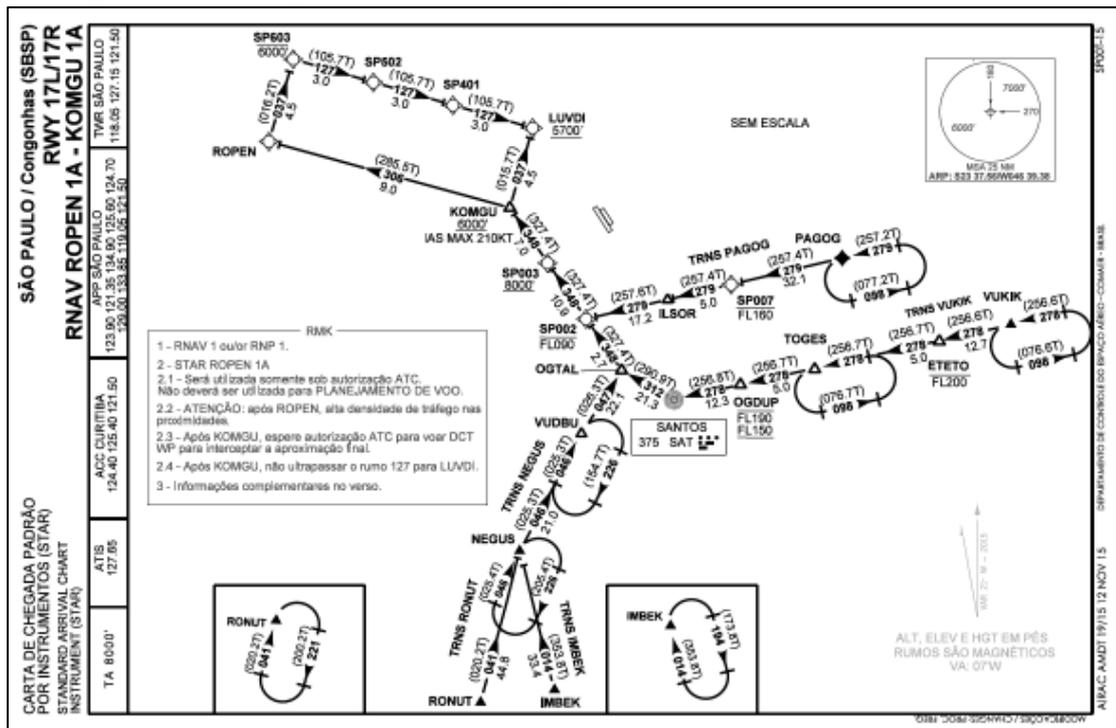
separação de outros voos VFR. Já nas regiões classe A, não é permitido voos VFR e todas as aeronaves recebem auxílio quanto a separação do órgão ATC (Air Traffic Control) competente. Vale ressaltar que todas as definições e informações explicitadas podem ser encontradas no regulamento ICA 100-37 – Serviços de Tráfego Aéreo.

### **2.1.2 Cartas SID e STAR**

Quando a aeronave se encontra equipada com instrumentos adequados e equipamentos de navegação apropriados à rota a ser voada, as cartas Standard Instrument Arrivals (STAR) e Standard Instrument Departure (SID) definem rotas e procedimentos de chegada e saída, respectivamente, para voos IFR dentro da TMA e da CTR, ilustrados na Figura 3. Com o intuito de gerenciar o fluxo de diversas aeronaves chegando e saindo de diversas localidades, cada aeroporto possui um conjunto de cartas STAR e SID para cada cabeceira de pista. O controle, vetoração ou vigilância das aeronaves que utilizam essas rotas é feito pelo APP responsável por aquela TMA, protegendo-as dos obstáculos e mantendo uma separação segura entre as aeronaves.

As cartas são compostas por um conjunto de fixos (waypoints), cujas coordenadas são disponibilizadas pelo Serviço de Informação Aeronáutica (AISWEB), que definem a rota a ser percorrida pela aeronave. Há também informações quanto as frequências de sintonização com os órgãos de controle responsáveis, restrições de altitude e velocidade de voo, bem como previsões de órbita (holdstacks) sobre determinados fixos a fim de coordenação e sequenciamento das aeronaves, no caso de cartas STAR. O nível que a aeronave utilizará na espera é determinado pelo controlador do APP, sendo a velocidade máxima permitida de 230 nós. Para abandonar a holdstack, o controlador orienta as aeronaves quanto à necessidade ou não de terminá-la por completo ou abandonar em qualquer parte da espera. As mudanças de nível ou altitude devem ser executadas com uma razão de subida e descida entre 500 e 1000 pés por minuto.

Figura 6 – Exemplo de carta STAR para as cabeceiras 17R/17L em SBSP



Fonte: AISWEB

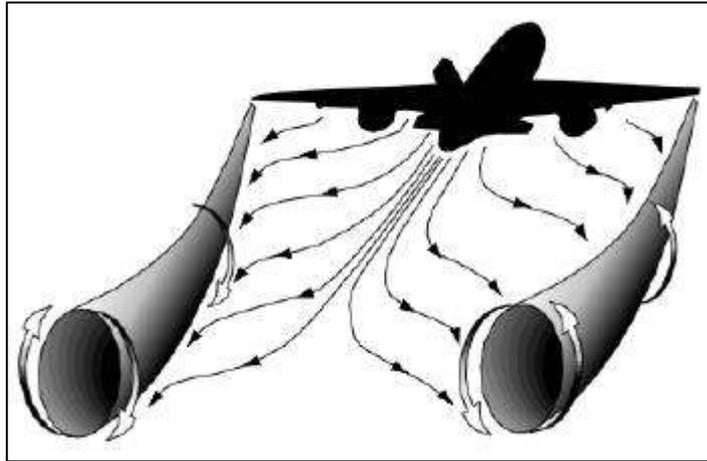
A Figura 6 acima ilustra um exemplo de carta STAR das cabeceiras 17L/17R do aeroporto de Congonhas. Nota-se a presença de um trombone espaçado por 3 NM (milhas náuticas) de modo que, ao passar pelo fixo KOMGU (com no mínimo 6000 pés de altitude e velocidade máxima de 210 nós), a aeronave pode se dirigir direto para LUVDI ou seguir na direção de ROPEN realizando uma curva para direita nas posições paralelas aos fixos SP401, SP502 ou SP603 conforme a estratégia de sequenciamento e coordenação. O ANEXO A – Cartas STAR 17L/17R, ANEXO B – Cartas SID 17L/17R e ANEXO C – Cartas IAC 17L/17R mostram todas as cartas utilizadas neste TG.

Dependendo da aerovia tomada pela aeronave durante seu trajeto em rota ATS, o fixo de transição pode ser RONUT, IMBEK, VUKIK ou PAGOG para a carta da Figura 6. Após este fixo de transição, acontece a troca de voo de rota ATS para uma STAR, no caso de cartas STAR. Após a passagem pelo fixo LUVDI, utilizam-se as cartas Instrument Approach Chart (IAC) que definem o perfil de aproximação para pouso. Nesse momento final, o controle da aeronave é transferido para a TWR.

### 2.1.3 Regras de separação

Odoni et al (2013) mostram que dois fatores são primordiais na definição das regras de distância de separação entre aeronaves: a acurácia da localização pelo sistema de vigilância e o fenômeno conhecido como esteira de turbulência, ilustrado na Figura 7.

**Figura 7 - Esteira de turbulência**



Fonte: FAA, 1995, apud, MEDAU, 2011

Analisando-se o primeiro fator, pode-se concluir que o serviço de controle de tráfego aéreo prestado oferece uma razão de atualização de radar que introduz incertezas quanto a posição da aeronave, implicando na necessidade de uma separação radar. Já o segundo fator depende dos tipos das aeronaves que operam no espaço aéreo quanto ao seu peso máximo de decolagem (MTOW). Naturalmente, aquelas mais pesadas geram uma perturbação mais significativa nas massas de ar por onde passam, ao mesmo tempo em que são mais capazes de suportar os efeitos dos vórtices comparativamente às mais leves. Segundo o próprio DECEA (2016), “se o encontro com o vórtice ocorrer na área de aproximação, seu efeito será maior pelo fato de a aeronave que seguir atrás se encontrar numa situação crítica com relação à velocidade, empuxo, altitude e tempo de reação”.

Analisando-se, portanto, todas as possibilidades de configurações de aeronaves dentro da região de aproximação (TMA, CTR e ATZ), identificam-se cinco situações nas quais são necessárias as prescrições quanto as regras de separação dentro das regiões do espaço aéreo classe A e C:

- 1) Em voo: separação entre as aeronaves em pleno voo numa STAR ou SID;
- 2) Pouso-pouso: momento de pouso seguido de outro pouso;
- 3) Pouso-Decolagem: momento de pouso seguido de decolagem;

- 4) Decolagem-Pouso: momento de decolagem seguido de pouso;
- 5) Decolagem-decolagem: momento de decolagem seguida de outra decolagem.

Por fim, vale ressaltar que as normas que definem as separações no espaço aéreo brasileiro são a ICA 100-37 – Serviço de Tráfego Aéreo e a CIRCEA 100-61. Nota-se, no entanto, que a quase totalidade das informações presentes nestes documentos foram extraídas das recomendações dadas pela ICAO no documento Doc 4444 – Air Traffic Management (2016). Além disso, um ponto importante a se ressaltar é que para pistas paralelas com distância entre eixos menor do que 760 m, como em Congonhas, as restrições de separação com operação por instrumentos podem ser consideradas como a de uma pista simples, conforme o documento Annex 14, Volume I da ICAO. Nesse ponto, a única vantagem é que a aeronave poderia decolar numa pista assim que o pouso já estivesse controlado na pista paralela, não precisando esperar a total liberação da pista como em pista simples.

### 2.1.3.1 Separação Vertical

O APP é o órgão responsável pelas separações vertical e horizontal dos voos nos espaços aéreos de sua jurisdição (TMA e/ou CTR). Desse modo, conforme declarado em regulamento, a separação vertical mínima entre aeronaves aplicada por um APP será de 300 m (DECEA, 2016a). Além disso, a separação entre as aeronaves voando IFR e os obstáculos no solo já está assegurada pela execução dos procedimentos de aproximação nas cartas SID e STAR.

### 2.1.3.2 Separação Horizontal

A separação horizontal consiste em espaçar as aeronaves entre si no plano horizontal, por meio da separação lateral ou da separação longitudinal. Uma vez que se definem as rotas SID e STAR para cada cabeceira, as separações laterais já estarão garantidas. Além disso, no caso de Congonhas, as cabeceiras jamais ficam ativas simultaneamente, facilitando ainda mais a manutenção das separações mínimas. Desse modo, apresentam-se a seguir as regras encontradas nos regulamentos competentes.

**Tabela 6 - Categorização de aeronaves para regular as separações**

<b>Tipo da Aeronave</b>	<b>Descrição</b>
Pesada (H)	MTOW de 136.000 kg (300.000 lb) ou mais
Média (M)	MTOW inferior a 136.000 kg (300.000 lb) e superior a 7.000 kg (15.500 lb)
Leve (L)	MTOW inferior a 7.000 kg (15.500 lb)

Fonte: DECEA, 2016a

De posse dessas informações, a Tabela 6 acima ilustra as categorizações definidas para coordenação das separações mínimas longitudinais devido à esteira de turbulência. A separação radar entre as aeronaves normalmente empregada é de 5 NM, conforme regulamento CIRCEA 100-61. No entanto, em determinadas circunstâncias, definidas pelo órgão de controle, a separação radar padrão pode ser reduzida para 3 NM em TMA ou CTR, caso sejam atendidas determinadas as seguintes condições (DECEA, 2015a):

- a) a especificação do radar estiver adequada para uso em TMA;
- b) as aeronaves envolvidas estiverem a menos de 60 NM da antena do radar;
- c) as informações de posição da aeronave forem oriundas de fonte de radar primário e/ou secundário;
- d) as informações radar se originem de uma única antena, não devendo ser utilizadas com sistema multirradar, exceto se forem atendidas as exigências dispostas no item 3.2.2.1 do mesmo regulamento; e
- e) os procedimentos aplicados resultarem em benefício à eficiência da circulação aérea nos pousos e/ou decolagens de um ou mais aeródromos.

Portanto, buscando-se o maior valor entre os mínimos de separação radar e por esteira de turbulência, pode-se listar a Tabela 7 como resumo das possíveis separações, de acordo com regulamento, para a situação em voo (situação 1) citada acima.

**Tabela 7 - Mínimos de separação longitudinal para situação 1 (em voo)**

Aeronave que segue à frente	Aeronave que segue atrás	Distância mínima (NM)
Pesada (H)	Pesada (H)	4 ou 5
	Média (M)	5
	Leve (L)	6
Média (M)	Pesada (H)	3 ou 5
	Média (M)	3 ou 5
	Leve (L)	5
Leve (L)	Pesada (H)	3 ou 5
	Média (M)	3 ou 5
	Leve (L)	3 ou 5

Nota: “3 ou 5” se refere a possível redução de 5 para 3 NM sob algumas circunstâncias, conforme citado.

Fontes: DECEA, 2016a, 2015a

As informações da Tabela 7 acima se aplicam apenas quando (DECEA, 2016a):

- a) uma aeronave seguir a rota de outra, na mesma altitude ou a menos de 300 m (1000 pés) abaixo;

b) ambas as aeronaves utilizarem a mesma pista ou pistas paralelas separadas por menos de 760m (2500 pés); ou

c) uma aeronave cruzar a rota de outra na mesma altitude ou a menos de 300 m (1000 pés) abaixo.

Para a situação 2 (pouso-pouso), pode-se resumir os valores de tempo mínimo de acordo os requisitos de turbulência e separação radar, conforme Tabela 8 a seguir. Vale ressaltar que esses tempos são complementares às separações em voo listadas na Tabela 7, valendo a mais restritiva entre ambas.

**Tabela 8 - Mínimos de separação longitudinal para situação 2 (pouso-pouso)**

Aeronave que segue à frente	Aeronave que segue atrás	Distância mínima (min)
Pesada (H)	Pesada (H)	Não explicitado
	Média (M)	2
	Leve (L)	3
Média (M)	Pesada (H)	Não explicitado
	Média (M)	Não explicitado
	Leve (L)	3
Leve (L)	Pesada (H)	Não explicitado
	Média (M)	Não explicitado
	Leve (L)	Não explicitado

Nota: nos casos onde não foram explicitados no ICA 100-37, pode-se entender que valerão as separações de distância citadas na Tabela 7.

Fonte: DECEA, 2016a

Para a situação 3 e situação 4 (pouso-decolagem e decolagem-pouso), o regulamento sugere que quando a aeronave que chega está executando uma aproximação direta, a aeronave que parte poderá decolar na mesma direção daquela que chega com pelo menos 5 min antes da hora prevista para que a aeronave que chega se encontrar sobre a cabeceira da pista. Do contrário, a aeronave que iria decolar deverá esperar a execução do pouso e, após esta executar o rolamento e liberação da pista (se for pista simples), ela poderá executar a decolagem.

Para a situação 5 (decolagem-decolagem), pode-se resumir os valores de tempo mínimo de acordo os requisitos de turbulência e separação radar, conforme Tabela 9 a seguir. A uma aeronave partindo, normalmente, não será permitido iniciar a decolagem de outra até que a aeronave precedente tenha cruzado o final da pista em uso, ou tenha iniciado uma curva.

**Tabela 9 - Mínimos de separação longitudinal para a situação 5 (decolagem-decolagem)**

Aeronave que segue à frente	Aeronave que segue atrás	Distância mínima (min)
Pesada (H)	Pesada (H)	1 ou 2
	Média (M)	2
	Leve (L)	2
Média (M)	Pesada (H)	1 ou 2
	Média (M)	1 ou 2
	Leve (L)	2
Leve (L)	Pesada (H)	1 ou 2
	Média (M)	1 ou 2
	Leve (L)	1 ou 2

Nota: os casos de 1 ou 2 min de separação são para quando as aeronaves seguem rotas divergentes de pelo menos 45° ou seguem a mesma rota sendo a líder no mínimo 40 kt mais veloz, respectivamente.

Fonte: DECEA, 2016a

Finalmente, conforme informações coletadas<sup>1</sup>, para efeito de controle nas regiões de aproximação em Congonhas na prática, a aeronave é considerada no centro de um círculo horizontal de raio 5 NM, independentemente da situação. Esse fato ressalta a tendência dos controladores em simplificarem cada vez mais o modus operandi do tráfego aéreo, reduzindo a possibilidade de erros no controle.

## 2.2 Fatores que limitam a capacidade de pista

Segundo Odoni et al (2013), há diversas definições para capacidade de pista e a principal pode ser descrita como aquela que indica o número máximo de movimentos (pousos e decolagens) que podem ser acomodados no sistema de pistas durante uma hora, na presença de demanda contínua e respeitando todos os requisitos e regras do tráfego aéreo local. Nota-se, portanto, que nessa definição não se adiciona o conceito de “nível de serviço”, o qual introduz novas noções de capacidade derivadas da definição principal ao reconhecer um atraso médio aceitável em sua definição. Como exemplo, há a definição de capacidade prática horária que introduz um nível de atraso médio de no máximo 4 min a 8 min por operação, dependendo da definição adotada.

Diante disso, pode-se imaginar a grande quantidade de fatores que comprometem o uso eficiente do sistema de pistas considerando-se apenas os fatores que afetam a capacidade

<sup>1</sup> Essa informação foi obtida por meio de entrevista direta com um controlador da APP-SP, obtendo-se a seguinte resposta: “No caso de Congonhas, a separação é de 5 NM, independentemente da situação. Tanto em voo na TMA quanto no procedimento para pouso e decolagem”.

da pista diretamente. A discussão a seguir destina-se a elucidar apenas os fatores relevantes a realidade do Aeroporto de Congonhas.

De modo geral, pode-se agrupar os fatores em quatro classes relacionadas ao (a) sistema de gerenciamento de tráfego, (b) características da demanda, (c) condições ambientais nas imediações do aeroporto e a (d) disposição geométrica do sistema de pistas.

#### **(a) Sistema de gerenciamento do tráfego aéreo**

Todo aeroporto possui um sistema de Air Traffic Management (ATM), o qual é composto de procedimentos e regulamentos de operações do espaço aéreo, controladores de tráfego responsáveis pelos serviços, sistemas automatizados que auxiliam as decisões dos controladores, sistema de comunicação entre os envolvidos no controle, sistema de vigilância ao posicionamento das aeronaves e sistema de navegação de assistências às aeronaves. Assim sendo, a falha ou inadequação de um desses componentes do ATM pode influenciar diretamente a capacidade da pista. Como exemplo, o DECEA permite a redução de separação radar para 3 NM, em TMA ou CTR, apenas sob condições de monitoramento adequados (DECEA, 2015a).

De acordo com a qualidade dos sistemas instalados em terra e nas aeronaves, o sistema de gerenciamento do tráfego aéreo define distâncias e quantidades permitidas de aeronaves dentro do espaço aéreo controlado, com o intuito de se manter os níveis de segurança e eficiência de tráfego. Essas distâncias variam em diferentes regiões do mundo, revelando-se a necessidade de se maximizar a capacidade desses espaços ao mesmo tempo em que mostram a qualidade dos recursos de gerenciamento do tráfego aéreo local. Não obstante, os EUA e a Europa praticam as menores distâncias de separações atualmente, possibilitando espaços aéreos com maior capacidade de acomodação de voos.

#### **(b) Características da demanda**

Devido a geração de esteiras de turbulência no espaço aéreo, os diferentes tipos de aeronaves oferecem perturbações de magnitudes diferentes de acordo com o seu MTOW. Aquelas mais pesadas não só geram maiores turbulências, como também são mais capazes de suportar os “efeitos de balanço violento, perda de altura ou velocidade ascensional e esforços na estrutura”, efeitos esses decorrentes da passagem de uma aeronave pela turbulência (DECEA, 2016a). Assim, aeroportos que possuem um mix uniforme de aeronaves oferecem uma maior facilidade de controle aos controladores de tráfego aéreo, exigindo menos ajustes de separação, velocidades de aproximação e outras características. Já um mix heterogêneo composto por aeronaves pesadas seguidas por aeronaves leves, além das dificuldades de

controle, exige a utilização de separações radares maiores devido à esteira gerada pelas de maior porte.

