IMPACTOS OPERACIONAIS E RESILIÊNCIA DE AEROPORTOS A CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS

Fued Abrão Junior

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientadora: Suzana Kahn Ribeiro

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2018

IMPACTOS OPERACIONAIS E RESILIÊNCIA DE AEROPORTOS A CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS

Fued Abrão Junior

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Profa. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

Prof. José Antonio Marengo, Ph.D

Prof. Marcelino Aurelio Vieira da Silva, D.Sc.

Prof. Ronaldo Balassiano, Ph.D

Dra. Andrea Santos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO DE 2018

Abrão Junior, Fued

Impactos operacionais e resiliência de aeroportos a condições meteorológicas adversas/ Fued Abrão Junior. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XIX, 210 p. 29,7 cm.

Orientadora: Suzana Kahn Ribeiro

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 137-150.

1. Meteorologia. 2. Resiliência de aeroportos. I. Ribeiro, Suzana Kahn. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

Para a minha avó, Anaídes, e minha mãe, Patrícia.

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para este trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

IMPACTOS OPERACIONAIS E RESILIÊNCIA DE AEROPORTOS A CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS

Fued Abrão Junior

Fevereiro/2018

Orientadora: Suzana Kahn Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

A tese explora a problemática dos impactos de condições meteorológicas adversas nas operações aeroportuárias em termos de voos cancelados na fase de pouso. Como pano de fundo, tem-se as mudanças climáticas, já que estas poderão intensificar esses impactos. A análise investiga os prováveis parâmetros meteorológicos que deram causa aos cancelamentos em quatro importantes aeroportos brasileiros, identifica quais deles apresentaram as maiores taxas (cancelamentos), quantifica os prejuízos de arrecadação tarifária dos mais impactados, classifica o grau de impacto relativo, infere sobre a resiliência da infraestrutura existente, propõe medidas para o aeroporto menos resiliente e verifica o quanto esta (i.e., a resiliência) é incrementada na hipótese de implementação de tais medidas. Como produtos replicáveis, tem-se: o procedimento analítico executado; o indicador do grau de impacto relativo de cancelamentos por condições adversas; e o índice de resiliência da infraestrutura aeroportuária. A conclusão é que os impactos operacionais (i.e., cancelamentos) não são consequências exclusivas de meteorologia adversa, mas também das condições da infraestrutura existente. E como as projeções relacionadas às mudanças climáticas apontam para a maior ocorrência de eventos extremos, os aeroportos que hoje já são impactados serão ainda mais, reduzindo sua viabilidade. É possível executar ações que incrementem a resiliência desses aeroportos, pelos menos nos mais críticos, permitindo a continuidade de suas operações, ainda que sob novos padrões, em um cenário de mudanças climáticas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

OPERATIONAL IMPACTS AND AIRPORT RESILIENCE IN ADVERSE WEATHER CONDITIONS

Fued Abrão Junior

February/2018

Advisor: Suzana Kahn Ribeiro

Department: Transportation Engineering

The thesis explores the impact of adverse meteorological conditions on airport operations in terms of flights canceled during the landing phase. In a broader context, climate change may be intensifying these impacts. The analysis investigates the probable meteorological parameters behind cancellations at four important Brazilian airports, identifying which ones were involved in the highest rates of cancellations, quantifying tariff collection losses due to these parameters, classifying the relative degree of impact, drawing inferences about the resilience of extant infrastructure and making comparisons between the airports, proposing measures for the least resilient airport and estimating the degree to which its resilience could be increased by implementing them. Replicable features of this study include the analytical procedures, indicators of the degree of relative impact of cancellations due to adverse conditions, and the airport infrastructure resilience index. It is concluded that the operational impacts (i.e., cancellations) are not only a consequence of adverse meteorology, but of existing infrastructure conditions. Since climate change projections indicate that extreme events will become more frequent, airports that are already impacted will be even more so in the future, reducing their viability. Increasing the resilience of such airports is possible, at least for the most critical ones, which would allow operational continuity, albeit under new standards, in a climate change scenario.