Outro ponto importante reside na composição de pousos e decolagens atuante no aeródromo. Para a maioria dos sistemas ATM, os requisitos de separação são tais que a capacidade da pista usada apenas para decolagem é maior que aqueles usados apenas para pousos, dado um mesmo mix de aeronaves. Como exemplo, alguns aeroportos dos EUA chegam a acomodar 60 decolagens em uma hora, e em contrapartida só podem receber no máximo 45 pousos. Além disso, apesar de diferenças entre os diversos sistemas ATM, regras do tipo first-come, first-served (FCFS) operam de modo a dar prioridade de acordo com a ordem de chegada para uso da pista. No entanto, em geral, torna-se mais eficiente realizar o encaixe de decolagens entre operações de pousos, aumentando a capacidade do sistema de pistas.

### **(c) Condições ambientais nas imediações do aeroporto**

As condições que definem a regra de voo atuante em cada operação também afetam as restrições de separação. A altura das nuvens, ou teto, e a distância de visibilidade de pista são dois parâmetros que determinam as condições meteorológicas visuais ou instrumentais na qual o aeroporto opera em cada instante de tempo, que por sua vez determinam as separações permitidas a serem praticadas naquela região. Em situações extremas de visibilidade ou condições de tempestade, os sistemas de pistas podem ser fechados por determinados períodos.

Além disso, por razões de segurança, a componente de vento perpendicular a rota da aeronave em decolagem não deve exceder a um máximo especificado, sendo a componente na direção do movimento da aeronave também muito importante na imposição do tamanho necessário da pista para execução segura de uma dada operação.

Por fim, regulamentações para abatimento de ruídos podem afetar a capacidade do sistema de pista, limitando ou restringindo o uso de uma ou mais pistas durante certas horas do dia. Como exemplo, sendo o Aeroporto de Congonhas localizado dentro da cidade de São Paulo, esse fator determinou restrições à capacidade do aeroporto.

### **(d) Disposição geométrica do sistema de pistas**

A quantidade de pistas ativas simultaneamente no aeroporto é um fator determinante de sua capacidade, bem como o grau de dependência entre as mesmas devido sua disposição geométrica. Dependendo das circunstâncias de combinação de demanda, condições meteorológicas, mix de movimentos e restrições de ruído, um aeroporto pode operar sob

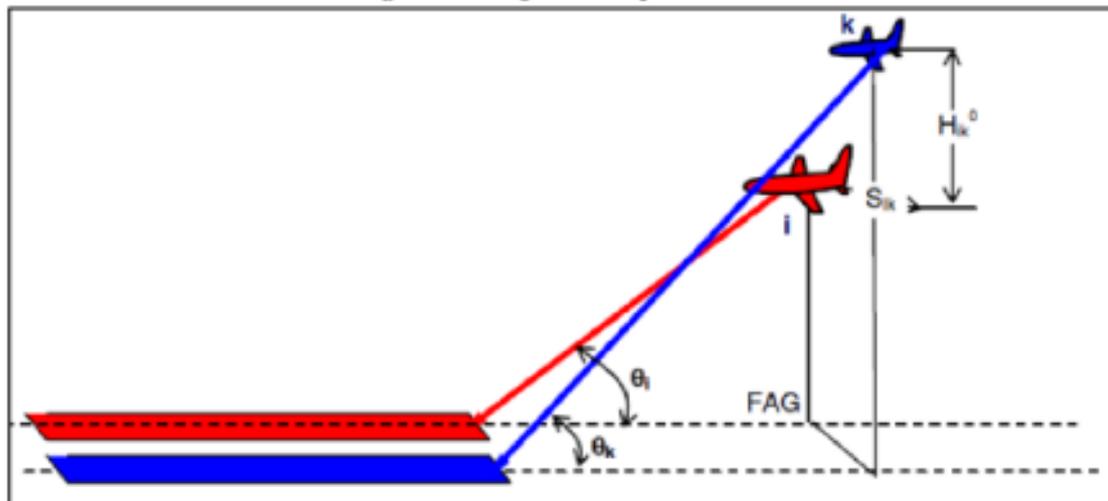
diversas configurações de pista caso ele ofereça tal flexibilidade. Como exemplo, o Aeroporto de Boston (Logan Airport) pode operar em até vinte configurações distintas com suas cinco pistas. Já as disponibilidades de uso das cabeceiras dependem, em grande parte, da direção e velocidade de ventos que permitam um procedimento seguro de pouso e decolagem. Um vento de cauda, por exemplo, exige um comprimento maior de pista para que a aeronave ganhe sustentação. No caso de pistas paralelas próximas, a distância entre os eixos define as regras de dependência entre as operações (ICAO, 2016). Portanto, o número, espaçamento, comprimento e orientação das pistas são fatores de projeto importantes para uma dada demanda.

Além disso, também o número, local e saídas de pistas rápidas e bem localizadas oferecem uma redução no tempo de ocupação de pista, aumentando sua capacidade de uso. Diferentemente de saídas a  $90^\circ$ , as saídas rápidas oferecem saídas sob maiores velocidades apenas para aeronaves que pousam. Do ponto de vista da decolagem, o aumento da capacidade de pista está na facilidade de acesso às cabeceiras sem comprometer a liberação para uso da pista neste processo.

### 2.3 Steeper Approach Procedure (SEAP)

Conforme os avanços tecnológicos disponibilizem aeronaves mais resilientes ao momento do pouso, tornam-se praticáveis rampas de aproximação mais inclinadas, afastando-se geometricamente as rotas de aproximação das pistas paralelas. Segundo Janic (2008 apud Almeida), o procedimento SEAP, aplicado em algumas pistas de aeroportos regionais na Europa, consiste num procedimento de aproximação com ângulo mais acentuado que o convencional ( $3^\circ$ ), e é aplicado em algumas pistas de aeroportos na Europa com o intuito de reduzir ruído e evitar obstáculos. Esse procedimento exige a presença de ILS em ambas as cabeceiras, cada uma com seu respectivo ângulo de aproximação. A Figura 8 a seguir ilustra o procedimento onde a aeronave  $i$  é uma pesada e a aeronave  $k$  é uma menor. No caso de Congonhas, a aeronave  $i$  se aproximaria na pista principal com ângulo  $\theta_i$ , enquanto a aeronave  $k$  (sempre um ATR) se aproximaria pela pista auxiliar com ângulo  $\theta_k$ .

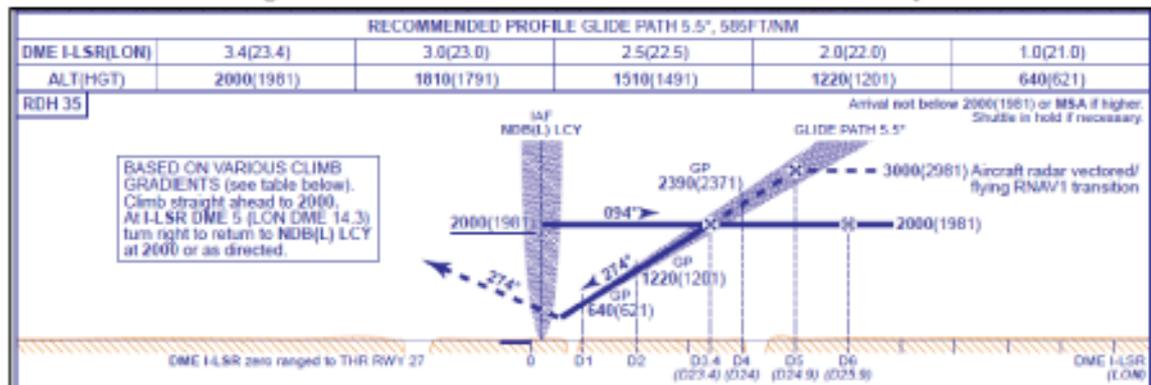
Figura 8 - Aproximação SEAP



Fonte: JANIC, 2008, apud ALMEIDA, 2014

No ponto FAG (Final Approach Gate) ilustrado, as aeronaves devem estar separadas verticalmente, no mínimo, pela separação padrão, além da separação longitudinal padrão para o aeroporto. Atualmente, no Aeroporto de London City há um procedimento com rampa de aproximação de  $5,5^\circ$  declarado nas cartas IAC deste aeródromo, conforme ilustrado na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Carta IAC cabeceira 27 de London City



Fonte: AUTHORITY, 2016

## 2.4 Simulação

Um modelo pode ser entendido como a idealização de um recorte da realidade. Percebe-se, portanto, uma dupla simplificação nesse processo: primeiro, recorta-se somente os fenômenos de interesse, em seguida, simplifica-os segundo um modelo compreensível à mente humana. Esse processo se destina a possibilitar a análise de uma realidade que pode ser complexa demais para ser descrita na sua totalidade de fenômenos ou ser proibitiva sua

manipulação para análise de mudanças. O fenômeno abordado neste TG apresenta, pois, não só a complexidade do fenômeno, mas também restrições de manipulações quanto ao custo e segurança.

Segundo Ashford et al. (2011), diferentes métodos de abordagem podem ser empregados na avaliação da capacidade de pista e atrasos, podendo ser separados essencialmente em: modelos analíticos, modelos numéricos e modelos de simulação computacional. Os modelos analíticos oferecem uma representação por meio de um conjunto de equações e formulações matemáticas e, tipicamente, solucionam problemas que possuem uma solução fechada. No entanto, tornam-se excessivamente complexos na aplicação de modelamentos cada vez mais detalhados. Nesses últimos casos, adota-se soluções numéricas por meio de procedimentos de aproximação de relações analíticas que não possuem fácil solução.

Os modelos de simulação, por sua vez, são aqueles que pretendem replicar as relações e processos do sistema real, em função do tempo, por meio de modelos matemáticos, lógicos e numéricos que preveem o comportamento dinâmico do sistema real previamente recortado. Diferentemente de se buscar uma solução ótima para o sistema, os modelos de simulação oferecem a possibilidade de se conduzir experimentos com o modelo a fim de se entender o comportamento e/ou avaliar estratégias para o sistema real. Além disso, tal abordagem oferece a oportunidade de razoável representação de sistemas e relações demasiadamente complexas de serem estudadas por modelos analíticos ou numéricos. A seguir é explicado, de modo geral, a ferramenta escolhida e seu funcionamento.

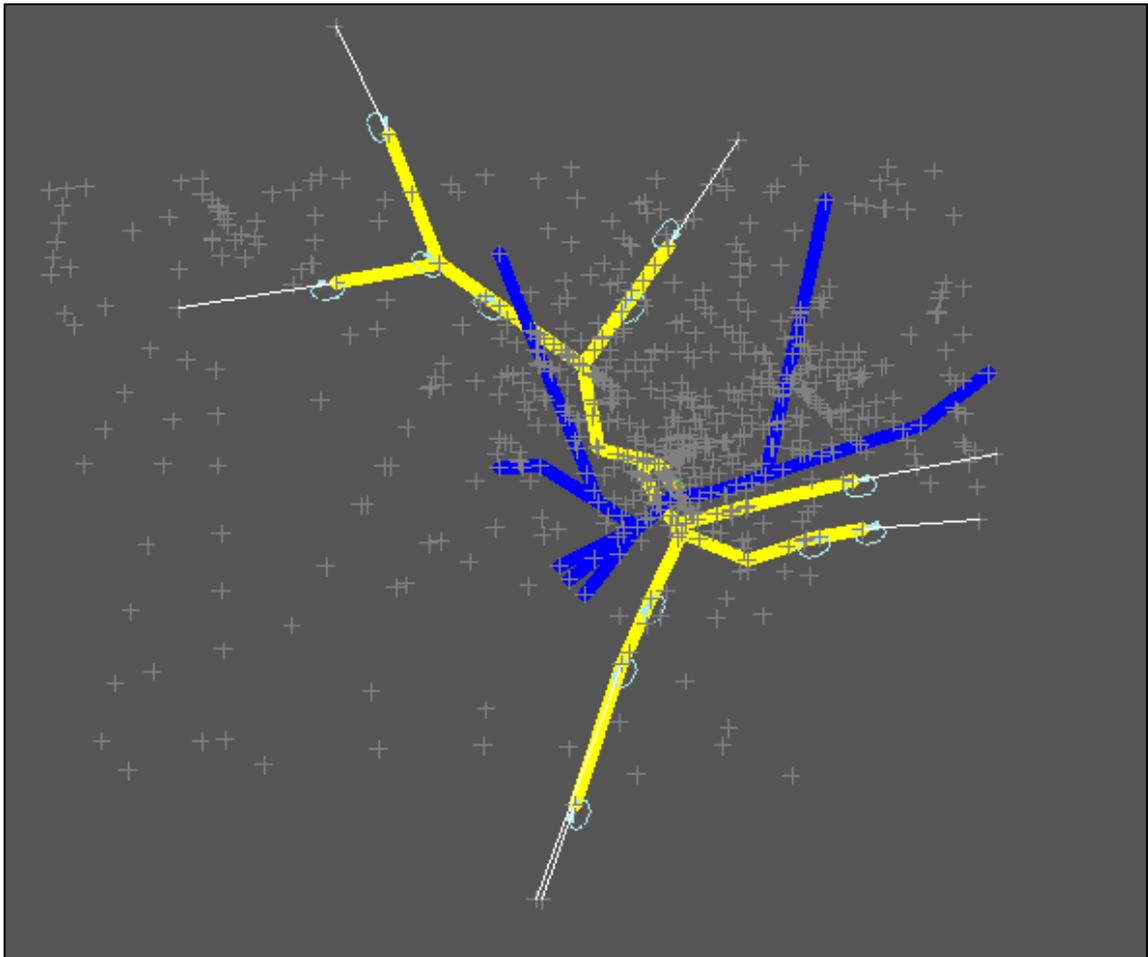
#### **2.4.1 Ferramenta escolhida**

Dentre os softwares de simulação disponíveis no mercado, escolheu-se o RAMS Plus (Reorganized ATC Mathematical Simulator) pela sua rapidez e facilidade de suporte oferecido durante o tempo disponível para realização deste TG. O software é um simulador desenvolvido pela empresa ISA Software, formada por dois integrantes do departamento de performance de aeronaves da Organização Europeia para a Segurança da Navegação Aérea (EUROCONTROL). Por meio de simulações em tempo acelerado, o software simula os movimentos das aeronaves no espaço aéreo tanto a nível global quanto a nível local de aeroportos específicos.

Medau (2011) mostra a amplitude de estudos utilizando-se ferramentas de simulação tais como SIMMOD, TAAM, ARENA e RAMS Plus. No âmbito das discussões acadêmicas, destaca-se a utilização do RAMS para avaliação de novos procedimentos para aproximações

simultâneas em sistemas de pistas paralelas próximas (FRAGA, 2009), avaliação da carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo (OLIVEIRA, 2007) e análises de capacidades de sistemas de pista (FORTES, 2015). Como exemplo fora do âmbito acadêmico, utiliza-se o RAMS na avaliação de reduções do consumo de combustível em viagens transoceânicas sob o suporte de rastreamento permanente do espaço aéreo (ISA SOFTWARE, 2017).

**Figura 10 - STAR (amarelo) e SID (azul) da cabeceira 17R de Congonhas modeladas pelo RAMS**



Fonte: Autor

Tipicamente, o software RAMS é alimentado com informações a respeito das coordenadas dos fixos (waypoints), cronograma do tráfego de voos, informações sobre a rota, SIDs e STARs (conforme Figura 10 acima), pontos de espera (holdstacks), configuração das pistas, saídas de pistas e dados de performance das aeronaves. Somando-se isso ao conjunto de regras de resolução de conflitos, o software calcula e tenta simular um cenário do espaço aéreo definido pelo operador.

Dentro da simulação, quando o voo a caminho de um pouso executa um pedido de reserva de pista a um tempo ou distância antes de chegar na pista, ele o faz requerendo seu uso começando em dado instante de tempo e reservando por um dado período. Se o pedido for aprovado pela base de regras de resolução de conflitos, o voo reserva a pista este período e prossegue seu curso. Caso contrário, o sistema de regras da pista é consultado devido a um conflito no uso da pista. Após determinar uma solução, o sistema de regras pode manobrar o voo. A manobra pode ser a espera numa holdstack, diminuição da velocidade, utilização do trombone da STAR ou uma combinação deles.

Se nenhuma resolução for definida ou alcançada pelo sistema de regras, o voo continua seu curso, colidindo com qualquer coisa no seu caminho, sem reserva prévia da pista. Esses voos ficam indicados com uma cor diferente, mostrando uma superação da capacidade da área da TMA.

Para decolagens, analogamente, o voo faz um pedido de reserva da pista um tempo antes de entrar na simulação. Essa reserva de pista prévia tem uma grande influência na resolução de conflitos dentro da TMA. Por exemplo, se este tempo for zero, um voo em rota para pouso pode entrar na TMA, requerer a reserva de pista e voar em direção à pista. Nesse meio tempo, o voo de decolagem entra na simulação e encontra um conflito para a reserva de pista. Se o momento de pedido de reserva para decolagem fosse maior que o tempo máximo de voo para o pouso, então o conflito é encontrado assim que a aeronave entra na TMA para iniciar a aproximação. Desse modo, o sistema de regras pode considerar manobras de resolução para o voo em aproximação, caso julgue necessário.

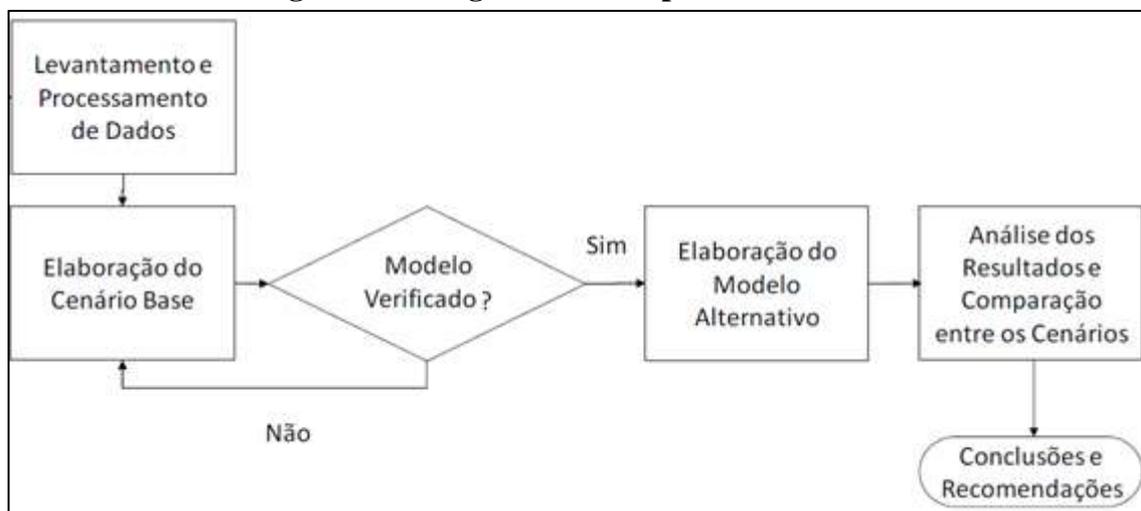
Portanto, a fim de manter um cronograma e prioridade de voos, cada pista de pouso modelada possui uma lista de reserva e uma lista de pendências. A lista de reserva é aquela onde todos os voos receberam permissão de uso em um dado instante de tempo. A lista de pendências é aquela onde o uso da pista foi negado e, portanto, o voo se encontra em uma holdstack ou numa fila de decolagem. Essa lista de pendências mantém os voos numa ordem de prioridade baseada na hora de pedido de reserva, juntamente com um cronograma interno para estimar o tempo aproximado de uso da pista.

Um cronograma de reserva de voos é simplesmente um aviso para a pista. Este aviso mostra que um voo usará a pista entre o início e fim da hora de ocupação. Para uma decolagem, o tempo inicial é a hora de início de ocupação e o tempo final é a hora de ocupação final somando-se o tempo de bloqueio da pista após decolagem. Para um pouso, o tempo inicial é a hora de início de ocupação menos o tempo de bloqueio da pista antes do

pouso, e o tempo final é a hora final de ocupação da pista. A seguir é ilustrada a metodologia utilizada para avaliação do estudo proposto neste TG.

### 3 METODOLOGIA

Figura 11 - Diagrama das etapas desenvolvidas



Fonte: VASCONCELLOS, 2016 adaptado pelo autor

A Figura 11 ilustra as etapas percorridas para análise dos resultados e cenários. Os capítulos seguintes se destinam, portanto, à elucidação de cada uma das etapas desse fluxograma. Neste tópico, busca-se apenas elucidar os métodos de verificação do modelo de simulação utilizados. Vale ressaltar que há também a necessidade de se proceder a métodos de validação, os quais não foram utilizados neste TG, mas foram elucidados a seguir.

Com o intuito de verificar o modelo, isto é, avaliar discrepâncias óbvias quanto ao seu funcionamento, pode-se submeter a simulação a inspeções informais e visualizações dinâmicas por especialistas relacionados ao problema em análise. Como exemplo, pode-se submeter o cenário base à análise de controladores de tráfego aéreo da TMA-SP e usuários mais experientes do software RAMS. Nesse processo, verifica-se a coerência das rotas, a obediência a regras de tráfego, a resolução de possíveis conflitos, os níveis e restrições de voo. Além disso, através de relatórios da simulação, pode-se estimar o nível de atraso médio por movimento, verificando se o mesmo se encontra dentro do esperado. Todo o processo de verificação pode ser feito dentro de um cenário de pico a fim de se verificar o modelo em situações extremas.

Por outro lado, há também a necessidade de validar o modelo de simulação, isto é, avaliar se os resultados obtidos são uma representação fidedigna do sistema real modelado. Nesse caso, poder-se-ia buscar uma análise estatística para validar a homogeneidade das populações de dados reais e simulados quanto à forma, média e variância de onde as amostras

foram recolhidas. Essas populações são caracterizadas pelos tempos de voo entre waypoints consecutivos, numa dada SID e STAR escolhida, para cada categoria de aeronave Leve (L), Média (M) e Pesada (M) em um dado cenário base. Uma população é composta pelos tempos medidos por meio da simulação, outra é composta pelos tempos reais medidos por meio do sistema ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast). Os dados disponibilizados por esse sistema registram a posição precisa, em tempo real, apenas de aeronaves equipadas com esta tecnologia.

A estratégia para se comparar duas populações por meio de seus parâmetros supõe o conhecimento prévio da forma de suas distribuições, para depois se testar a hipótese de igualdade de médias e variâncias. Para se fazer inferência para duas populações quanto a igualdade de suas variâncias e médias, pode-se utilizar a distribuição F de Snedecor. Este método, no entanto, supõe que as populações possuem uma distribuição normal. Desse modo, inicialmente executa-se um teste de normalidade com ambas as amostras de tempo.

## 4 ESTUDO DE CONGONHAS

### 4.1 Características físicas e operacionais do aeroporto

O aeroporto de Congonhas possui uma pista principal (17R/35L) de 1940 m de comprimento e uma auxiliar (17L/35R) de 1435 m, ambas com 45 m de largura. A pista principal conta com ILS CAT I em ambas as cabeceiras, permitindo operações de pouso em condições meteorológicas cuja altura de decisão não seja menor que 60 m e visibilidade não menor que 800 m (ANAC, 2017a). A pista auxiliar conta apenas com aproximações de não precisão, baseadas em estações tipo VOR/DME. Nesse caso, os mínimos meteorológicos para pouso são altura de decisão não menor que 150 m de teto e 1600 m de visibilidade. A distância entre os eixos das pistas é de 220 m, não permitindo operações simultâneas de nenhuma natureza, operando sob regras de pista simples conforme já explicitado.

Apesar de a pista principal e auxiliar possuírem 1940 m e 1435 m segundo a carta do aeródromo (ADC), respectivamente, de acordo com a declaração de capacidade do aeroporto realizada em 20 de março de 2017 (INFRAERO, 2017c), as seguintes distâncias ilustradas na Tabela 10 estão declaradas para as pistas:

**Tabela 10 - Distâncias declaradas em metros**

Pista	TORA	TODA	ASDA	LDA
17R/35L	1790	1940	1790	1660
17L/35R	1345	1345	1345	1195

Fonte: INFRAERO, 2017c

De acordo com as cartas IAC, o ângulo de aproximação padrão é sempre 2,9° para a cabeceira 17R e 3° na cabeceira 17L. É também importante ressaltar que aeronaves de asa fixa ou rotativa operando segundo regras VFR seguem rotas especiais em voo visual (REA) e rotas especiais de helicópteros (REH), respectivamente, de forma a não interferir as operações IFR (DECEA, 2015b).

### 4.2 Características da demanda do aeroporto

De acordo com a capacidade de pista declarada pelo CGNA, o conjunto de pistas do aeroporto de Congonhas é capaz de operar 40/41 movimentos/hora atualmente (CGNA,

2017). No entanto, sendo Congonhas um aeroporto coordenado, cuja expectativa de demanda de tráfego tende a ultrapassar a capacidade declarada, todas as suas operações de pouso e decolagem estão condicionadas à obtenção de um slot. No entanto, não estão sujeitas à obtenção de slot as aeronaves:

- em situação de emergência;
- em missão de busca e resgate;
- ambulância, em operação aeromédica, conforme legislação específica;
- transportando órgãos vitais para transplante humano, conforme legislação específica;
- transportando Chefes de Estado ou de Governo;
- transportando governador de Unidade Federativa Brasileira;
- de asa rotativa em voo VFR;
- em inspeção em voo;
- em operação militar; e
- efetuando voo extra, quando em reforço de voo previsto em HOTRAN, conforme legislação específica, desde que previamente coordenado com o CGNA.

Conforme citado anteriormente, Congonhas disponibiliza no máximo 32/33 movimentos/hora na pista principal para aviação comercial (INFRAERO, 2017c). A Tabela 11 a seguir mostra, dentro do horário de funcionamento, a quantidade de slots declarada pela INFRAERO em cada hora do dia para aviação comercial. Vale ressaltar que, para a aviação geral, há apenas 8 slots entre 06:00 e 23:00, sendo apenas 2 na pista principal e 6 na pista auxiliar.

**Tabela 11 – Slot de pista para aviação comercial e geral**

Hora		Comercial	Geral	Total
06:00	07:00	32	8	40
07:00	08:00	33	8	41
08:00	09:00	33	8	41
09:00	10:00	32	8	40
10:00	11:00	33	8	41
11:00	12:00	33	8	41
12:00	13:00	33	8	41
13:00	14:00	32	8	40
14:00	15:00	32	8	40
15:00	16:00	32	8	40
16:00	17:00	32	8	40
17:00	18:00	33	8	41
18:00	19:00	33	8	41
19:00	20:00	33	8	41
20:00	21:00	33	8	41
21:00	22:00	32	8	40
22:00	23:00	16	8	24

Fonte: INFRAERO, 2017c

Além disso, com o intuito de se caracterizar o perfil da demanda do aeroporto ao longo dos anos de 2012 a 2017, coletam-se informações quanto aos seguintes tópicos:

- Porcentagem de utilização das cabeceiras (Tabela 12);
- Porcentagem de operação de pouso por cabeceira (Tabela 13);
- Porcentagem de operações IFR por cabeceira (Tabela 14).

Vale ressaltar que, até o momento de início da análise, só se dispunha de dados até 6 de julho de 2017. Além disso, as tabelas supracitadas desconsideram as operações de helicópteros e operações cuja cabeceira não foi informada pelo sistema SETA Millenium.

**Tabela 12 - Porcentagem de utilização das cabeceiras**

Cabeceira	2012	2013	2014	2015	2016	2017 (1)	Média	Desvio
17L	6,51%	5,47%	5,26%	4,83%	4,24%	3,67%	5,00%	0,91%
17R	57,49%	58,49%	57,78%	51,49%	58,32%	56,65%	56,70%	2,41%
35L	32,77%	32,88%	34,02%	40,08%	34,44%	36,96%	35,19%	2,59%
35R	3,23%	3,16%	2,94%	3,60%	3,01%	2,71%	3,11%	0,28%

Notas: (1) Os dados de 2017 são dos movimentos ocorridos entre 01 de Janeiro a 06 de Julho apenas.

Fonte: ICEA – Dados internos SETA Millenium

**Tabela 13 - Porcentagem de operação de pouso por cabeceira**

<b>Cabeceira</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017 (1)</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
17L	45,25%	45,51%	50,39%	55,57%	66,10%	68,30%	55,19%	9,19%
17R	50,01%	49,71%	49,30%	48,76%	48,22%	48,30%	49,05%	0,68%
35L	50,94%	50,75%	50,41%	50,05%	49,91%	50,24%	50,38%	0,36%
35R	39,17%	42,13%	44,08%	48,75%	51,46%	50,00%	45,93%	4,44%

Notas: (1) Os dados de 2017 são dos movimentos ocorridos entre 01 de Janeiro a 06 de Julho apenas.

Fonte: ICEA – Dados internos SETA Millenium

**Tabela 14 - Porcentagem de operações IFR por cabeceira**

<b>Cabeceira</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017 (1)</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
17L	84,33%	86,38%	87,41%	87,81%	88,54%	86,05%	86,75%	1,37%
17R	97,82%	98,04%	98,29%	98,74%	98,07%	97,73%	98,12%	0,33%
35L	97,62%	98,14%	98,15%	98,90%	98,68%	98,57%	98,35%	0,42%
35R	82,51%	84,98%	86,01%	85,44%	82,93%	78,71%	83,43%	2,47%

Notas: (1) Os dados de 2017 são dos movimentos ocorridos entre 01 de Janeiro a 06 de Julho apenas.

Fonte: ICEA – Dados internos SETA Millenium

Pela análise dos desvios em comparação com as médias, de acordo com a Tabela 12, pode-se notar uma maior utilização das cabeceiras 17R e 17L, sendo uma proporção de 92% de uso da 17R em relação ao total de operações nas cabeceiras 17R e 17L. Do mesmo modo, quanto ao tipo de operações nas cabeceiras, pode-se considerar que as operações são, em geral, igualmente balanceadas entre pousos e decolagens, de acordo com Tabela 13. Finalmente, pode-se também considerar que a grande maioria das operações ocorre segundo regras de voo IFR, de acordo com a Tabela 14. Assim sendo, todos esses dados favorecem a conclusão de um perfil de demanda razoavelmente constante ao longo do tempo, podendo-se, portanto, considerar 2017 como um ano representativo deste perfil.

Outro ponto importante quanto a caracterização da demanda, trata-se da distribuição do mix de aeronaves separadas pela categoria de MTOW, tendo em vista que esta característica pode influenciar fortemente a escolha de um cenário representativo à simulação. A Tabela 15 e Tabela 16 a seguir apresentam a porcentagem média e o desvio padrão, respectivamente, da participação de cada aeronave por MTOW na composição do mix mensal. Nota-se a ausência daquelas classificadas como Pesada (P), além de uma participação em torno de 90% daquelas classificadas como Média (M) e 10% do tipo Leve (L).

**Tabela 15 - Média mensal por MTOW em 2017**

Mês	Pesada (P)	Média (M)	Leve (L)
JAN	0,00%	94,64%	5,36%
FEV	0,00%	93,29%	6,71%
MAR	0,00%	92,57%	7,43%
ABR	0,00%	91,85%	8,15%
MAI	0,00%	91,76%	8,24%
JUN	0,00%	91,63%	8,37%
JUL	0,00%	91,15%	8,85%

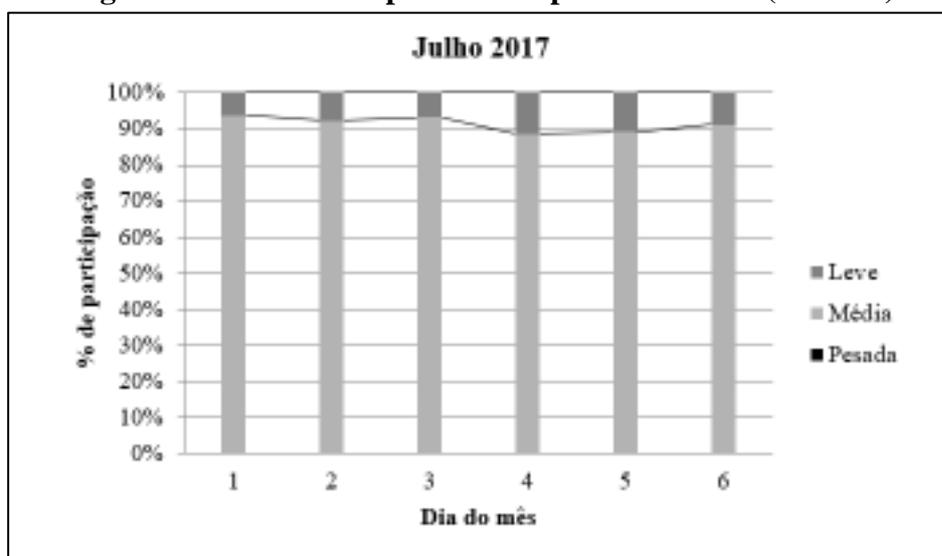
Fonte: ICEA - -- Dados internos SETA Millenium

**Tabela 16 - Desvio padrão mensal por MTOW em 2017**

Mês	Pesada (P)	Média (M)	Leve (L)
JAN	0,00%	1,58%	1,58%
FEV	0,00%	2,13%	2,13%
MAR	0,00%	1,84%	1,84%
ABR	0,00%	2,47%	2,47%
MAI	0,00%	1,81%	1,81%
JUN	0,00%	2,48%	2,48%
JUL	0,00%	1,92%	1,92%

Fonte: ICEA - -- Dados internos SETA Millenium

Dada a baixa variabilidade do mix quanto a categorização por MTOW, pode-se considerar o mês de julho de 2017 como um mês representativo para a escolha de um cenário. O ANEXO D – Distribuição mensal do mix por MTOW mostra a variação do mix de janeiro a junho de 2017. Vale ressaltar que, para o mês de julho, os dados coletados contemplam apenas até o dia 6. A Figura 12 resume a distribuição diária para o mês de julho.

**Figura 12 - Mix diário para cada tipo de aeronave (MTOW)**

Fonte: ICEA – Dados internos SETA Millenium

Finalmente, vale ressaltar que as operações sem informação da aeronave utilizada no cronograma de voos registrado dentro de cada mês, juntamente com as operações de helicóptero, correspondem de 6% a 9% do volume total de cada mês, as quais foram retiradas da análise da Tabela 15 e Tabela 16. Para o ano de 2017, a Tabela 17 ilustra a porcentagem do volume de operações excluídas da análise em cada mês em relação ao volume total.

**Tabela 17 – Porcentagem do volume total de aeronaves desconsideradas na análise no ano de 2017**

Mês	Sem Cabeceira	Helicóptero
JAN	0,17%	6,60%
FEV	0,14%	7,39%
MAR	0,08%	21,41%
ABR	0,12%	7,39%
MAI	0,12%	20,17%
JUN	0,10%	8,06%
JUL	0,26%	6,04%

Fonte: ICEA – Dados internos SETA Millenium

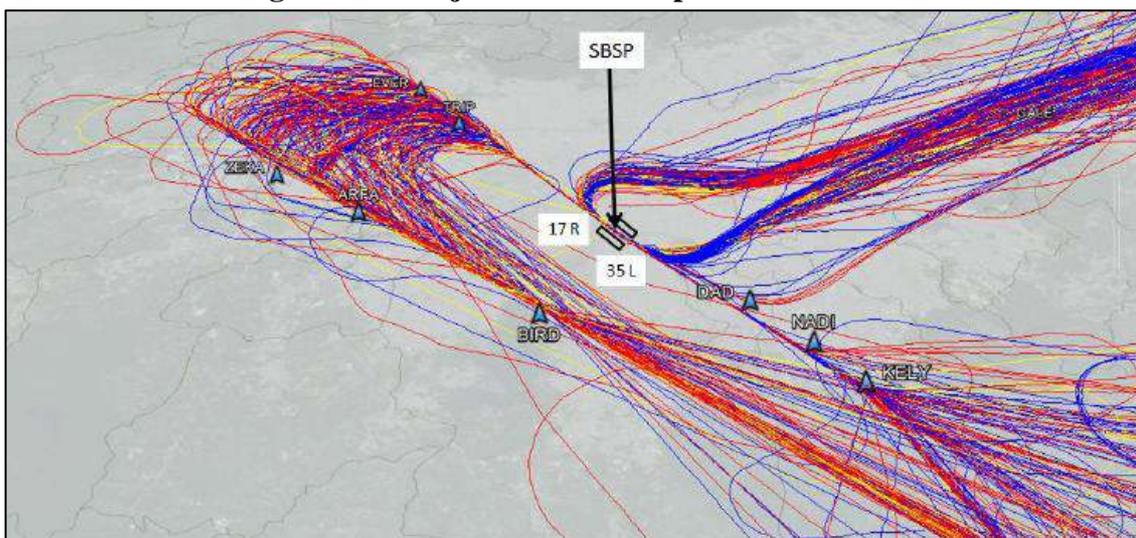
### 4.3 Hipóteses simplificadoras

A fim de que se execute uma análise pertinente ao escopo e objetivo desse trabalho, um conjunto de hipóteses simplificadoras foi adotado com respeito ao fenômeno analisado é listado a seguir:

- 1) **Dados de helicópteros:** apesar de existir algum impacto na capacidade do espaço aéreo decorrente da operação de helicópteros e grande volume de operações em março e maio de 2017 (conforme Tabela 17 acima), os mesmos foram desconsiderados devido à complexidade da quantificação e qualificação dessa influência.
- 2) **Dados sem identificação:** todas as operações que não ofereciam identificação quanto a cabeceira utilizada não entraram na análise da Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14. Do mesmo modo, as operações que não ofereciam identificação quanto a aeronave foram excluídas da análise das Tabela 15 e Tabela 16, bem como as operações de helicópteros. Não se buscou nenhuma tentativa de estimar esses dados ausentes.
- 3) **Interferências de outras SIDs e STARs:** como este estudo só considera as rotas para o aeroporto de Congonhas, todas as demais operações e rotas que ocorrem dentro da TMA-SP relativas a outros aeroportos foram desconsideradas na análise.

- 4) **Impacto na carga de trabalho:** toda e qualquer alteração no modo de operação de um determinado espaço aéreo causa interferência na carga de trabalho dos controladores, a qual foi ignorada nesta análise por fugir do escopo do trabalho.
- 5) **Apenas uma cabeceira sob análise:** sabe-se que a maioria dos aeroportos operam um sentido de pista em blocos de tempo de acordo com a direção predominante dos ventos. Desse modo, supor um cenário com a utilização apenas da cabeceira mais utilizada (17R e 17L) é bastante adequado à realidade de operação de Congonhas. Não obstante, análise do cronograma de voos revela blocos de tempo no qual apenas um sentido de pista está operando por vez.
- 6) **Dispersão das rotas:** de acordo com dados de radar obtidos para voos operando na ponte aérea Rio-São Paulo (FORTES, 2005), a Figura 13 a seguir oferece uma ideia das dispersões das trajetórias ao executar os procedimentos SID e STAR. Essas dispersões decorrem de processos de sequenciamento indicados pela torre de controle (a exemplo de trombones conforme explicitado anteriormente), bem como eventos meteorológicos indesejados. Esse fato introduz certa complexidade para a simulação e, por fugir do escopo deste trabalho, não foi incorporado no modelo.

**Figura 13 - Trajetórias de voos próximos a SBSP**



Fonte: FORTES, 2005

- 7) **Ausência de validação do modelo:** conforme explicitado no capítulo sobre a metodologia neste TG, o processo de validação do modelo não foi considerado

uma vez que se tornaria demasiadamente dispendioso, sendo impossível sua execução no tempo hábil deste TG. No entanto, supõe-se que os métodos de verificação foram suficientes para análise.

#### **4.3.1 Escolha do cenário base**

A quantidade de aeronaves ATR que poderia ser adicionada na pista auxiliar sem alterar o cronograma de voos da pista principal depende, diretamente, do cenário base do qual se inicia a análise. Sendo Congonhas um aeroporto já coordenado, será escolhido um cenário base no qual o aeroporto esteja operando na sua máxima capacidade de slots para a aviação comercial.