Sumário

1. INTRODUÇÃO 1
1.1 OBJETIVO 2
1.2 JUSTIFICATIVA 2
1.3 ORIGINALIDADE E CONTRIBUIÇÃO 2
2. INFRAESTRUTURA e OPERAÇÕES AEROPORTUÁRIAS 3
2.1 DEFINIÇÃO E PRINCIPAIS COMPONENTES 3
2.2 CLASSIFICAÇÃO E CAPACIDADES DE AEROPORTOS 4
2.2.1 Classificação Segundo Número de Passageiros 4
2.2.2 Capacidade 5
2.3 ESPAÇO AÉREO 6
2.3.1 Classificação 6
2.3.2 Procedimentos de Navegação 9
2.3.4 Auxílios Visuais e Luminosos 13
2.4 SISTEMAS DE PÁTIOS E PISTAS 14
2.4.1 Configuração e Dimensionamento 15
2.4.2 Cálculo da Capacidade 18
2.5 TERMINAL DE PASSAGEIROS 21
2.5.1 Configuração, Dimensionamento e Capacidade 21
2.5.2 Nível de Serviços 21
2.5.3 Infraestrutura de Acesso 22
2.6 AUXÍLIOS METEOROLÓGICOS 22
2.6.1 Rede de Estações Meteorológicas (REM) 23
2.6.2 Rede de Centros Meteorológicos 28
2.6.3 Banco de Dados Operacional (OPMET) e Climatológico (BDC) 30
2.6.4 Sistema de Divulgação de Informações Meteorológicas 30
3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS ADVERSAS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O TRANSPORTE AÉREO 31
3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS 31
3.2 PARÂMETROS E FENÔMENOS METEOROLÓGICOS E CLIMÁTICOS DE INTERESSE PARA A AVIAÇÃO 35
3.2.1 Teto 35
3.2.2 Tempestades e Intensa Precipitação 36
3.2.3 Chuva Leve, Moderada e Forte 36

3.2.4 Pancada de Chuva 37
3.2.5 Rajada 37
3.2.6 Nevoeiro 37
3.2.7 Névoa Seca 38
3.2.8 Névoa Úmida 38
3.2.9 Baixa Visibilidade 38
3.2.10 Temperaturas Extremas 39
3.2.11 Principais Impactos 39
3.3 RESILIÊNCIA 43
3.3.1 Métricas de Análise 45
3.3.2 Resiliência, Adaptação e Aeroportos 55
4. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE 64
4.1 PROCEDIMENTOS ADOTADOS (METODOLOGIA) 64
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AEROPORTOS DE ANÁLISE 69
4.2.1 Caracterização da infraestrutura e dos equipamentos 70
4.2.2 Caracterização Climática 73
4.2.3 Caracterização dos Cancelamentos 84
4.2.4 Proposição de Indicador de Impacto Metereológico 89
4.2.5 Estimativa das Perdas de Arrecadação Tarifária 109
4.3 CONCEPÇÃO DE SISTEMA PARA INFERIR SOBRE A RESILIÊNCIA DOS AEROPORTOS 111
4.3.1 Subsistemas 113
4.4 ÍNDICE DE RESILIÊNCIA DOS AEROPORTOS 117
4.4.1 Desenvolvendo o Sistema de Inferência 118
4.4.2 Resultados 122
4.4.3 Conclusão Parcial 126
5. PROPOSIÇÕES PARA AUMENTO DE RESILIÊNCIA DO AEROPORTO SANTOS DUMONT 126
5.1 SUBSISTEMA DE PISTAS 127
5.1.1 Implantação de Antiskid 127
5.1.2 Ampliação da Pista 128
5.2 SUBSISTEMA DE AUXÍLIOS 130
5.2.1 Auxílios de Navegação 130
5.2.2 Auxílios Meteorológicos 130
5.3 RESULTADOS 131

5.3.2 Conclusão Parcial 133
6. CONCLUSÃO 134
ANEXOS 151
ANEXO 1 – CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA 151
ANEXO 2 – ANÁLISES DE REGRESSÃO ENTRE CANCELAMENTOS E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS 159
ANEXO 3 – CÓDIGOS METAR 174
ANEXO 4 – IMAGENS DE SATÉLITE E RADAR 179
ANEXO 5 – SÍNTESE DE LÓGICA *FUZZY* 189
ANEXO 6 – DADOS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA CONCEBIDO NO MATLAB ……..195
ANEXO 7 – TELAS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY*..... 197
ANEXO 8 – *SCRIPT* PARA OBTENÇÃO DA CURVA DE RESILIÊNCIA DE CADA AEROPORTO 210