Desse modo, de posse do perfil operacional e do perfil de demanda mostrados nos capítulos anteriores e adotando-se as hipóteses simplificadoras, escolhe-se o dia mais recente como o dia representativo uma vez que o perfil de demanda do aeródromo é padronizado ao longo dos anos, meses e dias do mês. Assim pode-se garantir o estudo de um cenário representativo mais atual possível. Quanto à escolha da hora representativa ilustrada na Tabela 18 a seguir, são tomados os seguintes princípios de escolha:

- 1) Volume igual a 32/33 movimentos/hora de aviação comercial na pista principal.
- 2) Pouso e decolagem balanceados;
- 3) Proporção de uso próximo a 92% na 17R, em relação ao total de operações das cabeceiras 17R e 17L.

**Tabela 18 - Movimentação horária do dia 06/07/2017**

Hora local	Movimentação de aeronaves			Perfil das operações	
	Total	Comercial	Geral	%Pouso	%17R
06:00 07:00	33	29	4	33%	91%
07:00 08:00	35	32	3	43%	91%
08:00 09:00	36	31	5	44%	94%
09:00 10:00	38	30	8	53%	97%
10:00 11:00	32	26	6	50%	91%
11:00 12:00	40	30	10	58%	83%
12:00 13:00	41	37	4	54%	95%
13:00 14:00	38	34	4	45%	92%
14:00 15:00	37	29	8	57%	81%
15:00 16:00	37	32	5	51%	89%
16:00 17:00	40	32	8	53%	85%
17:00 18:00	35	30	5	40%	91%
18:00 19:00	43	30	13	53%	86%
19:00 20:00	38	34	4	53%	95%
20:00 21:00	36	35	1	50%	97%
21:00 22:00	32	32	0	63%	100%
22:00 23:00	16	15	1	50%	100%

Fonte: ICEA - – Dados internos SETA Millenium

A contagem de movimentos entre os horários supõe intervalo aberto no início e fechado no final. Como exemplo, os 33 movimentos entre 06:00h e 07:00h são aqueles que aconteceram a partir de 06:00h até as 07:00h inclusive. A análise da Tabela 18 mostra alguns pontos discrepantes quanto ao esperado para o aeroporto coordenado segundo a declaração de slot na Tabela 11 supracitada, excedendo o valor declarado em algumas horas (19:00h a 20:00h, por exemplo). No entanto, tais discrepâncias podem ser explicadas ao se levar em conta as situações nas quais as aeronaves não estejam sujeitas à obtenção de slot, bem como situações nas quais há a existência de slot de oportunidade no caso cancelamento de slot previamente alocado em outra pista.

Assim sendo, diante do explicitado acima, a hora entre 15:00h e 16:00h é aquela mais adequada a representar o cenário base pelo fato de conter 32 movimentos de aviação comercial, 51% das operações sendo pouso e 89% de operações ocorrendo na cabeceira 17R, em comparação com o total das cabeceiras 17R e 17L. O cronograma que compõe esse cenário base pode ser encontrado no ANEXO E – Cronogramas do cenário base.

### 4.3.2 Construção da simulação do cenário base

De posse do cronograma do cenário base, deve-se definir qual procedimento SID e STAR cada operação utilizou. Assim, de acordo com o disponibilizado pelo Plano de Voo Repetitivo (RPL) no portal operacional online do CGNA, é possível inferir qual rota uma determinada aeronave escolheu para seu voo, sendo cada SID ou STAR nomeada segundo seu fixo de transição para voo em rota. Também se utiliza as informações de restrições de velocidade e altitude declaradas nas cartas STAR, bem como os fixos que possuem holdstacks, permitindo que o RAMS escolha se a aeronave deve realizar a órbita completa ou não para liberá-la. Além disso, busca-se respeitar a velocidade máxima permitida de 230 nós, bem como a razão de subida e descida entre 500 e 1000 pés por minuto dentro de cada holdstack.

No caso de decolagem, o horário de entrada na simulação é considerado o mesmo horário registrado no cronograma do SETA Millenium, já que este registra o horário no qual a aeronave efetivamente decolou. Além disso, partindo-se da premissa de que o sistema de pistas é o principal gargalo do aeroporto, admite-se a não necessidade de se introduzir gates e pistas de táxi no modelo simulado. Desse modo, a aeronave entra na simulação no horário determinado já na cabeceira a qual foi designada e pronta para decolagem assim que autorizado. Quanto ao nível de saída da simulação, adotou-se 27000 pés para todos os voos que decolam de Congonhas.

Por outro lado, pelo fato do simulador permitir apenas a introdução do horário de entrada na simulação, é preciso fazer uma estimativa prévia para a entrada das operações de pouso já que o cronograma disponibilizado pelo SETA Millenium registra o horário que aeronave efetivamente pousou. De posse das rotas de cada pouso e de sua respectiva aeronave de operação, simulou-se o tempo no qual a aeronave levaria para percorrer sua respectiva STAR até o pouso, sem sofrer interferências de outras aeronaves. Em seguida, subtraiu-se este tempo do horário declarado no SETA Millenium para se obter o horário correto de entrada na simulação de cada pouso. Quanto ao nível de entrada na simulação, adotou-se 27000 pés para todos os voos que pousam em Congonhas.

Uma vez configurado o cronograma de entrada dos voos na simulação, bem como as particularidades de cada SID e STAR declaradas nas respectivas cartas, segue-se à escolha das regras de coordenação desses voos. O próprio simulador já oferece pacotes de regras pré-definidas para determinadas simulações. Neste caso, escolheu-se o pacote TMA Runway Rules, cujo modo de operação já foi explicitado no item 2.4.1 deste TG. Além disso, no caso

de pouso, definiu-se 1500 s como tempo prévio de solicitação de reserva de pista antes do tempo esperado de pouso. No caso de decolagem, também se adotou 1500 s como o tempo prévio de solicitação de reserva de pista.

Em seguida, definiu-se a relação de tempos e separação para coordenação de pouso e decolagens. No campo Runway Dependencies, foram introduzidos quatro blocos de regra de acordo com a operação principal e a operação a ser bloqueada, conforme ilustra a Figura 14.

**Figura 14 - Caixa de diálogo Runway Dependencies**

The screenshot shows the 'Runway Dependencies' dialog box. At the top, there is a list of dependencies with columns for 'Dependency Name' and 'Activated'. Below the list are 'Add', 'Update', and 'Delete' buttons. The main configuration area is titled 'Runway Dependency' and includes a 'Dependency Name' field with 'ARR\_ARR' and an 'Activated' checkbox. It is divided into two columns: 'Airport Operation' and 'Blocks This Operation', each with dropdowns for Airport, Operation, Runway, Route, and Category. Below these are 'Block Start and End Events' with input fields for 'Start Block At' (190.00) and 'End Block At' (0.00), radio buttons for 'Before' and 'After', and event dropdowns. A summary line reads 'From 190s before #RWY\_TOUCHDOWN until #RWY\_TOUCHDOWN'. At the bottom, there is a 'Separation Distance (optional)' section with a 'Lateral Distance (NM)' field set to 5.00. 'Ok' and 'Cancel' buttons are at the very bottom.

Fonte: Autor

Nesse campo, o usuário é capaz de configurar distâncias de separação para cada categoria de aeronave segundo as diferenças de esteira de turbulência. No caso de Congonhas, como serão simuladas apenas aeronaves do tipo média segundo seu MTOW, não se faz necessária tal distinção. Assim sendo, determinou-se o seguinte conjunto de regras para todas

as aeronaves em operação nas cabeceiras 17R e 17L do aeródromo conforme ilustrado na Tabela 19.

**Tabela 19 - Regras de dependência para uso da pista**

<b>Operação Principal</b>	<b>Operação Bloqueada</b>	<b>Regra</b>
Pouso	Pouso	Bloquear a pista 190s antes de a operação principal realizar o toque na pista e liberar a pista imediatamente após o toque
Pouso 17L	Decolagem 17L	Bloquear a pista 70s antes de a operação principal realizar o toque na pista e liberar a pista 30s após o toque
Pouso 17R	Decolagem 17R	Bloquear a pista 70s antes de a operação principal realizar o toque na pista e liberar a pista 37s após o toque
Pouso 17L	Decolagem 17R	Bloquear a pista 70s antes de a operação principal realizar o toque na pista e liberar a pista 0s após o toque
Pouso 17R	Decolagem 17L	Bloquear a pista 70s antes de a operação principal realizar o toque na pista e liberar a pista 0s após o toque
Decolagem	Pouso	Bloquear a pista 60s antes de a operação principal retirar as rodas do chão e liberar a pista imediatamente após retirar as rodas do chão
Decolagem	Decolagem	Bloquear a pista 0s antes de a operação principal partir da cabeceira e liberar a pista 75s após partir da cabeceira

Fonte: Autor

É possível notar que, dado a distância de separação entre as pistas paralelas, o sistema de pistas funciona como pista simples para operações pouso-pouso, decolagem-pouso e decolagem-decolagem; exceto no caso de pouso-decolagem, no qual é suficiente que o pouso numa dada pista já esteja controlado – sem risco de arremetida - para que haja liberação para decolagem na pista paralela. Vale ressaltar que, em todos os casos, a separação horizontal foi escolhida como sendo 5 NM (campo Lateral Distance da Figura 14) e a separação vertical de 1000 pés, conforme explicitado no item 2.1.3 deste TG. Finalmente, as aeronaves pousando na pista auxiliar foram direcionadas para o pátio de aviação geral, de modo a não cruzarem a pista principal. Além disso, considerou-se que todas as aeronaves utilizaram a cabeceira oposta como saída de pista em todos os casos.

#### 4.4 Verificação da simulação

A fim de se realizar o processo de verificação, simulou-se um cenário pico do aeroporto. Esse cenário pico é definido como sendo a hora-pico rolante do dia médio do mês pico de um dado ano. O ano base escolhido para essa análise é o ano 2016 por ser o mais recente finalizado. O mês pico de 2016 é dezembro com um total de 19.062 movimentos, de acordo com os dados registrados no SETA Millenium. Pela análise do mesmo banco de

dados, a média do mês é de 615 movimentos/dia, sendo o dia 29 o dia mais próximo dessa média com 600 movimentos.

Pela análise do cronograma de voos realizados no dia 29 de dezembro, consultados no SETA Millennium, buscou-se a contagem de operações realizadas dentro das horas rolantes com intervalo de 1 min entre elas. Essa discretização de 1 min é aquela que melhor pode captar um cenário de pico, dentro do dia 29, em comparação com discretizações maiores de 10 min ou 60 min. Desse modo, identificou-se a hora pico ocorrendo entre 17h44min e 18h44min com 46 movimentos (desconsiderando-se as operações de helicópteros e aquelas nas quais não se informa a cabeceira utilizada). Esse cenário apresentou 39 operações na cabeceira 17R, sendo todas compostas por aeronaves Médias (M), de acordo seu MTOW. As rotas SID e STAR de cada voo foram identificadas de acordo com o disponibilizado pelo Plano de Voo Repetitivo (RPL) no portal operacional online do CGNA. Os seguintes testes de verificação foram realizados neste cenário extremo:

- 1) **Inspeção informal de especialistas:** o modelo foi verificado por especialistas em tráfego aéreo com longa experiência na TMA-SP buscando-se alguma discrepância notável de rota, velocidade, altitude, tempos de reserva de pista, separações entre as aeronaves, mix de pouso e decolagens e utilização de holdstacks. Além disso, o máximo aeronaves em fila para decolagem foi de 4 aeronaves e, no caso de espera em holdstack, o máximo foi de 3 aeronaves.
- 2) **Verificação do atraso médio:** de acordo com o relatório final produzido pelo software RAMS, no período de 1h analisado, foi possível a coordenação 32 movimentos, sendo 12 pousos e 20 decolagens. A Tabela 20 mostra um atraso médio total de 4,2 min. Além disso, o pouso que mais atrasou levou 19,52 min a mais que o programado, enquanto que a decolagem que mais atrasou levou 11,10 min a mais que o programado. Todos esses valores são aceitáveis dentro da TMA-SP em casos extremos, segundo controladores de tráfego aéreo. Além disso, a literatura supõe um atraso médio aceitável variando de 4 a 8 min (ODONI, 2013). O cronograma completo pode ser verificado no ANEXO F – Cronogramas para verificação.

**Tabela 20 – Análise do resultado da simulação de 39 voos registrados no SETA Millenium entre 17:44h e 18:44h do dia 29 de Dezembro de 2016**

Operação	Movimentos	Atraso acumulado (min)	Atraso médio (min)	Máximo atraso registrado (min)
Pouso	12	53,41	4,5	19,52
Decolagens	20	81,23	4,1	11,10
Total	32	134,64	4,2	-

Fonte: Autor

- 3) **Acomodação dos voos:** como esperado, apenas 32 voos se acomodam dentro da hora marcada de 17h44min a 18h44min. Essa situação configura um cenário extremo no RAMS, no qual o software é obrigado a acomodar os voos nas horas seguintes resolvendo os conflitos encontrados na simulação.

Com o cenário verificado, pode-se supor que o conjunto de regras utilizado na resolução de conflitos, as regras de separação e os tempos de reserva de pistas estão suficientemente verossímeis. Desse modo, prosseguindo-se com o processo de verificação, buscou-se verificar também o cenário base escolhido no item 4.3.1 deste TG de modo que as operações ocorressem o mais próximo possível dos horários registrados no cronograma do SETA Millenium. O cronograma completo da simulação pode ser verificado no ANEXO E – Cronogramas do cenário base. A Tabela 21 resume os valores obtidos pelo relatório final do RAMS após simulação desse cenário base.

**Tabela 21 - Análise do resultado da simulação de 32 voos registrados no SETA Millenium entre 15:00h e 16:00h do dia 06 de Junho de 2017**

Operação	Movimentos	Atraso acumulado (min)	Atraso médio (min)	Máximo atraso registrado (min)
Pouso	16	37,34	2,33	5,72
Decolagens	16	2,77	0,77	0,9
Total	32	40,10	1,25	-

Fonte: Autor

A simulação apresentou o uso de holdstacks apenas de duas aeronaves e não apresentou filas de decolagem conforme se verifica na comparação dos atrasos disponibilizados no ANEXO E. Portanto, junto dos resultados resumidos na Tabela 21, pode-se considerar o cenário base suficientemente fidedigno para ser objeto de estudo, uma vez que os atrasos médios estão reduzidos e o cronograma simulado é bastante compatível ao cronograma registrado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o cenário base devidamente verificado, pode-se propor a adição de cenários alternativos que avaliem a capacidade do sistema em acomodar novas aeronaves na pista auxiliar. Assim sendo, para a introdução de cada aeronave, deve-se seguir os seguintes passos:

- 1) Definição de quais rotas SID e STAR são utilizadas pelos ATRs introduzidos;
- 2) Mix de pouso e decolagens que maximizariam a possibilidade de alocação sem alterar bruscamente o cronograma da pista principal, de modo que todos os voos ainda possam ser acomodados entre 15h e 16h;
- 3) Uma vez definidos rotas e mix, procede-se à mudança de ângulo de aproximação para avaliar possível melhoria na capacidade.

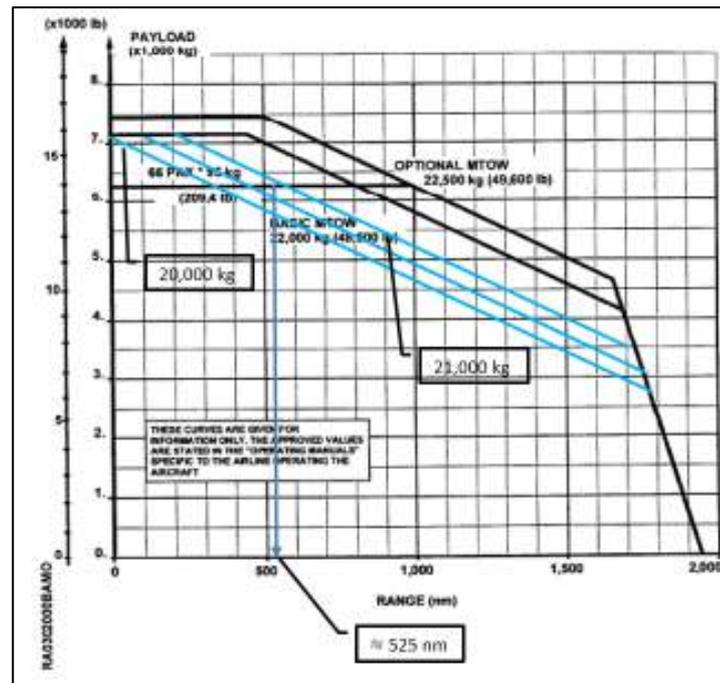
### 5.1 Escolha das rotas SID e STAR

A introdução de voos no RAMS começa pela escolha de SIDs e STARs descritas na simulação, as quais seguem as cartas declaradas para cada cabeceira. No entanto, sabendo-se que a predominância de certas rotas dependeria da demanda de crescimento de voos ATR72 tendo Congonhas como origem ou destino, a seguir se apresenta apenas uma visualização prévia dos possíveis principais aeroportos que poderiam ser alcançados decolando-se com um ATR72 na pista auxiliar do aeroporto.

Desse modo, para o cálculo do alcance de um ATR72 decolando na pista auxiliar, deve-se considerar um comprimento disponível para decolagem de 1345 m apenas, conforme explicitado no item 4.1 deste TG. Supondo-se o modelo ATR-72 210-A, cujo peso máximo de decolagem é de 22.000 kg e peso operacional vazio de 20.000 kg, tem-se um comprimento básico de pista 1.220 m nas condições listadas na Tabela 22.



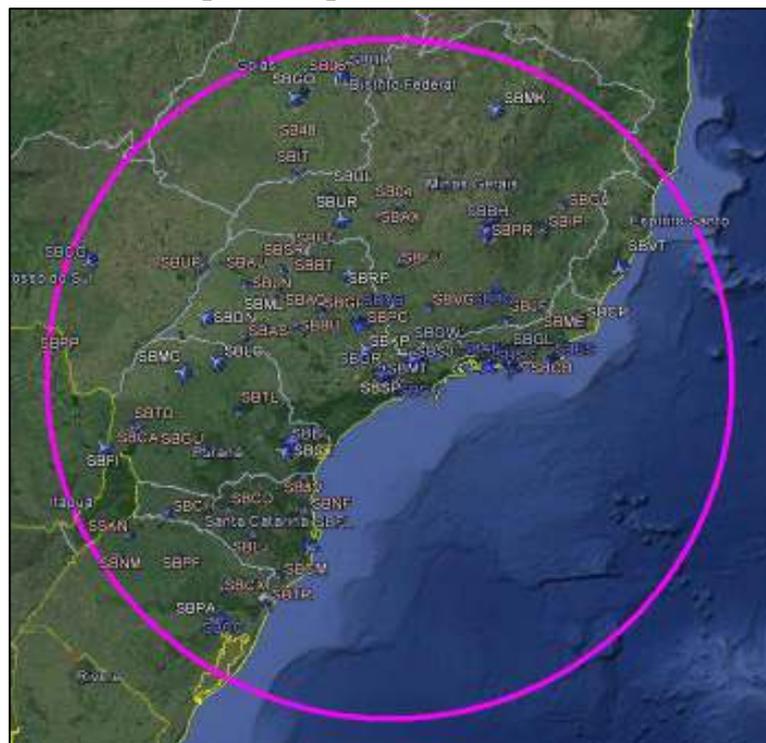
**Figura 16 - Carga paga versus alcance para ATR72-210A**



Fonte: ATR, 1999

A Figura 17 ilustra os principais aeroportos que poderiam ser alcançados utilizando-se a pista auxiliar operando um ATR72-210A. Desse modo, pode-se obter um mapa de possibilidade de destinos para esses voos.

**Figura 17 - Principais aeroportos dentro de um raio de 525 NM**



Fonte: Autor

Como está fora do escopo deste TG uma análise prévia para a definição da rota mais adequada, adotou-se como premissa a utilização apenas das rotas SID e STAR que são mais demandadas pela ponte aérea Rio-São Paulo, já que estas seriam as rotas mais movimentadas em todos os casos, a saber: STAR\_PAGOG\_17L, STAR\_VUKIK\_17L e SID\_UGPOP\_17L, conforme ilustra a Figura 18.

**Figura 18 - Localização das STARs e SID utilizadas na cabeceira 17L**



Fonte: Autor

## 5.2 Cenários alternativos

Uma vez escolhidos SID e STAR a serem utilizadas, analisa-se a seguir os cenários alternativos para a determinação do mix de pouso e decolagem. Uma vez definido o cenário alternativo que define o mix, supõem-se mais dois cenários alternativos que levam em conta a variação de mudança na rampa de aproximação.

### 5.2.1 Determinação do mix de pouso e decolagem

Conforme explicitado no item 2.2 deste TG, sabe-se que o mix de pouso e decolagem é um dos fatores que afetam a capacidade de um sistema. No caso presente, a situação fica mais clara uma vez que o cenário base escolhido na pista principal pode facilitar a acomodação de um dado mix. Assim, sabendo-se que o sistema de pista deve acomodar por volta de 40 movimentos no total de acordo com o explicitado no item 4.2 deste TG e, partindo-se de uma rampa de aproximação de 3° para a cabeceira 17L, a Tabela 23 mostra os seguintes resultados obtidos para o mix.

**Tabela 23 - Determinação do mix de entrada dos ATRs**

Cenários	Mix proposto	Acomodação do cenário base	Atraso médio (min)	Fila holdstack	Fila decolagem
1	7 decolagens	6 pousos	-	-	-
2	1 pouso e 6 decolagens	1 pouso e 6 decolagens	1,89	1	1
3	2 pousos e 5 decolagens	2 pousos e 5 decolagens	3,76	2	3
4	3 pousos e 4 decolagens	3 pousos e 4 decolagens	5,80	2	4
5	4 pousos e 3 decolagens	3 pousos	-	-	-

Fonte: Autor

Nota-se que no máximo 7 movimentos na pista auxiliar são possíveis de serem acomodados junto aos 32 movimentos da pista principal, segundo o conjunto de regras explicitados no item 4.3.2 deste TG. Além disso, os resultados da Tabela 23 mostram que é impraticável a acomodação de mais de 3 pousos sem transferir voos para as próximas horas, o mesmo se verifica ao se tentar acomodar 7 decolagens. Os resultados também mostram que o melhor cenário de acomodação seria o cenário 2, sendo capaz de acomodar 7 aeronaves com o menor atraso médio. As filas em holdstacks e para decolagem também seguem a mesma tendência de piora do cenário 2 ao cenário 4.

No entanto, com o intuito de simular um cenário no qual houvesse um balanceamento entre o número de pousos e decolagens, conforme perfil da demanda explicitado no item 4.2 deste TG, escolheu-se o cenário 4 como o cenário base para a comparação a seguir.

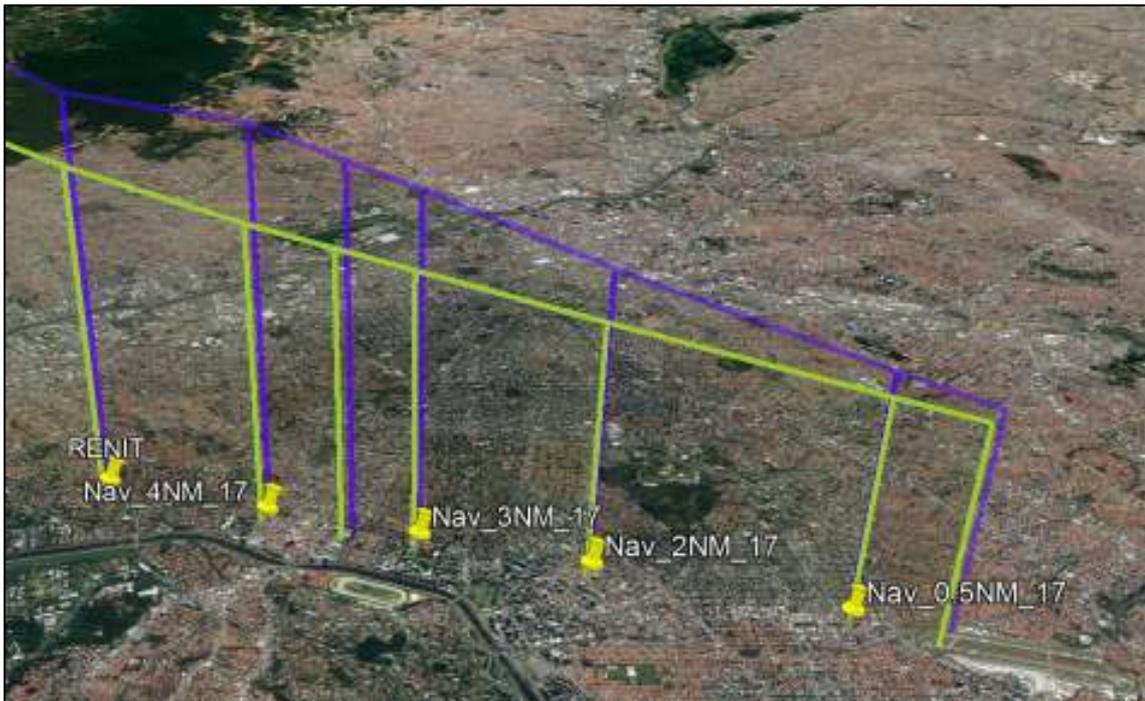
### 5.2.2 Comparação entre 3° e 5° na rampa de aproximação

Para a aproximação de um ATR, também se propõe a utilização de uma rampa de aproximação com 5° com o intuito de se analisar o aumento da flexibilidade de encaixe desses voos entre as operações rotineiras na pista principal. A aeronave é capaz de operar aproximação para pouso com rampa de até 6°, de acordo com o manual de apresentação do ATR série 600 (ATR, 2014).

Com base na escolha do cenário 4 da Tabela 23 acima, simulou-se o mesmo cenário alternando a rampa de aproximação da cabeceira 17L de 3° para 5°. Essa alteração é feita pela restrição de altura na definição da STAR\_PAGOG\_17L e STAR\_VUKIK\_17L no trecho de aproximação final a partir do fixo RENIT, de modo que a aeronave execute um procedimento mais íngreme levando-se em conta a decalagem 117 m da cabeceira 17L em relação a 17R. A Figura 19 ilustra as rampas de aproximação dos pousos realizados na cabeceira 17L (em azul)

e 17R (em verde), na qual se pode notar a diferença de altura entre ambas. Vale ressaltar que, conforme mostrado no ANEXO C – Cartas IAC 17L/17R, a rampa de aproximação da cabeceira 17R apresenta um ângulo de 2,9°. Os marcadores em amarelo indicam as distâncias em relação a cabeceira 17R, sabendo-se que o fixo RENIT localiza-se a 5 NM da mesma.

**Figura 19 - Rampas de aproximação de 2,9° (verde) na cabeceira 17R e de 5° (azul) na cabeceira 17L**



Fonte: Autor

**Tabela 24 - Diferença de altura entre pontos das rampas**

Ponto	Distância (NM)	Altura rampa 2,9° (pés)	Altura rampa 5° (pés)	Diferença (pés)
Nav_0.5NM_17	0,5	2789,0	2968,0	179,0
Nav_2NM_17	2,0	3256,0	3765,4	509,4
Nav_3NM_17	3,0	3567,3	4297,0	729,7
Nav_4NM_17	4,0	3878,7	4828,6	949,9
RENIT	5,0	4190,0	5360,2	1170,2

Fonte: Autor

A Tabela 24 acima resume os valores das alturas de cada ponto da rampa utilizados no RAMS, todos medidos em relação ao nível do mar. Vale lembrar que o aeroporto de Congonhas se localiza a 2631 pés acima do nível do mar. O cálculo mostra que as aeronaves respeitam a diferença de separação vertical mínima de 1000 pés no fixo inicial da aproximação caracterizado pelo fixo RENIT, conforme exigências do método SEAP.

Finalmente, após a caracterização da geometria da rota na simulação, a seguir estão resumidos na Tabela 25 e Tabela 26 os resultados obtidos na comparação da simulação entre uma rampa de 3° e 5°, respectivamente, para a cabeceira 17L operando 7 movimentos (3 pousos e 4 decolagens). O ANEXO G – Cronograma final comparado mostra os cronogramas simulados pelo RAMS, no qual as aeronaves ATR estão designadas de ATR0001 a ATR0007.

**Tabela 25 - Resultados da simulação de 39 voos com rampa de 3° na cabeceira 17L**

<b>Operação</b>	<b>Movimentos</b>	<b>Atraso acumulado (min)</b>	<b>Atraso médio (min)</b>	<b>Máximo atraso registrado (min)</b>
Pouso	19	114,69	6,04	12,62
Decolagens	20	111,39	5,57	14,22
Total	39	226,08	5,80	-

Fonte: Autor

**Tabela 26 - Resultados da simulação de 39 voos com rampa de 5° na cabeceira 17L**

<b>Operação</b>	<b>Movimentos</b>	<b>Atraso acumulado (min)</b>	<b>Atraso médio (min)</b>	<b>Máximo atraso registrado (min)</b>
Pouso	19	112,74	5,93	12,42
Decolagens	20	109,49	5,47	14,03
Total	39	222,24	5,70	-

Fonte: Autor

A análise das tabelas acima mostra atrasos médios e máximos aceitáveis, além de ambos os cenários apresentarem filas de no máximo 2 aeronaves em holdstacks e 4 aeronaves em fila para decolagem.

## 6 CONCLUSÃO

De posse dos resultados obtidos sob as premissas adotadas, pode-se concluir que é possível a adição de voos ATR72 na pista auxiliar sem alterar bruscamente o cronograma da pista principal. A análise de 5 cenários alternativos definem inicialmente o mix ideal de pouso e decolagem a ser analisado. Em seguida, os últimos dois cenários quanto a variação da rampa mostram também que não há ganho significativo de operação entre uma rampa de 3° e 5°, apesar de ser possível a operação sob o ponto de vista das características da aeronave. Ainda que não haja ganho operacional, uma rampa mais íngreme seria conveniente sob a intenção de se abater o ruído gerado pela operação na pista auxiliar com aeronaves ATR, as quais produzem ruídos de maior magnitude em comparação as aeronaves leves que hoje operam. No entanto, a decisão dessa operação mais íngreme exigiria não só a instalação de ILS na cabeceira 17L, como também uma burocrática validação desse procedimento junto aos órgãos responsáveis.

Vale ressaltar que esse estudo não considerou um cenário no qual as aeronaves ATR operando na pista auxiliar cruzassem a pista principal para realizar suas operações. Considerou-se, portanto, que as aeronaves ATR operariam no pátio localizado ao norte da pista 17L, o que certamente impactaria na capacidade do sistema de pistas. Ao mesmo tempo, a consideração de que todas as aeronaves saem apenas na cabeceira oposta de sua operação, também implica na redução da capacidade. Desse modo, a atuação conjunta desses fatores poderia ainda se compensar, sendo esta avaliação uma proposta de continuidade da pesquisa.

Como sugestão de trabalhos futuros incluem todos aqueles que se poderia realizar ao se alterar alguma das hipóteses simplificadoras. A primeira hipótese simplificadora a ser retirada seria o impedimento do cruzamento da pista principal pelas aeronaves ATR. Segundo a experiência de controladores de tráfego aéreo, em geral, o cruzamento de pista implica na redução de 1 a 2 movimentos. No entanto, dada a configuração de saídas de pista em Congonhas, seria necessária uma análise específica que também pode ser realizada no software RAMS.

## REFERÊNCIAS

AEROPORTO DE BRASÍLIA. O AEROPORTO ESTATÍSTICAS. **BSB**, 2017. Disponível em: <<http://www.bsb.aero/br/o-aeroporto/dados-operacionais/estatisticas/?a=2016&m=12>>. Acesso em: 16 Maio 2017.

AIRBUS. **Mapping Demand**. Airbus. [S.l.], p. 124. 2016. (978-2-9554382-1-6).

ALMEIDA, R. **Aumento da capacidade de pistas paralelas e próximas: um estudo de caso do Aeroporto Internacional de Guarulhos**. ITA. São José dos Campos, p. 132. 2014. (Dissertação de Mestrado).

ANAC. **Procedimentos e Requisitos Técnico-Operacionais Complementares para a Operação no Aeroporto de Congonhas**. IAC 121-1013. Rio de Janeiro. 2008.

ANAC. ANACpédia. **ANACpédia**, 2017a. Disponível em: <[http://www2.anac.gov.br/anacpedia/por\\_ing/tr1605.htm](http://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr1605.htm)>. Acesso em: 07 Outubro 2017.

ANAC. RESOLUÇÃO Nº 55, DE 08 DE OUTUBRO DE 2008. **ANAC**, 2017a. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/resolucoes-2008/resolucao-no-055-de-08-10-2008/@\\_@display-file/arquivo\\_norma/RA2008\\_0055.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/resolucoes-2008/resolucao-no-055-de-08-10-2008/@_@display-file/arquivo_norma/RA2008_0055.pdf)>. Acesso em: 17 Maio 2017.

ANAC. Coordenação de Slot ANAC. **ANAC**, 2017b. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/slot/coordenacao-de-slot>>. Acesso em: 16 Maio 2017.

ASHFORD, N. J.; MUMAYIZ, S.; WRIGHT, P. H. **Airport Engineering - Planning, Design, and Development of 21st Century Airports**. 4th. ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.

ATR. **ATR72 - Airplane Characteristics**. ATR. [S.l.]. 1999.

ATR. **600 Series**. ATR Company. Blagnac, p. 28. 2014.

AUTHORITY, C. A. **INSTRUMENT APPROACH CHART - ICAO**. UNITED KINGDOM AIP. London, p. 1. 2016. (AD 2-EGLC-8-4).

- AZUL S.A. **Securities and Exchange Commission**, 2017. Disponível em: <[https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1432364/000119312517031614/d278992df1.htm#toc278992\\_14](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1432364/000119312517031614/d278992df1.htm#toc278992_14)>. Acesso em: 26 Julho 2017.
- BOEING. **Current Market Outlook**. Boeing. Seattle, WA 98124-2207, p. 54. 2016.
- BUSSAB, W. D. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 6ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- CGNA. **Portal Operacional**, 2017. Disponível em: <<http://portal.cgna.gov.br/>>. Acesso em: 08 Agosto 2017.
- DECEA. **Circulação Visual na Terminal São Paulo**. SUBDEPARTAMENTO DE OPERAÇÕES. Rio de Janeiro, p. 17. 2015.
- DECEA. **CIRCEA 100-61 - APLICAÇÃO DA SEPARAÇÃO RADAR MÍNIMA DE 3NM ENTRE AERONAVES**. DECEA. [S.l.], p. 15. 2015a.
- DECEA. **AIC 17/15 - CIRCULAÇÃO VISUAL NA TERMINAL SÃO PAULO**. SUBDEPARTAMENTO DE OPERAÇÕES. RIO DE JANEIRO-RJ, p. 17. 2015b.
- DECEA. **ICA 100-37 - SERVIÇOS DE TRÁFEGO AÉREO**. [S.l.]. 2016a.
- DECEA. **AIP BRASIL - PARTE 2 - EM ROTA (ENR)**. RIO DE JANEIRO - RJ, p. 952. 2016b.
- FORTES, J. L. C. Analysis of Flight Trajectories in a Terminal Maneuvering Area: São Paulo – Rio de Janeiro Route as a Case Study. **International Journal of Science and Engineering Investigations**, July 2005.
- FORTES, J. L. D. C. **Análise da Capacidade do Sistema de Pistas - O Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro como estudo de caso**. XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet. Ouro Preto: [s.n.]. 2015. p. 12.
- FORTES, J. L. D. C. **Avaliação das Oportunidades de Otimização no Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, p. 240. 2017. (Tese de Doutorado).
- FRAGA, R. **Analysis of Criteria for Closely-Spaced Parallel Runway Approaches Applied to a Multiple Airport System**. Aeronautics Institute of Technology. São José dos Campos, p. 130. 2009. (Dissertação de Mestrado).

GRU AIRPORT. Operational Information. **GRU**, 2017. Disponível em: <<https://www.gru.com.br/en/institutional/sobre-gru-airport/operational-information>>. Acesso em: 16 Maio 2017.

HUPALO, M. F. **Análise da área de controle terminal São Paulo (TMA-SP) por meio de simulação (fast-time simulation)**. ITA. São José dos Campos. 2003.

ICAO. **Anexo 6 - Operações aeroportuárias**. ICAO. [S.l.]. 2012.

ICAO. **Doc 4444 - Air Traffic Management**. 16th. ed. [S.l.]: [s.n.], 2016.

INFRAERO. Estatísticas. **INFRAERO**, 2017a. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatisticas/estatisticas.html>>. Acesso em: 16 Maio 2017.

INFRAERO. HISTÓRICO. **INFRAERO**, 2017b. Disponível em: <<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-de-sao-paulo-congonhas/sobre-o-aeroporto/historico/>>. Acesso em: 17 Maio 2017.

INFRAERO. **Declaração de Capacidade**. INFRAERO. São Paulo, p. 12. 2017c. (Ofício nº464).

ISA SOFTWARE. Business Case Analysis Support for Aireon's Space-Based ADS-B Initiatives. **ISA**, 2017. Disponível em: <<http://www.isa-software.com/business-case-analysis-support-for-aireons-space-based-ads-b-initiatives/>>. Acesso em: 25 Maio 2017.

MEDAU, J. C. **Análise de capacidade do lado aéreo de aeroportos baseada em simulação computacional: aplicação ao aeroporto de São Paulo - Congonhas**. USP. São Paulo, p. 120. 2011. (Dissertação de Mestrado).

ODONI, A. R. E. A. **Airport Systems: Planning, Design, and Management**. Second Edition. ed. [S.l.]: The McGraw-Hill Education LLC, 2013.

OLIVEIRA, M. D. **Carga de Trabalho dos Controladores de Tráfego Aéreo - Análise da Área de Controle Terminal Brasília por Meio de Simulação**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, p. 120. 2007. (Dissertação de Mestrado).

SAC. **Aviação regional - Conectando o Brasil**. Secretaria de Aviação Civil. [S.l.], p. 22. 2015.

THODE, H. C. **Testing for Normality**. New York: Marcel Dekker, v. 164, 2002.

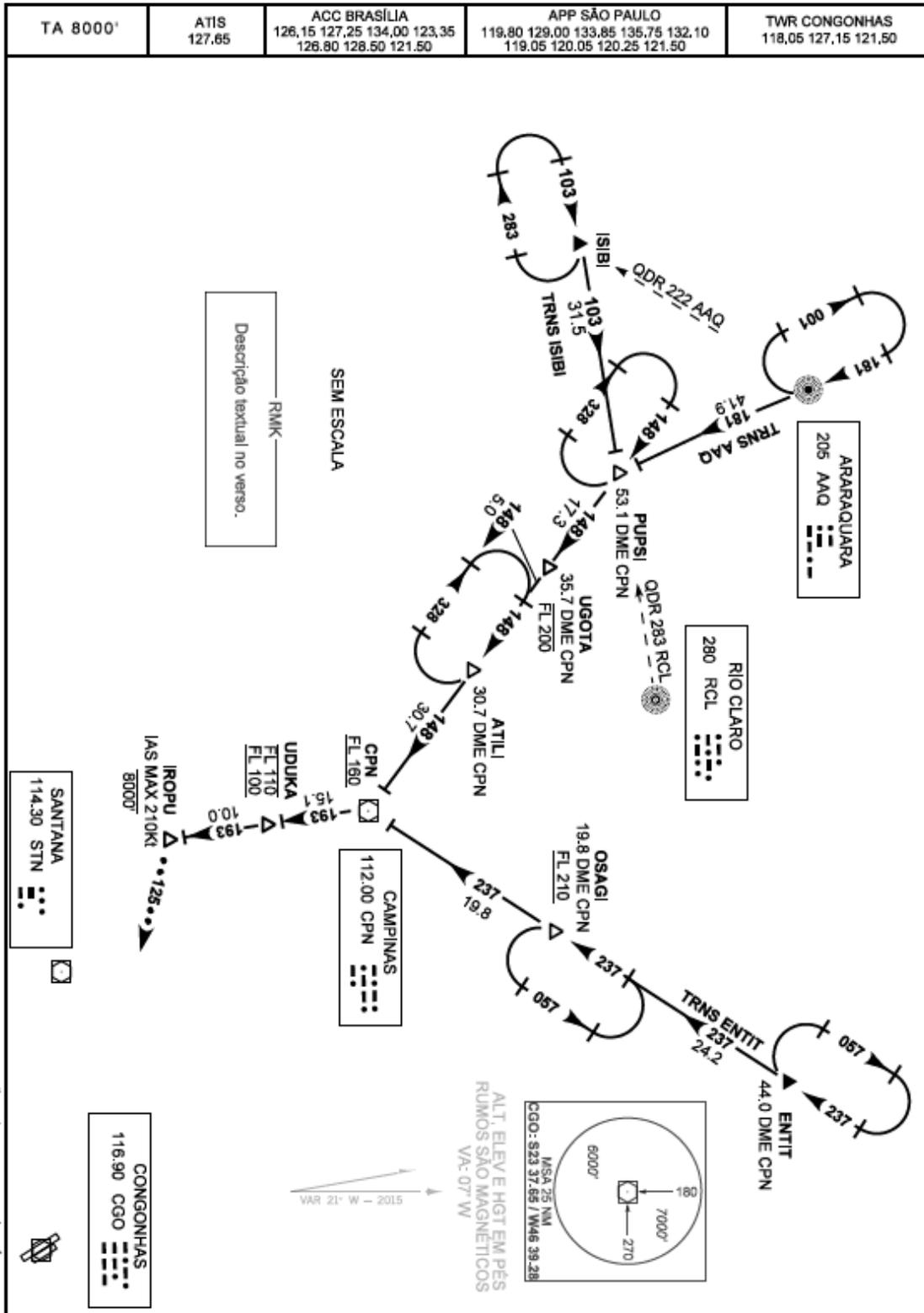
TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**. **2012;32(2):227-234**, Porto Alegre, p. 8, Abril 2012.