Lista de Figuras

Figura 1 — Representação dos níveis de controle do espaço aéreo 8
Figura 2 — Ilustração do sistema de aproximação e pouso por instrumentos – ILS 12
Figura 3 — Tetômetro 25
Figura 4 — Exemplo de EMS 26
Figura 5 — Exemplo imagem de radar Pico do Couto (10/09/17) 28
Figura 6 — Projeções dos impactos climáticos para américa latina 33
Figura 7 — Impacto das condições meteorológicas no padrão operacional do Aeroporto Santos Dumont 40
Figura 8 — Cancelamentos por condições meteorológicas no Aeroporto Santos Dumont 42
Figura 9 — Matriz de Resiliência 47
Figura 10 — Propostas de definições de métricas de resiliência 49
Figura 11 — Evolução do indicador de segurança para avaliação de resiliência 51
Figura 12 — Interferências meteorológicas e climáticas no aeroporto 56
Figura 13 — Fluxo de execução da análise 68
Figura 14 — Distância entre o Aeroporto Santos Dumont e Galeão 69
Figura 15 — Distância entre o Aeroporto de Congonhas e Guarulhos 70
Figura 17 — Direção, velocidade de ventos em SBGL 80
Figura 16 — Direção, velocidade de ventos em SBRJ 81
Figura 18 — Direção, velocidade de ventos em SBSP 82
Figura 19 — Direção, velocidade de ventos em SBGR 83
Figura 20 — Total de pousos cancelados meteorologia por aeroporto 85
Figura 21 — Representação gráfica da distribuição normal com média μ e o desvio padrão σ 90
Figura 22 — Cancelamento Meteorológico com Impacto Moderado - SBRJ 100
Figura 23 — Cancelamentos SBRJ por Faixa Horária (20/01/2016) 100
Figura 24 — Decodificação Metar SBRJ às 15:00 UTC de 20/02/16 102
Figura 25 — Cancelamentos SBRJ por Faixa Horária (29/02/2016) 102
Figura 26 — Decodificação Metar SBRJ às 15:00 UTC de 20/02/16 103
Figura 27 — Cancelamento Meteorológico com Impacto Severo - SBGL - (Diário - 2016) 104
Figura 28 — Cancelamentos SBGL por Faixa Horária (20/02/2016) 104
Figura 29 — Decodificação Metar SBGL às 21:00 UTC de 20/02/16 105
Figura 30 — Cancelamento Meteorológico com Impacto Moderado e Severo - SBSP (Diário - 2016) 106
Figura 31 — Cancelamentos SBSP por Faixa Horária (09/03/2016) 106
Figura 32 — Decodificação Metar SBSP às 21:00 UTC de 20/02/16 107
Figura 33 — Cancelamentos SBSP por Faixa Horária (04/05/2016). 108
Figura 34 — Decodificação Metar SBSP às 11:00 UTC de 04/05/16 109

Figura 35 — Estimativa de perdas de arrecadação por tipo de aeronaves 111
Figura 36 — Representação do sistema de inferência fuzzy 118
Figura 37 — Relação comprimento da pista e macrotextura 120
Figura 38 — Relação número de pistas e configuração 121
Figura 39 — Relação auxílios de navegação e meteorológicos 122
Figura 40 — Curva de resiliência do Aeroporto Santos Dumont 124
Figura 41 — Curva de resiliência do Aeroporto do Galeão 124
Figura 42 — Curva de resiliência do Aeroporto de Congonhas 125
Figura 43 — Curva de resiliência do Aeroporto de Guarulhos 125
Figura 44 — Proposição de aplicação de antiskid 128
Figura 45 — Ampliação da pista SBRJ cab. 20 129
Figura 46 — Ampliação da pista SBRJ cab. 02 129
Figura 47 — Ilustração de estação meteorológica de superfície 130
Figura 48 — Estação meteorológica de superfície em Aeroporto do Canadá 131
Figura 49 — Curva de resiliência do Aeroporto Santos Dumont com implantação de antiskid, ILS CAT I e EMS 1 132
Figura 50 — Curva de resiliência do Aeroporto Santos Dumont com ampliação da pista para 1.5 km, implantação de antiskid, ILS CAT I e EMS 1 133
Figura 51 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros Meteorológicos Aeroporto Santos Dumont 152
Figura 52 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros Meteorológicos Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro - Galeão (SBGL) 154
Figura 53 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros meteorológicos Aeroporto de São Paulo - Congonhas (SBSP) 156
Figura 54 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros Meteorológicos Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos (SBGR) 158
Figura 55 — Imagem GOES SBRJ 20/01/2016 Infra 4 km 180
Figura 56 — Imagem GOES SBRJ 20/01/2016 visível 1 km 181
Figura 57 — Imagem Radar Pico do Couto-RJ 20/01/2016 MAXCAPPI 181
Figura 58 — Imagem GOES SBRJ 29/01/2016 Infra 4 km 182
Figura 59 — Imagem GOES SBRJ 29/01/2016 visível 1 km 183
Figura 60 — Imagem Radar Pico do Couto-RJ 29.02.2016 MAXCAPPI 183
Figura 61 — Imagem GOES SBGL 20/02/2016 Infra 4 km 184
Figura 62 — Imagem GOES SBGL 20/02/2016 visível 1 km 184
Figura 63 — Imagem Radar Pico do Couto-RJ 20/02/2016 MAXCAPPI 185
Figura 64 — Imagem GOES SBSP 09/03/2016 Infra 4 km 186
Figura 65 — Imagem GOES SBSP 09/03/2016 visível 1 km 186

Figura 66 — Imagem Radar São Roque SP 09/03/2016 MAXCAPPI 187
Figura 67 — Imagem GOES SBSP 04/05/2016 Infra 4 km.....188
Figura 68 — Imagem GOES SBSP 04/05/2016 Infra 1 km.....188
Figura 69 — Funções de pertinência para variável comprimento de pista.....189
Figura 70 — Reresentação triangular.....191
Figura 71 — Representação triangular.....191
Figura 72 — Representação trapezoidal.....192
Figura 73 — Operações fuzzy.....193
Figura 74 — Etapas da lógica fuzzy 194
Figura 75 — Tela inicial do sistema – Comprimento e macrotextura de pista 197
Figura 76 — Funções do comprimento de pistas 197
Figura 77 — Funções da macrotextura da pista 198
Figura 78 — Regras de inferência comprimento e macrotextura da pista 198
Figura 79 — Funções de saída: relação comprimento e macrotextura da pista 199
Figura 80 — Resultado SBRJ – Comprimento e macrotextura.....199
Figura 81 — Resultado SBGL – Comprimento e macrotextura 200
Figura 82 — Resultado SBSP – Comprimento e macrotextura 200
Figura 83 — Resultado SBGR – Comprimento e macrotextura 201
Figura 84 — Tela inicial do sistema – Número e configuração de pista.....201
Figura 85 — Funções do número de pistas 202
Figura 86 — Funções da configuração de pistas.....202
Figura 87 — Regras de inferência número e configuração da pista.....203
Figura 88 — Funções de saída: relação número e configuração de pistas 203
Figura 89 — Resultado SBRJ, SBGL,SBGR SBSP– Saída da relação número e configuração de pistas.....204
Figura 90 — Tela inicial do sistema – auxílios de navegação e meteorológicos.....204
Figura 91 — Funções dos auxílios de navegação 205
Figura 92 — Funções dos auxílios meteorológicos 205
Figura 93 — Regras de inferência auxílios de navegação e meteorológicos 206
Figura 94 — Funções de saída: relação auxílios de navegação e meteorológicos 206
Figura 95 — Resultado SBRJ: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos.....207
Figura 96 — Resultado SBRJ: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos.....207
Figura 97 — Resultado SBSP: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos 208
Figura 98 — Resultado SBGR: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos 208
Figura 99 — Resultado SBRJ - Saída implantação EMS 1 e ILS CAT I.....209
Figura 100 — Resultado SBRJ - Ampliação da pista para 1.5 km e instalação de antiskid 209

Lista de Tabelas

Tabela 1 — Classes de aeronaves e tipos de operações 7
Tabela 2 — Separação horizontal mínima em operações VFR e IFR 13
Tabela 3 — Classificação do ALS 14
Tabela 4 — Código do Aeródromo e dimensões da pista 16
Tabela 5 — Códigos das aeronaves e referência do aeródromo 19
Tabela 6 — Eventos extremos, seus impactos e medidas que podem aumentar a resiliência 33
Tabela 7 — Definições de resiliência em diferentes domínios 44
Tabela 8 — Diferentes interpretações das medidas de resiliência nas redes de fluxo de tráfego ..52
Tabela 9 — Tipos de custos por fase operacional 54
Tabela 10 — Progresso do Plano de Ação de Adaptação às Mudanças Climáticas 61
Tabela 11 — Comparativo simples entre os Aeroportos Santos Dumont e Galeão 69
Tabela 12 — Comparativo simples entre os Aeroportos de Guarulhos e Congonhas 70
Tabela 13 — Características SBRJ 70
Tabela 14 — Características SBGL 71
Tabela 15 — Características SBSP 72
Tabela 16 — Características SBGR 72
Tabela 17 — Estrutura das escalas espacial e temporal do clima 73
Tabela 18 — Temperatura média nos aeroportos analisados 74
Tabela 19 — Visibilidade Horizontal média nos aeroportos analisados 75
Tabela 20 — Precipitação média nos aeroportos analisados 75
Tabela 21 — Vento Máximo média nos aeroportos analisados 75
Tabela 22 — Frequência média da ocorrência de Chuva Leve nos aeroportos analisados 76
Tabela 23 — Frequência média da ocorrência de Chuva Moderada nos aeroportos analisados 76
Tabela 24 — Frequência média da ocorrência de Chuva Forte nos aeroportos analisados 77
Tabela 25 — Frequência média da ocorrência de Pancada de Chuva nos aeroportos analisados .. 77
Tabela 26 — Frequência média da ocorrência de névoa seca nos aeroportos analisados 77
Tabela 27 — Frequência média da ocorrência de névoa úmida nos aeroportos analisados 78
Tabela 28 — Frequência média da ocorrência nevoeiro nos aeroportos analisados 78
Tabela 29 — Resultado da regressão múltipla 88
Tabela 30 — Relação de voo cancelados por meteorologia e voo programados 91
Tabela 31 — Análise de impacto relativo SBRJ 91
Tabela 32 — Relação de voo cancelados por meteorologia e voo programados 92
Tabela 33 — Análise de impacto relativo SBGL 92
Tabela 34 — Relação de voo cancelados por meteorologia e voo programados 93
Tabela 35 — Análise de Impacto relativo SBSP 93