VASCONCELLOS, M. C. C. D. **Análise dos efeitos de flexibiização das aerovias entre as TMA São Paulo e Rio de Janeiro**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, p. 112. 2016. (Dissertação de Mestrado).

## **ANEXO A – Cartas STAR 17L/17R**

CARTA DE CHEGADA PADRÃO  
 POR INSTRUMENTOS (STAR)  
 STANDARD ARRIVAL CHART  
 INSTRUMENT (STAR)

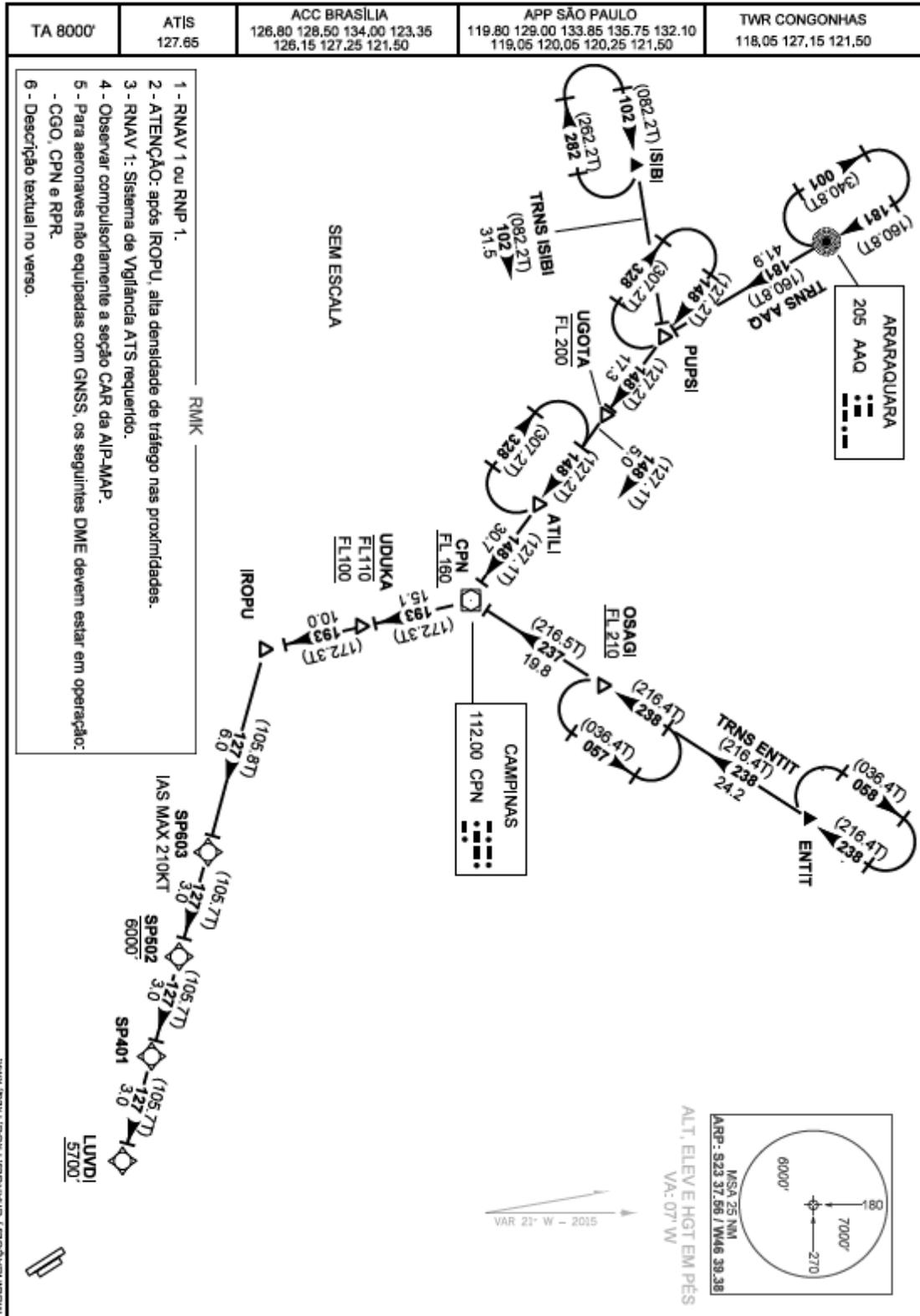
SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)  
 RWY 17L/17R  
 CPN 1B



MODIFICAÇÕES / CHANGES: PROC. FREQ. RMK.

CARTA DE CHEGADA PADRÃO  
 POR INSTRUMENTOS (STAR)  
 STANDARD ARRIVAL CHART  
 INSTRUMENT (STAR)

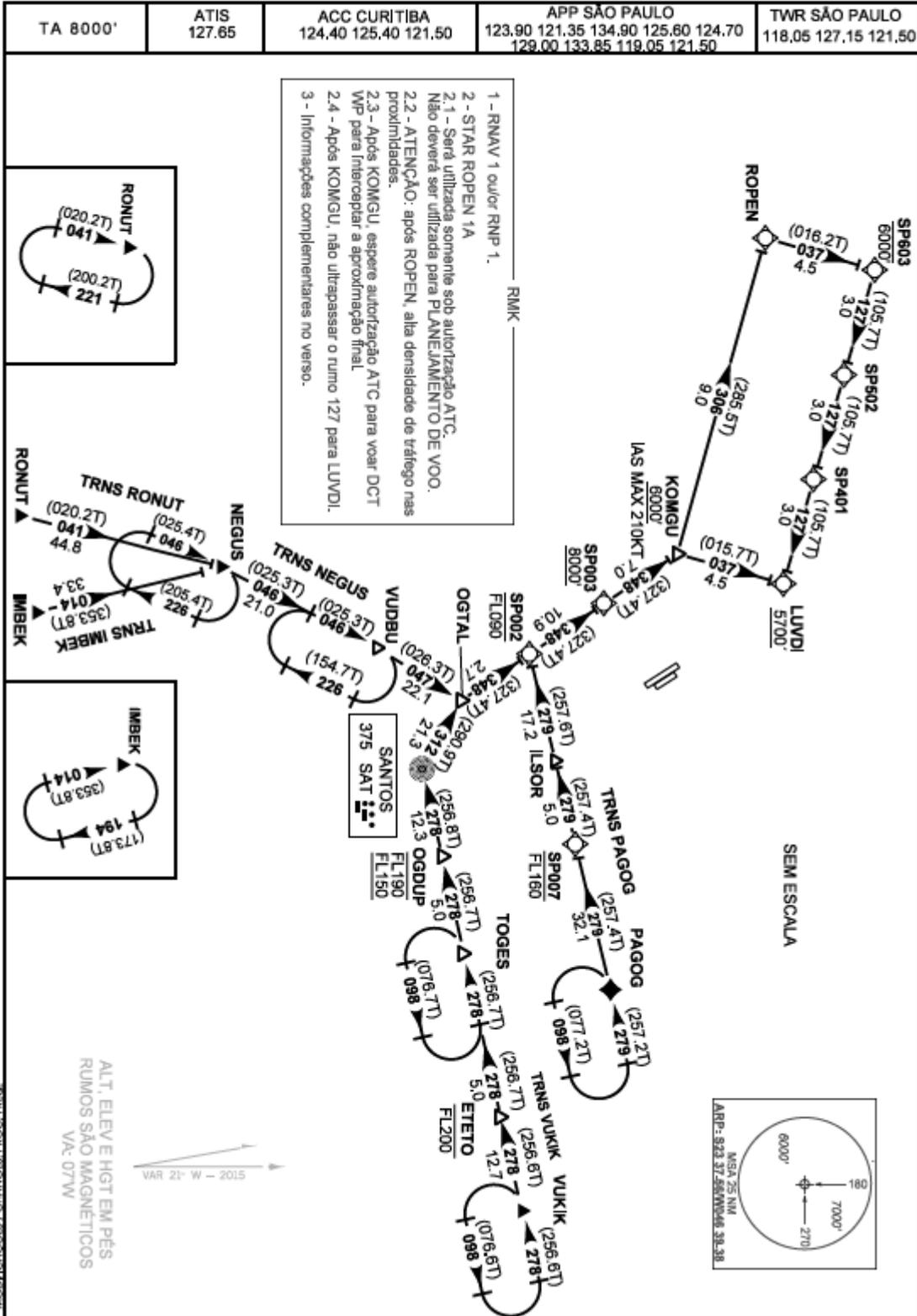
SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)  
 RWY 17L/17R  
 RNAV CPN 1A



MODIFICAÇÕES / CHANGES: PROC. FREQ. RMK.

CARTA DE CHEGADA PADRÃO  
 POR INSTRUMENTOS (STAR)  
 STANDARD ARRIVAL CHART  
 INSTRUMENT (STAR)

SÃO PAULO / Congonhas (SBSB)  
 RWY 17L/17R  
 RNAV ROPEN 1A - KOMGU 1A

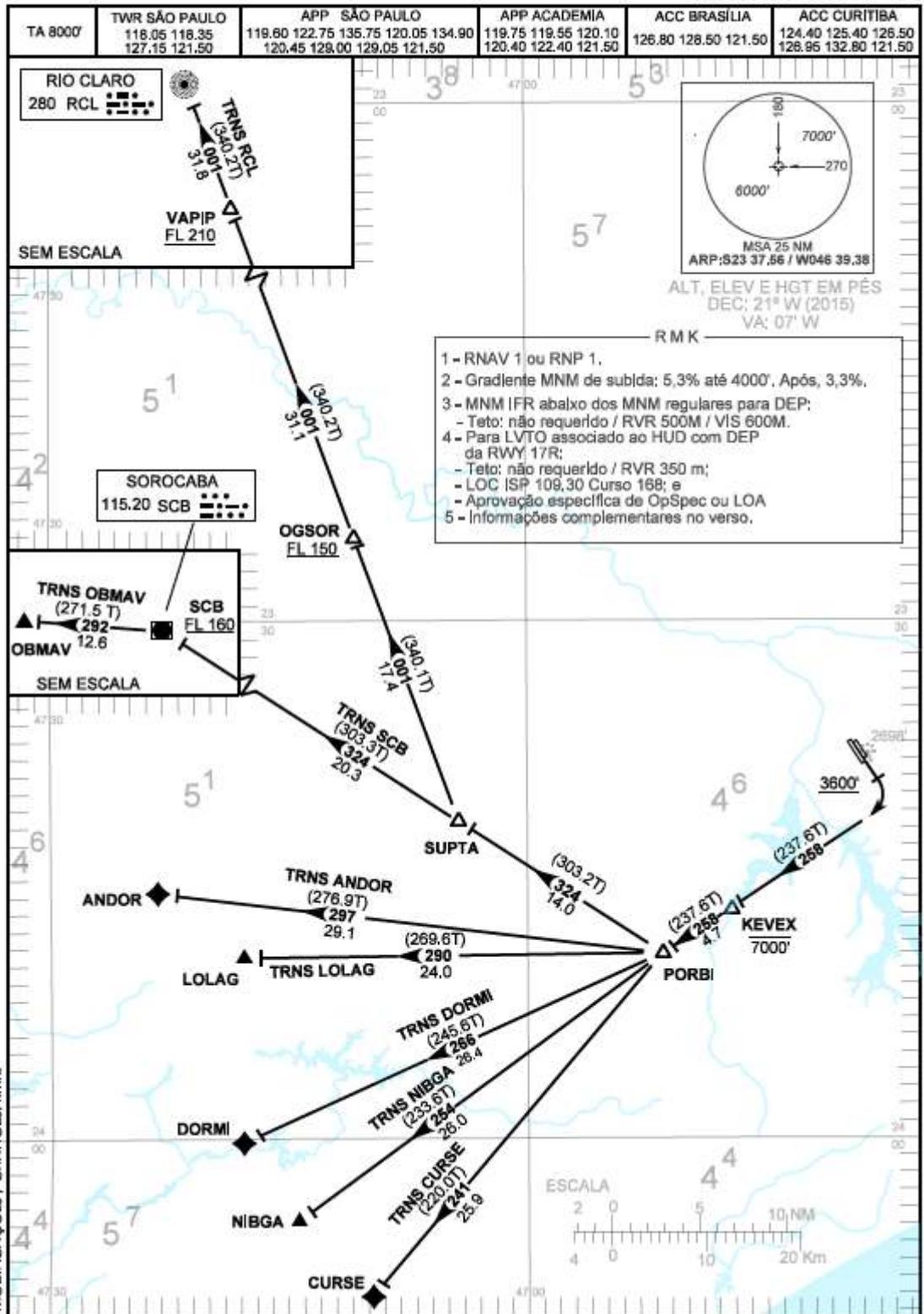




## **ANEXO B – Cartas SID 17L/17R**

CARTA DE SAÍDA PADRÃO  
POR INSTRUMENTOS (SID)  
STANDARD DEPARTURE CHART  
INSTRUMENT (SID)

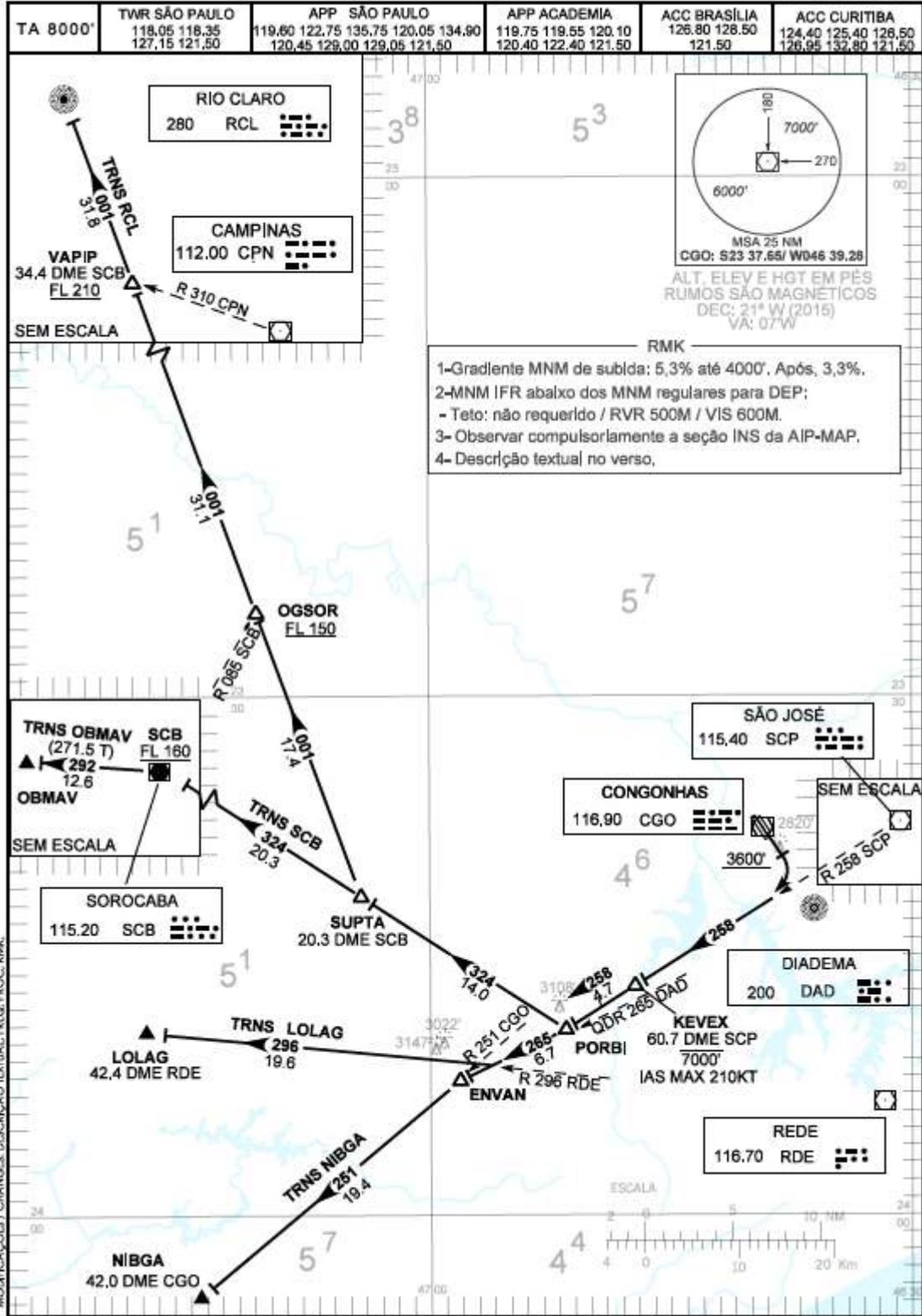
SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)  
RWY 17L/17R  
RNAV PORBI 1A



MODIFICAÇÕES / CHANGES: RMK.