Tabela 36 — Relação de voo cancelados por meteorologia e voo programados 94
Tabela 37 — Análise de Impacto relativo SBGR 94
Tabela 38 — Teste de normalidade por mês 96
Tabela 39 — Teste de normalidade por ano 97
Tabela 40 — Relação de voo cancelados por meteorologia e voo programados 98
Tabela 41 — Receitas não auferidas por tipo de aeronave 110
Tabela 42 — Síntese das variáveis e termos linguísticos 116
Tabela 43 — Variáveis escolhidas e seus atributos 119
Tabela 44 — Índices de resiliência dos aeroportos 122
Tabela 45 — Intervenções e índices de resiliência obtidos 131
Tabela 46 — Regressão Aeroporto Santos Dumont - Anual 159
Tabela 47 — Regressão Aeroporto Santos Dumont - Geral 162
Tabela 48 — Regressão Aeroporto do Galeão – Anual 163
Tabela 49 — Regressão Aeroporto do Galeão – Geral 167
Tabela 50 — Regressão Aeroporto de Guarulhos – Anual 167
Tabela 51 — Regressão Aeroporto de Guarulhos – Geral 170
Tabela 52 — Regressão Aeroporto de Congonhas - Anual 171
Tabela 53 — Regressão Aeroporto de Congonhas - Geral 173
Tabela 54 — Metar SBRJ 20 01 2016 174
Tabela 55 — Metar SBRJ 29 02 2016 175
Tabela 56 — Metar SBGL 20 02 16 176
Tabela 57 — Metar SBSP 09 03 16 177
Tabela 58 — Metar SBSP 04 05 2016 177

Lista de Quadros

Quadro 1 — Mínimos estabelecidos para voos VFR 10
Quadro 2 — Diferentes configurações de pistas e capacidades 20

Lista de Siglas

ABAG – Associação Brasileira de Aviação Geral
ABEAR – Associação Brasileira das Empresas Aéreas
ACC – Area Control Centre
ACRP – Airport Cooperative Research Program
AFTN – Aeronautical Fixed Telecommunication Network
AIRMET – Airmen's Meteorological Information
ALS – Approach Lighting System
ALSF – Approach Lighting System with Sequenced Flashing Lights
AMS – Amsterdam Airport Schiphol
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
ATC – Air Traffic Control
ATCO – Controlador de Tráfego aéreo
ATS – Air Traffic Services
ATZ – Aerodrome Traffic Zone
AWY – Airway
BDC – Banco de Dados Climatológicos
BRT – Bus Rapid Transit
CAA – Civil Aviation Authority
CB – Cumulus nimbus
CBP – Comprimento Básico de Pista
CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CLA – Centro de Lançamento de Alcântara
CLBI – Centro de Lançamento da Barreira do Inferno
CMA – Centro Meteorológico de Aeródromo
CMM – Centro Meteorológico Militar
CMV – Centro Meteorológico de Vigilância
CNMA – Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica
COMAER – Comando da Aeronáutica
CTR – Control Zone
DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DFW – Dallas/Fort Worth International Airport
DME – Distance Measuring Equipment
DSER – Resiliência Econômica Estática Direta
ERM – Estação de Radar Meteorológicos
EMS – Estação Meteorológica de Superfície

EPA – Environment Protection Agency

EWR – Newark Airport

FAA – Federal Aviation Administration

FIS – Fuzzy Inference System

FRA – Frankfurt Airport

FZFG – Freezing Fog

GOES – Geostationary Operational Environmental Satellites

GP – Superfície Eletrônica de Planeio

JFK – John F. Kennedy International Airport

JMAA – Jackson-Medgar Wiley Evers International Airport

IATA – International Air Transport Association

ICA – Instrução do Comando da Aeronáutica

ICAO – International Civil Aviation Organization

IFR – Regras de Voo por Instrumentos

ILS – Instrument Landing System

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LGA – LaGuardia Airport

LHR – Heathrow Airport

LOC - Localizador

MAXCAPPI – Maximum Constant Altitude Plan Position Indicator

METAR – Meteorological Aerodrome Report

MM – Marcador Médio

MSP – Minneapolis-Saint Paul International Airport

NALS – No ApproachLight System

OACI – Organização da Aviação Civil Internacional

OM – Marcador Externo

OPMET – Operational Aeronautical Meteorological Data

ORD – O'Hare International Airport

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PHL – Philadelphia International Airport

QFE –Pressão atmosférica ao nível da Estação

QFF –Pressão atmosférica ao nível médio do mar

QNH –Pressão atmosférica para o ajuste do altímetro

RBAC – Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil

REDEMET – Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica

RNAV – Area Navigation

RNP – Required Navigation Performance

RVR – Runway Visual Range

SBGL – Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro - Galeão

SBGR – Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos

SBRJ – Aeroporto Santos Dumont

SBSP – Aeroporto de São Paulo – Congonhas

SIGMET – Significant Meteorological Information

SISCEAB – Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro

SPECI – Especial

TAF – Terminal Aerodrome Forecast

TMA – Terminal Control Area

TRB – Transportation Research Circular

TWR – Torre de Controle de Aeródromo

UTC – Universal Time Coordinated

VFR – Regras de Voo Visual

VLT – Veículo Leve sobre Trilhos

VOLMET – Meteorological Information for Aircraft in Flight

WMO – World Meteorological Organization

1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é um importante modo de integração e conectividade, permitindo o deslocamento de pessoas e cargas de forma eficiente, segura e com maior rapidez. A taxa média de crescimento dos últimos dez anos foi 5,5%, sendo que em 2016 registrou-se 6,3% a mais do que em 2015. Com relação a 2015, houve aumento da capacidade em 6,2%, indicando que há tendência de manutenção de crescimento (IATA, 2017). Tendência semelhante se observa com relação à frequência de ocorrência de eventos climáticos extremos, exigindo maior resiliência e esforços para a adaptação (IPCC, 2014). Entende-se por resiliência a capacidade de um sistema em manter, ainda que sob novas condições, suas funcionalidades ou retorná-las às condições de equilíbrio após uma perturbação (GUNDERSON *et al*, 2002; FIKSEL, 2006). Em se tratando de transporte aéreo, pôde-se, por analogia, definir resiliência como a capacidade dos subsistemas que o compõem em manter suas funcionalidades, ainda que sob novas condições operacionais, ou de restabelecê-las no menor tempo possível após um evento disruptível.

Os subsistemas que integram o modo aéreo são os aéreos e os terrestres. Os aéreos consistem na navegação aérea, tráfego aéreo, aeronaves, tripulação e serviços, direta ou indiretamente relacionados ao voo. Já os terrestres consistem em um conjunto de órgãos, instalações ou estruturas terrestres de apoio à navegação aérea, com o objetivo de promover a segurança, a regularidade e a eficiência, sendo o sistema aeroportuário um dos principais (BRASIL, 1986; ICAO, 2013). Este último, por sua vez, pode ser subdividido em pistas de pouso e decolagem, pistas de táxi, pátio de estacionamento de aeronaves, terminal de carga aérea, terminal de passageiros e as respectivas facilidades (BRASIL, 1986; JANIC, 2009).

Extremamente importantes para a mobilidade e a integração nacional, os aeroportos estão vulneráveis a riscos resultantes da mudança climática, como, por exemplo, o aumento do nível do mar, temperaturas extremas e outras adversidades que geram um risco operacional e comercial (BURBIDGE, 2016). Essas adversidades, por reduzirem ou anularem a capacidade operacional, justificam o emprego de esforços na concepção de meios que permitam mensurar, mesmo que de forma simplificada, tais impactos, bem como estimar a resiliência desse sistema a essas condições (adversas), as quais deverão se tornar mais intensas e frequentes por força da mudança do clima (IPCC, 2014).

A hipótese aqui considerada é que não só a incidência de eventos meteorológicos adversos à aviação é fator causador de impactos operacionais, mas também a própria infraestrutura aeroportuária quando pouco resiliente a esses eventos.

Nesse sentido, o conhecimento dos impactos operacionais, em termos de cancelamentos de voos, e da resiliência da infraestrutura existente permite inferir sobre a capacidade de manutenção e restabelecimento das funcionalidades de aeroportos frente a eventos disruptíveis, e ainda permite indicar quais são prioritários para possíveis intervenções mitigadoras.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método de análise sobre os impactos das condições meteorológicas nas operações de aeroportos e estimar suas resiliências segundo elementos de infraestrutura.

Os impactos foram analisados com base nos voos (pousos) cancelados por meteorologia em relação aos programados e, secundariamente, pelas perdas de arrecadação tarifária, sendo esta última somente para os aeroportos mais críticos ou impactados. A resiliência foi estimada por meio de um sistema simplificado de inferência considerando elementos da infraestrutura/equipamentos existentes. Por fim, medidas interventivas foram propostas para o aeroporto que apresentou menor índice de resiliência.

1.2 JUSTIFICATIVA

O sistema aeroportuário e suas operações são fortemente influenciadas pelas condições meteorológicas e climáticas. Com as mudanças destas, é esperado que os padrões das primeiras sejam alterados, gerando impactos significativos (IPCC, 2014 e ICAO, 2013). Embora tenha aumentado o número de pesquisas no setor de transportes voltadas para resiliência e adaptação às mudanças climáticas, ainda existem poucos estudos dedicados a aeroportos (TRB, 2012).

No caso brasileiro, há uma ampla oportunidade de contribuição, em razão da lacuna de estudos que abordem vulnerabilidades, possíveis impactos e alternativas de adaptação para transportes (PBMC, 2016). Ademais, do ponto de vista aplicado, as dimensões geográficas do país, que suportam grande variedade climática e meteorológica, e a importância cada vez maior da infraestrutura aeroportuária e do transporte aéreo para a integração nacional demandam uma melhor compreensão sobre o quanto estes últimos estão aparelhados para lidar com adversidades.