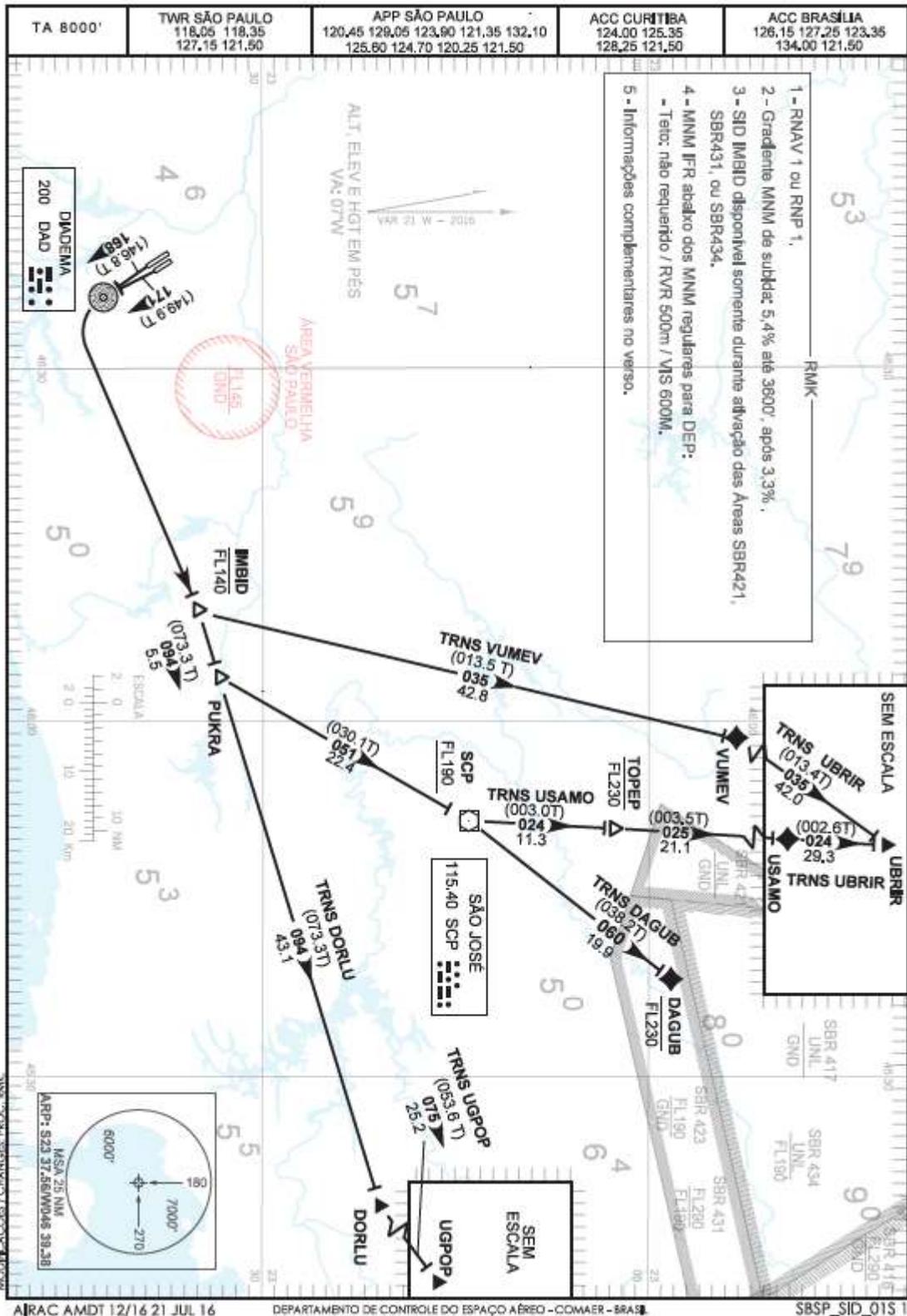
CARTA DE SAÍDA PADRÃO  
 POR INSTRUMENTOS (SID)  
 STANDARD DEPARTURE CHART  
 INSTRUMENT (SID)

SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)  
**RWY 17L/17R**  
**PORBI 1B**



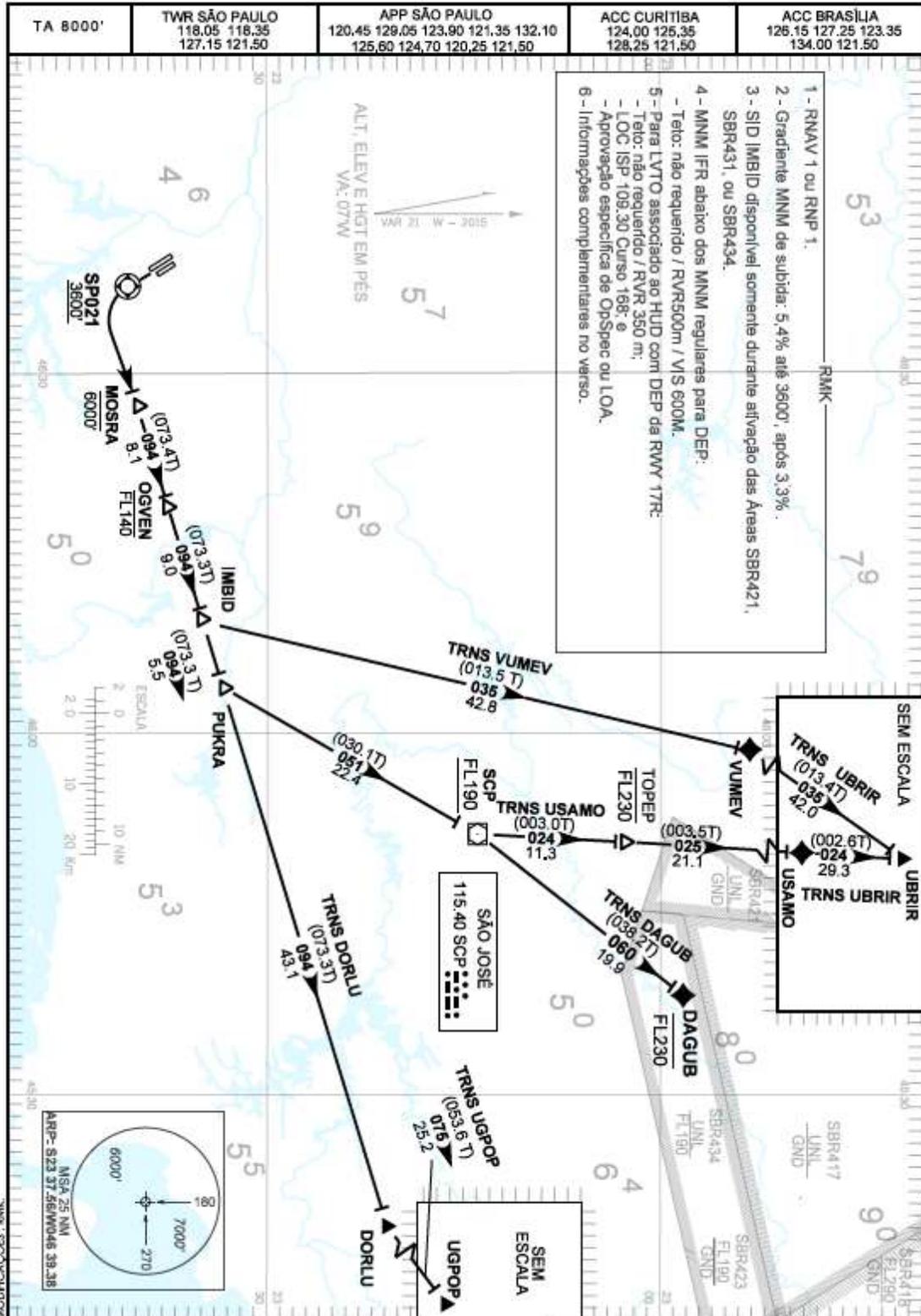
CARTA DE SAÍDA PADRÃO  
POR INSTRUMENTOS (SID)  
STANDARD DEPARTURE CHART  
INSTRUMENT (SID)

SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)  
RWY 17L/17R  
RNAV IMBID 1C - PUKRA 1C



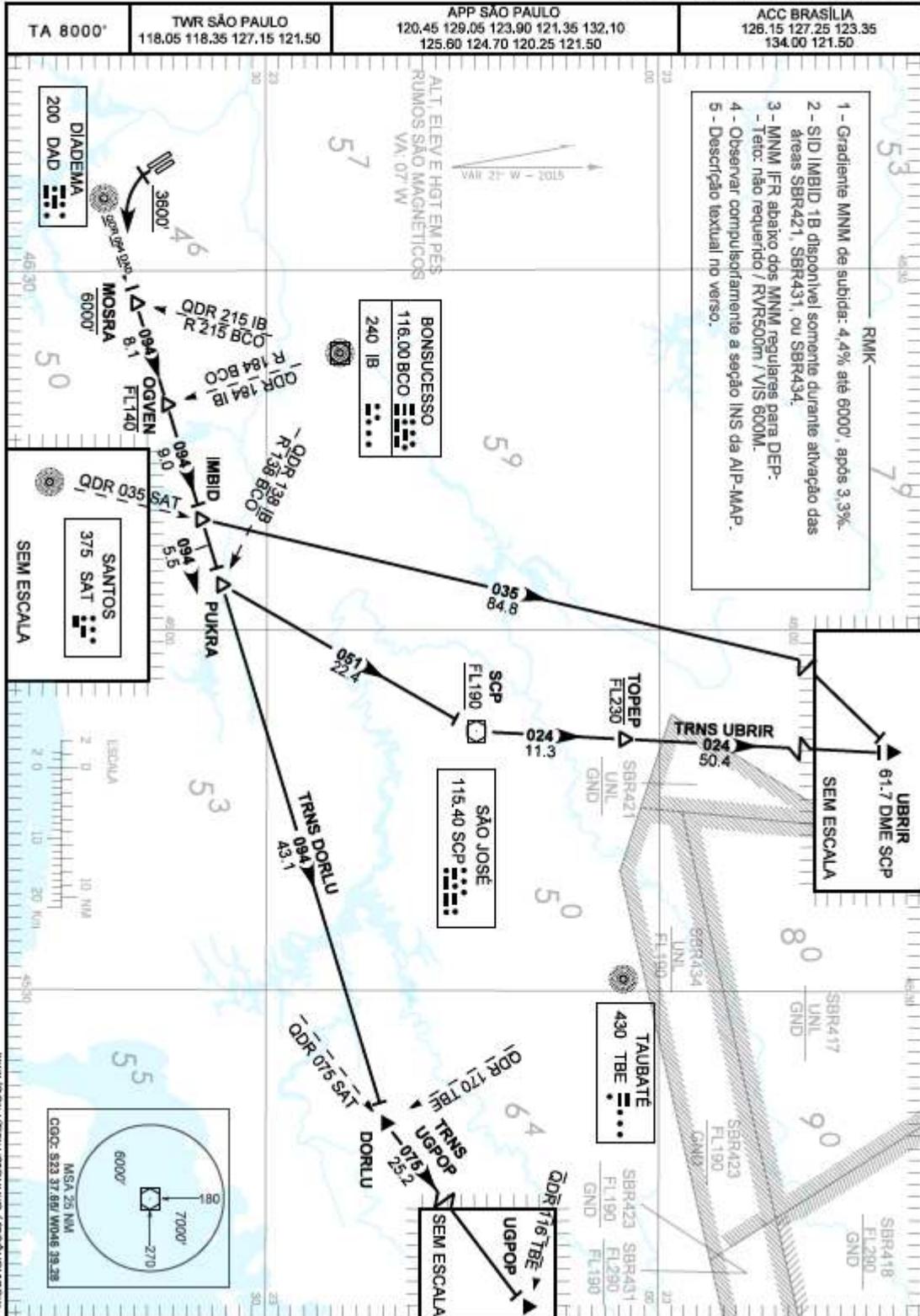
CARTA DE SAÍDA PADRÃO  
POR INSTRUMENTOS (SID)  
STANDARD DEPARTURE CHART  
INSTRUMENT (SID)

SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)  
RWY 17L/17R  
RNAV IMBID 1A - PUKRA 1A



CARTA DE SAÍDA PADRÃO  
POR INSTRUMENTOS (SID)  
STANDARD DEPARTURE CHART  
INSTRUMENT (SID)

SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)  
RWY 17L/17R  
IMBID 1B - PUKRA 1B



## **ANEXO C – Cartas IAC 17L/17R**

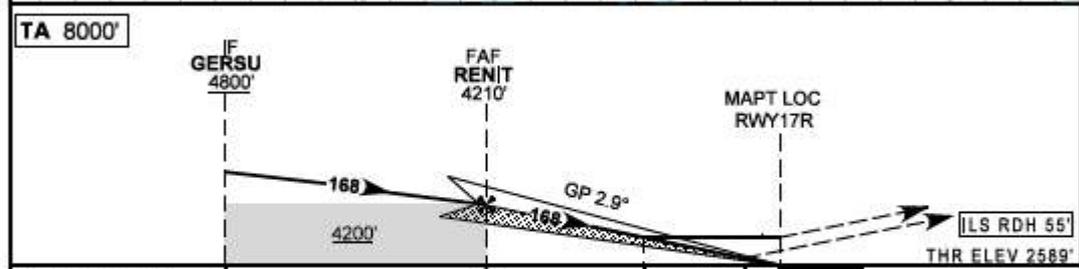
CARTA DE APROXIMAÇÃO  
POR INSTRUMENTOS (IAC)

SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)

INSTRUMENT APPROACH CHART (IAC)

ILS X ou LOC X RWY 17R

AD ELEV: 2631'	ATIS 127.65	APP SÃO PAULO 133.85 119.05 134.90 119.80 129.00 119.80 122.75 121.50	TWR SÃO PAULO 118.05 127.15 121.50	GNDC SÃO PAULO 121.80
RMK: 1) RNP APCH 2) (*) VIS RVR ALS 550m para aproximação utilizando Diretor de Voo, Piloto Automático ou Head-Up Display (HUD).			Aproximação Perdida: Subir para 7000', gradiente MNM 5%. Manter rumo 168 até 4000'. Após, curvar à direita para espera em KOMGU.	



TO THR 17R (NM)	7.7	5.0	1.7	0.5	0.0
TO ISP (DME)	8.9	6.2	2.9	1.7	1.2

RENIT	4.0	3.0	2.0	0.5	RWY17R	KT	090	110	130	150	170	190
4210	3867	3562	3256	2789	ALT	FPM	500	600	700	800	900	NA
1821	1278	973	667	200	(HGT)	FAF-MAPT	NIL					NA

POUSO DIRETO	CAT	A	B	C	D	E
CAT I	DA / OCH / TETO	2789 / 200 / 200				
	ALSINO ALSRYR ALS (m)	800 / 1200 / 800 (*)				
LOC	MDA / OCH / TETO	3160 / 580 / 600				
	ALSINO ALSRYR ALS (m)	800 / 1600 / NIL		1900 / 2600 / NIL		
CIRCULAR	MDA / OCH / TETO	NA				
	VIS (m)	NA				

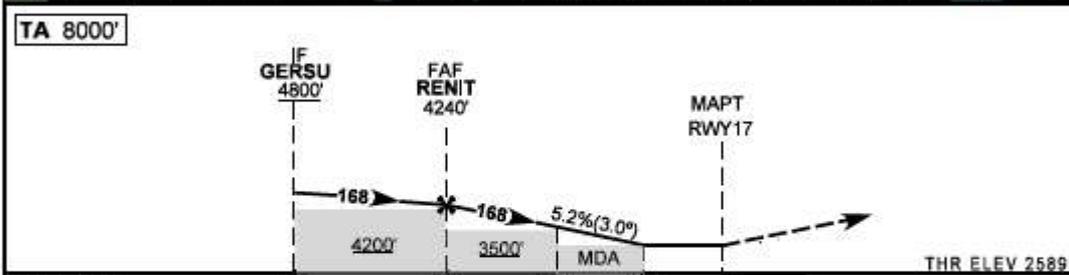
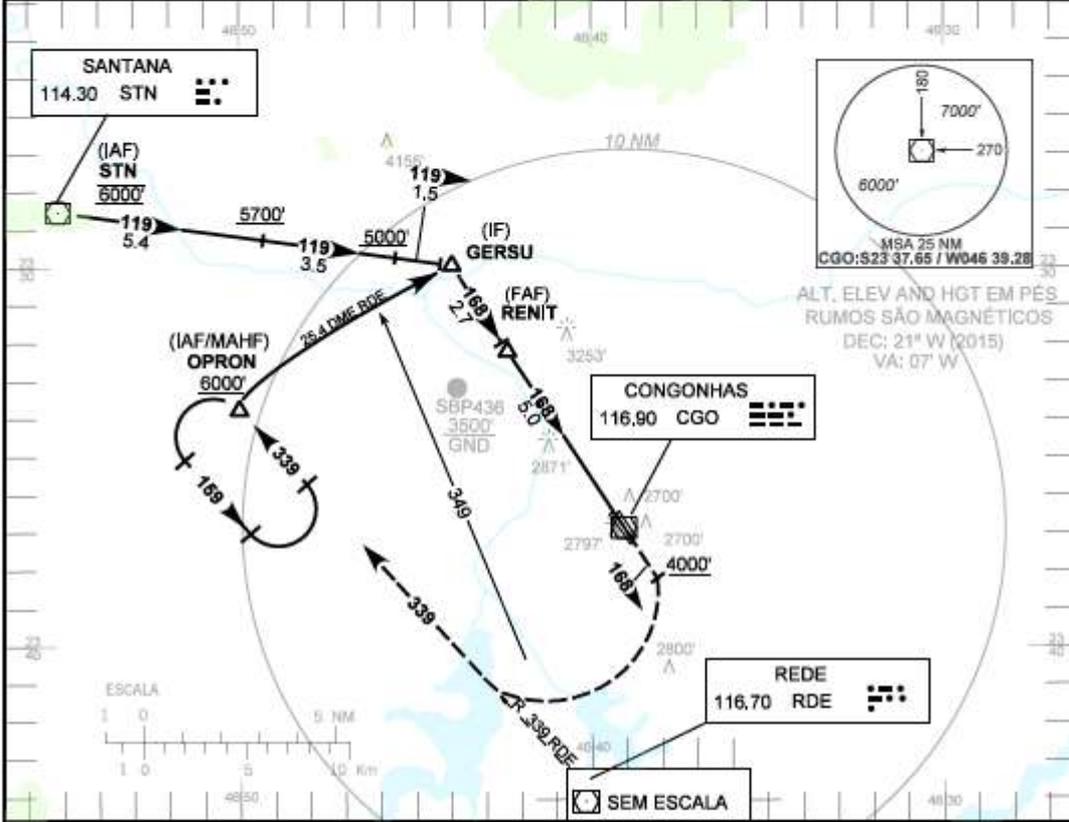
MODIFICAÇÕES / CHANGES: PROC.

CARTA DE APROXIMAÇÃO  
POR INSTRUMENTOS (IAC)  
INSTRUMENT APPROACH CHART (IAC)

SÃO PAULO / Congonhas (SBSP)

VOR Z RWY 17L/17R

AD ELEV: 2631'	ATIS 127.65	APP SÃO PAULO 133.85 119.05 134.90 119.80 129.00 118.90 122.75 121.50	TWR SÃO PAULO 118,05 127,15 121,50	GNDC SÃO PAULO 121,90
RMK: NIL.		Aproximação Perdida: 1) Subir para 6000' na RDL 168 CGO, gradiente MNM 5%. Após 4000', curvar à direita RDL 339 RDE até OPRON para espera. 2) IAS MAX 180KT.		