1.3 ORIGINALIDADE E CONTRIBUIÇÃO

Como originalidade, tem-se a abordagem da problemática do *impacto de eventos metereológicos adversos nas operações aeroportuária*, tendo como pano de fundo as mudanças

climáticas, a proposição de classificação desses impactos em termos de cancelamentos de voos, bem como a concepção de sistema de inferência simplificado para avaliação da resiliência da infraestrutura de aeroportos, que pode ser realizada sob diferentes aspectos, sendo aqui considerados os subsistemas e/ou equipamentos que têm interface com a metereologia e que por ela podem ser afetados. Assim, não foram objeto de análise e contribuições, a investigação sobre as causas dos fenômenos meteorológicos considerados, a dinâmica social envolvida (embora o proposito a análise a ela, sociedade, também sirva) e os cenários de vunerabilidade e adaptação climática nas regiões ou áreas dos aeroportos estudados.

Nesse sentido, como contribuições de ordem prática, tem-se a possibilidade de: a) identificação de aeroportos mais suscetíveis a impactos operacionais em condições meteorológicas adversas; b) classificação do grau de impacto relativo; c) inferência e classificação de aeroportos segundo índice de resiliência; d) proposição de intervenções e verificação da variação do índice (resiliência); e e) possibilidade de definição de estratégias e direcionamentos de esforços de planejamento para o incremento de resiliência.

2. INFRAESTRUTURA E OPERAÇÕES AEROPORTUÁRIAS

Este capítulo tem por objetivo apresentar a definição e os principais componentes de um aeroporto, bem como suas capacidades e os elementos, quer sejam de infraestrutura ou de procedimentos, considerados (ou adotados) para condições climáticas adversas.

2.1 DEFINIÇÃO E PRINCIPAIS COMPONENTES

Aeroportos ou aeródromos públicos são equipamentos dinâmicos dotados de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves, embarque e desembarque de pessoas, cargas, correios, entre outros (BRASIL, 1986; IATA, 2004). Sua capacidade e eficiência dependem da organização e da coordenação de todos esses fluxos (DIANA, 2010). Nesse contexto, a concepção de um aeroporto deve seguir alguns princípios, a saber:

- Ser desenhado para operar de uma maneira eficiente, considerando a segurança dos usuários e clientes.
- Ter o fluxo de aeronaves operado de forma eficiente entre os diferentes subsistemas (i.e., espaço aéreo, pistas, *taxiways* e pátio).
- Ter o acesso ao terminal facilitado.

- Ter um terminal de passageiros que permita uma integração eficiente entre o lado ar e lado terra, mantendo o adequado fluxo de passageiros.
- Ter cada subsistema flexível o suficiente para comportar demandas futuras de forma a garantir a capacidade balanceada do sistema.

Segundo Horonjeff e Mckelvey (1983), temperatura e ventos são componentes meteorológicos que podem influenciar no tamanho de um aeroporto. Temperatura, por exemplo, influencia no comprimento da pista, sendo exigida maior extensão para temperaturas maiores. A direção e a velocidade de ventos influenciam o número de pistas, seu comprimento e sua configuração. Além disso, devido à natureza complexa das operações aéreas e aeroportuárias, bem como suas interações com meio externo, é necessário planejá-las e desenvolvê-las considerando todas as condições meteorológicas e climáticas possíveis (ICAO, 2013). Como poderá ser verificado adiante, fatores climáticos e meteorológicos influenciam desde a infraestrutura do aeroporto até suas operações.

2.2 CLASSIFICAÇÃO E CAPACIDADES DE AEROPORTOS

2.2.1 Classificação Segundo Número de Passageiros

A Norma RBCA Nº 54/2012 (ANAC, 2012) classifica os aeródromos civis públicos brasileiros, compartilhados ou não, em função do número de passageiros processados, considerando a média aritmética no período de referência e o tipo de voo que o aeródromo processa no ano corrente. Com base nestes, tem-se:

(i) Classe I: aeródromo em que o número de passageiros processados seja inferior a 200.000 (duzentos mil);

(ii) Classe II: aeródromo em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 200.000 (duzentos mil) e inferior a 1.000.000 (um milhão);

(iii) Classe III: aeródromo em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 1.000.000 (um milhão) e inferior a 5.000.000 (cinco milhões); e

(iv) Classe IV: aeródromo em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 5.000.000 (cinco milhões).

Quanto ao tipo de voo que o aeródromo processa no ano corrente:

(i) (A) Aeródromo que não processa voo regular; para os aeródromos enquadrados na classe I, tem-se: (A) Aeródromo Classe I-A.

(ii) (B) Aeródromo que processa voo regular; para os aeródromos enquadrados na classe I, tem-se: (B) Aeródromo Classe I-B.

(iii) Para aeródromos enquadrados nas classes II, III e IV, não há divisão quanto ao tipo de voo processado no aeródromo.

2.2.2 Capacidade

O termo capacidade tem várias definições, mas, geralmente, está relacionado a um limite que, quando atingido ou excedido, afeta a operação do aeroporto e o nível de serviços. A capacidade sustentada, por sua vez, representa toda a capacidade de um subsistema acomodar a demanda do tráfego, dentro de padrões de espaço e tempo a um determinado nível de serviços (IATA, 2004).