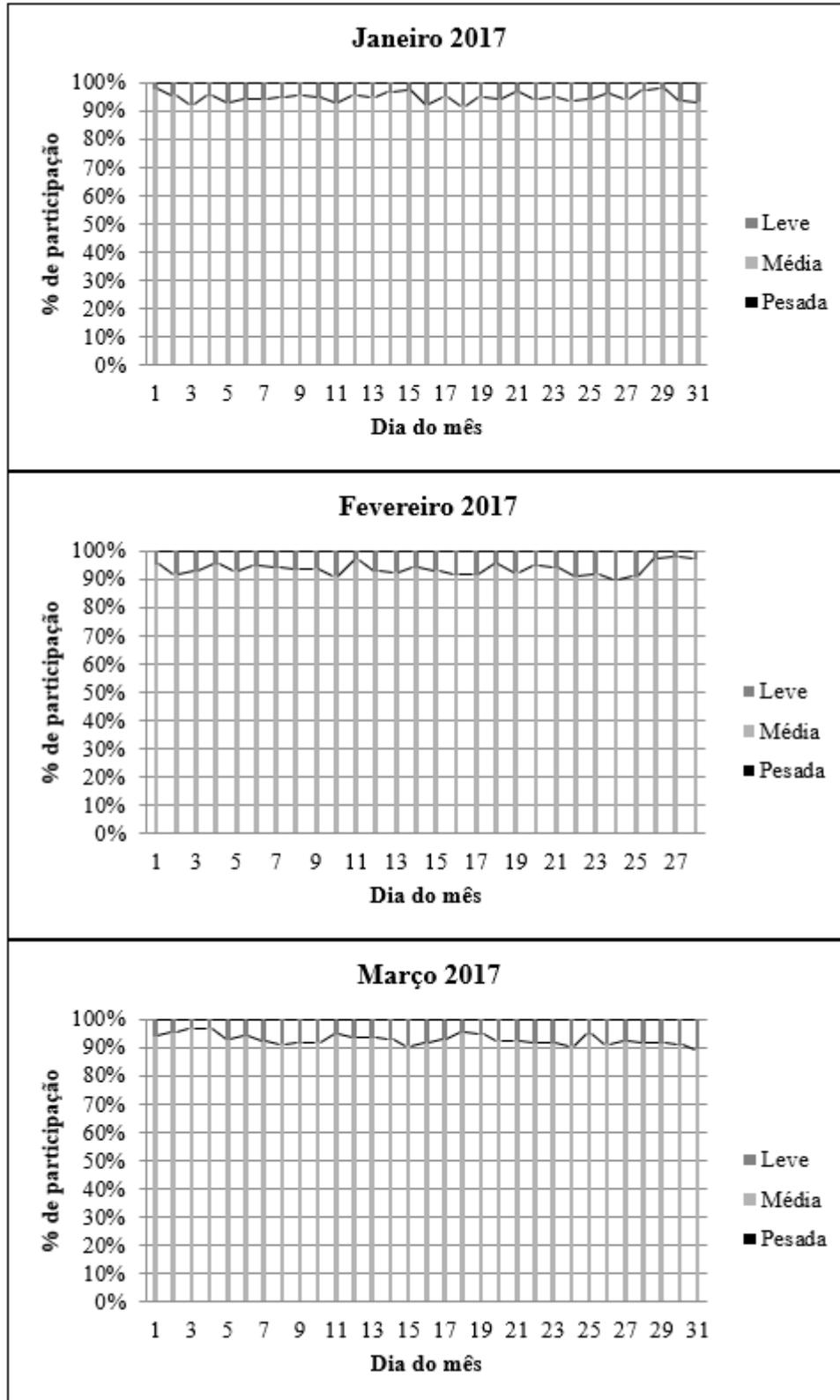
TO THR 17	7.7	5.0	3.2	1.6	0.0
TO CGO(DME)	8.2	5.5	3.7	2.1	0.5

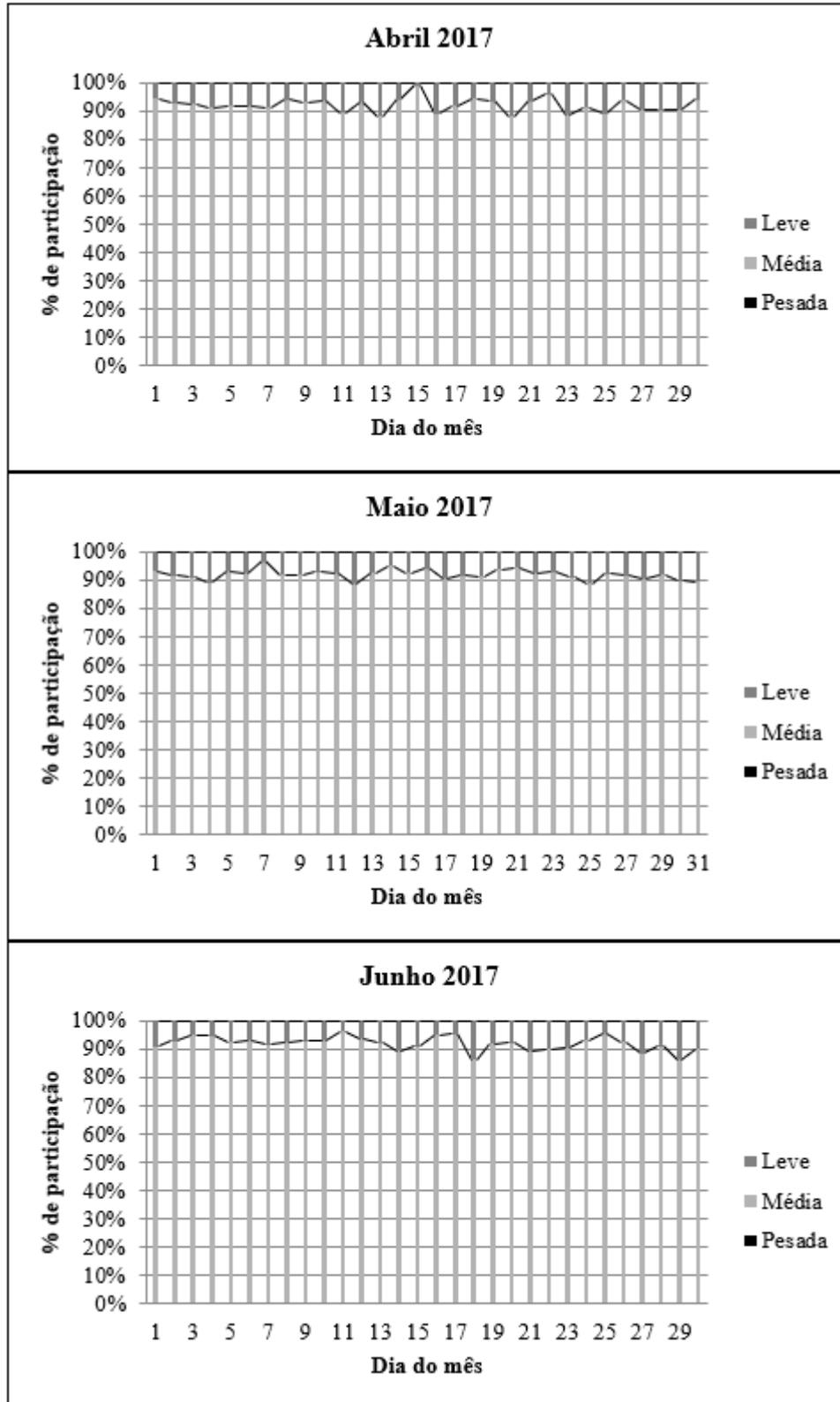
RENIT	4.0	3.0	2.0	1.6	RWY17	KT	90	110	130	150	170	190
4240	3913	3596	3276	3140	ALT	FPM	500	600	700	800	900	NA
1651	1324	1006	687	551	(HGT)	FAF-MAPT	NIL					

POUSO DIRETO	CAT	A	B	C	D	E
VOR	MDA / OCH / TETO	3140 / 560 / 600				NA
	ALS/NO ALS/ RVR ALS(m)	800 / 1600 / NIL		1700 / 2400 / NIL		
CIRCULAR	MDA / OCH / TETO	NA				
	VIS (m)					

MODIFICAÇÕES / CHANGES / PROC. FREQ.

## **ANEXO D – Distribuição mensal do mix por MTOW**





## **ANEXO E – Cronogramas do cenário base**

<b>Callsign</b>	<b>Horário Realizado (SETA)</b>	<b>Horário Planejado (RAMS)</b>	<b>Horário Realizado (RAMS)</b>	<b>Atraso (min) Planejado-Realizado</b>	<b>SID/STAR Simulada</b>
GLO1031	15:03	15:01:26	15:03:23	1,95	STAR_PAGOG_17R
TAM3463	15:05	15:04:37	15:06:34	1,95	STAR_AAQ_17R
GLO1556	15:06	15:06:00	15:06:40	0,67	SID_UBRIR_17R
AZU2676	15:08	15:07:59	15:07:59	0,00	SID_UBRIR_17R
GLO1335	15:10	15:09:40	15:10:36	0,93	STAR_ISIBI_17R
GLO1664	15:12	15:11:00	15:11:00	0,00	SID_RCL_17R
ONE6009	15:13	15:10:09	15:13:47	3,63	STAR_VUKIK_17R
TAM3744	15:15	15:14:30	15:14:30	0,00	SID_RCL_17R
TAM3936	15:16	15:15:59	15:15:59	0,00	SID_UGPOP_17R
TAM3705	15:20	15:19:03	15:20:15	1,20	STAR_ENTIT_17R
GLO1571	15:22	15:19:58	15:23:25	3,45	STAR_ENTIT_17R
TAM3718	15:24	15:23:40	15:23:40	0,00	SID_RCL_17R
GLO1219	15:26	15:24:39	15:26:35	1,93	STAR_RONUT_17R
GLO1400	15:27	15:27:00	15:27:00	0,00	SID_OBMAV_17R
GLO1545	15:28	15:27:58	15:29:45	1,78	STAR_ENTIT_17R
GLO1216	15:29	15:29:00	15:29:54	0,90	SID_CURSE_17R
GLO1101	15:31	15:29:39	15:32:56	3,28	STAR_NEGUS_17R
TAM3222	15:34	15:34:00	15:34:00	0,00	SID_OBMAV_17R
GLO1669	15:36	15:35:55	15:36:46	0,85	STAR_AAQ_17R
TAM3203	15:39	15:35:51	15:39:57	4,10	STAR_ENTIT_17R
TAM3938	15:41	15:39:50	15:40:03	0,22	SID_UGPOP_17R
TAM3935	15:42	15:37:24	15:43:07	5,72	STAR_VUKIK_17R
GLO1034	15:44	15:44:00	15:44:00	0,00	SID_UGPOP_17R
TAM3055	15:45	15:45:00	15:45:15	0,25	SID_CURSE_17R
GLO1653	15:49	15:47:15	15:49:19	2,02	STAR_VUKIK_17R
TAM3013	15:50	15:49:59	15:49:59	0,00	SID_DORMI_17R
GLO1593	15:52	15:51:26	15:53:23	1,95	STAR_PAGOG_17R
TAM3202	15:55	15:54:20	15:54:20	0,00	SID_UBRIR_17R
TAM3036	15:57	15:55:34	15:57:25	1,85	STAR_NEGUS_17R
ONE6010	15:58	15:57:40	15:57:40	0,00	SID_UGPOP_17R
AZU2817	15:59	15:59:52	16:00:36	0,73	STAR_ENTIT_17R
GLO1140	16:00	16:00:00	16:00:44	0,73	SID_DORMI_17R

## **ANEXO F – Cronogramas para verificação**

<b>Callsign</b>	<b>Horário Realizado (SETA)</b>	<b>Horário Planejado (RAMS)</b>	<b>Horário Realizado (RAMS)</b>	<b>Atraso (min) Planejado-Realizado</b>	<b>SID/STAR Simulada</b>
TAM3278	17:44	17:44:00	17:44:00	0,00	SID_OBMAV_17R
ONE6072	17:47	17:47:00	17:47:00	0,00	SID_UGPOP_17R
TAM3264	17:49	17:49:00	17:49:00	0,00	SID_UBRIR_17R
AZU2678	17:52	17:52:00	17:52:00	0,00	SID_UBRIR_17R
GLO1226	17:57	17:57:00	17:57:00	0,00	SID_CURSE_17R
GLO1434	17:59	17:59:00	17:59:00	0,00	SID_RCL_17R
TAM3950	18:02	18:02:00	18:02:00	0,00	SID_UGPOP_17R
GLO1166	18:03	18:03:00	18:03:15	0,25	SID_OBMAV_17R
GLO1046	18:05	18:05:00	18:07:02	2,03	SID_UGPOP_17R
TAM3043	18:06	18:06:00	18:10:13	4,22	SID_NIBGA_17R
TAM3465	18:07	18:06:05	18:06:56	0,85	STAR_AAQ_17R
TAM3767	18:08	18:08:00	18:13:23	5,38	SID_OBMAV_17R
TAM3619	18:10	18:07:34	18:10:07	2,55	STAR_VUKIK_17R
GLO9780	18:11	18:09:14	18:13:17	4,05	STAR_RONUT_17R
GLO1048	18:12	18:12:00	18:16:34	4,57	SID_UGPOP_17R
GLO1456	18:13	18:13:00	18:19:44	6,73	SID_RCL_17R
GLO1491	18:14	18:13:13	18:16:28	3,25	STAR_ISIBI_17R
TAM3224	18:15	18:15:00	18:22:55	7,92	SID_UBRIR_17R
TAM3238	18:15	18:15:00	18:26:06	11,10	SID_RCL_17R
AZU2677	18:18	18:17:42	18:19:38	1,93	STAR_ENTIT_17R
GLO1225	18:20	18:18:14	18:22:49	4,58	STAR_RONUT_17R
GLO1070	18:21	18:21:00	18:29:16	8,27	SID_UGPOP_17R
TAM3033	18:22	18:22:00	18:32:27	10,45	SID_NIBGA_17R
GLO1157	18:23	18:22:13	18:26:00	3,78	STAR_ISIBI_17R
TAM3721	18:25	18:23:15	18:29:10	5,92	STAR_ENTIT_17R
GLO1312	18:25	18:25:00	18:35:39	10,65	SID_UBRIR_17R
AZU2877	18:27	18:26:38	18:32:18	5,72	STAR_NEGUS_17R
GLO1313	18:30	18:28:15	18:35:31	7,27	STAR_ENTIT_17R
GLO1069	18:32	18:30:18	18:42:18	11,95	STAR_PAGOG_17R
TAM3527	18:33	18:31:15	18:45:29	14,23	STAR_ENTIT_17R
GLO1390	18:33	18:33:00	18:39:16	6,27	SID_UGPOP_17R
GLO1047	18:36	18:33:34	18:48:39	15,08	STAR_VUKIK_17R
AZU2769	18:38	18:37:37	18:39:08	1,52	STAR_RONUT_17R
TAM3898	18:39	18:39:00	18:42:24	3,40	SID_OBMAV_17R
GLO1457	18:40	18:38:15	18:57:52	19,62	STAR_ENTIT_17R
TAM3952	18:41	18:41:00	18:45:35	4,58	SID_UGPOP_17R
ONE6171	18:42	18:40:15	18:55:54	15,65	STAR_ENTIT_17R
ONE6014	18:44	18:44:00	18:48:45	4,75	SID_UGPOP_17R
TAM3276	18:44	18:44:00	18:50:00	6,00	SID_RCL_17R

## **ANEXO G – Cronograma final comparado**

Callsign	Rampa de 3°		Rampa de 5°		SID/STAR Simulada
	Realizado	Atraso (min)	Realizado	Atraso (min)	
ATR0002	18:00:01	0,10	17:59:56	0,12	STAR_VUKIK_17L
ATR0003	18:00:27	0,00	18:00:27	0,00	SID_UGPOP_17L
ATR0001	18:03:12	3,27	18:03:06	3,28	STAR_PAGOG_17L
ATR0005	18:03:11	0,00	18:03:11	0,00	SID_UGPOP_17L
ATR0007	18:06:11	2,95	18:06:05	2,85	SID_UGDOP_17L
GLO1031	18:06:25	7,52	18:06:19	7,42	STAR_PAGOG_17R
TAM3463	18:09:36	7,80	18:09:30	7,70	STAR_AAQ_17R
GLO1556	18:09:42	4,07	18:09:36	3,97	SID_UBRIR_17R
GLO1335	18:12:46	6,95	18:12:40	6,85	STAR_ISIBI_17R
ATR0004	18:15:54	6,98	18:15:49	7,00	STAR_VUKIK_17L
GLO1545	18:17:48	4,02	18:17:43	3,93	STAR_ENTIT_17R
AZU2676	18:18:13	11,02	18:18:08	10,93	SID_UBRIR_17R
ONE6009	18:21:13	12,62	18:21:01	12,42	STAR_VUKIK_17R
GLO1664	18:21:19	10,28	18:21:07	10,08	SID_RCL_17R
TAM3705	18:24:23	6,95	18:24:12	6,77	STAR_ENTIT_17R
TAM3744	18:24:29	11,65	18:24:18	11,47	SID_RCL_17R
GLO1219	18:27:33	9,98	18:27:22	9,80	STAR_RONUT_17R
TAM3936	18:27:39	14,22	18:27:28	14,03	SID_UGPOP_17R
GLO1571	18:30:44	11,30	18:30:33	11,12	STAR_ENTIT_17R
TAM3718	18:30:50	8,90	18:30:39	8,72	SID_RCL_17R
GLO1669	18:33:55	6,20	18:33:44	6,02	STAR_AAQ_17R
GLO1400	18:34:03	9,53	18:33:52	9,35	SID_OBMAV_17R
GLO1101	18:37:06	10,00	18:36:55	9,82	STAR_NEGUS_17R
GLO1216	18:37:14	11,70	18:37:03	11,52	SID_CURSE_17R
TAM3203	18:40:17	9,63	18:40:06	9,45	STAR_ENTIT_17R
TAM3222	18:40:23	6,42	18:40:12	6,23	SID_OBMAV_17R
TAM3935	18:43:27	5,85	18:43:16	5,67	STAR_VUKIK_17R
TAM3938	18:43:33	2,97	18:43:22	2,78	SID_UGPOP_17R
GLO1653	18:46:38	2,15	18:46:30	2,02	STAR_VUKIK_17R
TAM3055	18:46:44	4,92	18:46:36	4,78	SID_CURSE_17R
GLO1593	18:49:51	1,95	18:49:51	1,95	STAR_PAGOG_17R
GLO1034	18:49:57	6,78	18:49:57	6,78	SID_UGPOP_17R
TAM3013	18:51:12	1,22	18:51:12	1,22	SID_DORMI_17R
ATR0006	18:52:27	1,95	18:52:27	1,95	SID_UGDOP_17L
TAM3036	18:54:57	1,85	18:54:57	1,85	STAR_NEGUS_17R
TAM3202	18:55:00	0,00	18:55:00	0,00	SID_UBRIR_17R
AZU2817	18:58:59	-0,42	18:58:59	-0,42	STAR_ENTIT_17R
ONE6010	18:59:05	2,50	18:59:05	2,50	SID_UGPOP_17R
GLO1140	19:00:20	0,33	19:00:20	0,33	SID_DORMI_17R

## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1, CLASSIFICAÇÃO/TIPO  TC	2, DATA  20 de novembro de 2017	3, REGISTRO N°  DCTA/ITA/TC-076/2017	4, N° DE PÁGINAS  91
5, TÍTULO E SUBTÍTULO:  Avaliação da capacidade de acomodação de voos comerciais na pista auxiliar do Aeroporto de São Paulo/Congonhas.			
6, AUTOR(ES):  <b>Diogo Godoi de Carvalho Ramos</b>			
7, INSTITUIÇÃO(ÕES)/ORGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):  Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8, PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:  Aeroporto de São Paulo/Congonhas, Simulação no RAMS, Pista auxiliar, Capacidade de pista.			
9, PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:  Pistas (de pouso e decolagem); Capacidade aeroportuária; Simulação computadorizada; Planejamento de aeroportos; Aviação civil; Transporte.			
10, APRESENTAÇÃO:  ITA, São José dos Campos, Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof, Dr, Carlos Müller; coorientador: Major Esp CTA McWilliam de Oliveira (ICEA). Publicado em 2017.			
11, RESUMO:  A crise econômico-financeira que o Brasil enfrenta desde 2014 mostra certas consequências no quadro da aviação nacional. No entanto, o Aeroporto de Congonhas tem se mostrado resiliente nesse cenário de crise, sendo sempre um aeroporto de expressiva importância para o país. Nesse sentido, a busca pela melhor utilização da capacidade instalada desse aeródromo sempre suscitou discussões entre o Governo Federal e as companhias aéreas que lá operam. Dentro do campo de discussões, levantou-se a hipótese de abertura da pista auxiliar de Congonhas com voos comerciais por aeronaves capazes de operar nessa pista. Dentro do quadro de previsão de demanda da Azul, a empresa aérea poderia ser beneficiada com a operação da sua frota de ATR nessa pista. Assim sendo, buscou-se avaliar a capacidade do aeroporto em acomodar aeronaves ATR na pista auxiliar do Aeroporto de Congonhas, de modo a não alterar bruscamente o cronograma de operação da pista principal. A fim de se realizar a avaliação, buscou-se identificar precisamente as regras de operação atuantes no aeroporto, bem como a caracterização física e o perfil atual da demanda. De posse de um cenário base representativo do que acontece na pista principal do aeroporto, buscou-se realizar uma simulação desse cronograma no software RAMS. Após verificada a aderência da simulação ao cronograma real sob um conjunto de hipóteses simplificadoras, passou-se introduzir aeronaves ATR na pista auxiliar sob dois cenários básicos: o primeiro supondo uma rampa de aproximação de 3° e o segundo supondo uma rampa de aproximação de 5°. A análise se resumiu apenas às cabeceiras 17R e 17L, que são as mais utilizadas. Com base nas simulações, o aeródromo apresenta uma capacidade de acomodar até 7 aeronaves ATR, não apresentando nenhum ganho significativo pela mudança de inclinação de 3° para 5° na rampa de aproximação.			
12, GRAU DE SIGILO:  <b>(X) OSTENSIVO</b> ( ) RESERVADO      ( ) SECRETO			