Dispor de capacidade adequada para atender à crescente demanda e, ao mesmo tempo, maximizar o uso dos recursos existentes tem se tornado cada vez mais crítico. Nesse contexto, o adequado gerenciamento da capacidade e da demanda num dado ambiente representa o maior desafio para um operador aeroportuário.

Vários métodos alternativos de gerenciamento da demanda frente às limitações de capacidade têm sido considerados no passado, sendo o planejamento coordenado o mais o satisfatório (IATA, 2004).

O balanceamento da capacidade de um aeroporto deve considerar os limites dos subsistemas, de maneira a permitir o fluxo máximo das operações. Nesse contexto, os principais subsistemas a serem considerados são:

- Espaço terminal - que representa capacidade de processar a aproximação, o pouso e a decolagem do tráfego aéreo.
- Pistas e táxis - que representam a capacidade de processar pouso, taxiamento e decolagem de aeronaves. O sistema de pistas é um componente crítico e afeta diretamente a capacidade de todo o aeroporto.
- Terminal de passageiros - que representa a capacidade de receber e processar passageiros.
- Acesso terrestre - que representada a capacidade (ou facilidade) de acesso ao aeroporto.

2.3 ESPAÇO AÉREO

2.3.1 Classificação

O espaço aéreo é classificado e designado alfabeticamente, conforme DECEA (2016a) e ICAO (2009). Essas classes representam uma normalização dos serviços prestados pelos órgãos de controle de tráfego aéreo considerando o regime de voo, as condições meteorológicas mínimas para operações visuais (VFR), os limites de velocidade e a obrigatoriedade de contato por rádio com os controladores de tráfego. As 7 classes definidas variam de A a G, conforme sintetizado na Tabela 1, sendo a primeira mais restritiva e a última menos. Se o tráfego é grande, maior nível de segurança é exigido, tornando a classe mais restritiva, conforme a seguir especificado:

a) Classe A - todas as aeronaves voam segundo as regras de voo por instrumentos (IFR) ou com as regras de voo visual (VFR). É disponibilizado a todos os voos o serviço de controle de tráfego aéreo, e os voos são separados entre si.
b) Classe B - são permitidos voos IFR e VFR. É disponibilizado a todos os voos o serviço de controle de tráfego aéreo, e os voos são separados entre si.
c) Classe C - são permitidos voos IFR e VFR. É disponibilizado a todos os voos o serviço de controle de tráfego aéreo. Os voos IFR são separados de outros voos IFR e dos voos VFR. Os voos VFR são separados apenas dos voos IFR e recebem informação de tráfego em relação aos outros voos VFR e, ainda, aviso para evitar tráfego, quando solicitado pelo piloto.
d) Classe D - são permitidos voos IFR e VFR. É disponibilizado a todos os voos o serviço de controle de tráfego aéreo. Os voos IFR são separados de outros voos IFR e recebem informação de tráfego em relação aos voos VFR e, ainda, aviso para evitar tráfego, quando solicitado pelo piloto. Os voos VFR recebem apenas informação de tráfego em relação a todos os outros voos e aviso para evitar tráfego, quando solicitado pelo piloto.
e) Classe E - são permitidos voos IFR e VFR. É disponibilizado somente aos voos IFR o serviço de controle de tráfego aéreo, e esses voos são separados dos outros voos IFR. Todos os voos recebem informação de tráfego sempre que for factível.
f) Classe F - são permitidos voos IFR e VFR. É disponibilizado somente aos voos IFR o serviço de assessoramento de tráfego aéreo. Todos os voos recebem serviço de informação de voo, quando solicitado pelo piloto.
g) Classe G - são permitidos voos IFR e VFR, recebendo somente serviço de informação de voo, sempre que for factível.

Tabela 1 — Classes de aeronaves e tipos de operações

Classe	Tipo de Operação	Separação Fornecida	Serviço disponibilizado	Limitação de velocidade*	Rádio comunicação exigida	Sujeito a autorização ATC
A	Somente IFR	Todas as aeronaves	Serviço de controle de tráfego	Não	Contínuo dos dois lados	Sim
B	IFR	Todas as aeronaves	Serviço de controle de tráfego	Não	Contínuo dos dois lados	Sim
	VFR	Todas as aeronaves	Serviço de controle de tráfego	Não	Contínuo dos dois lados	Sim
C	IFR	IFR de IFR / IFR de VFR	Serviços de tráfego aéreo	Não	Contínuo dos dois lados	Sim
	VFR	VFR de IFR	1) Serviços de controle de tráfego para separação de IFR 2) VFR/VFR serviços de informação de tráfego (e orientação de desvio de tráfego quando requisitado)	250 nós acima 10000 pés	Contínuo dos dois lados	Sim
D	IFR	IFR de IFR	Serviço de controle de tráfego, informação de tráfego de VFR (e orientação de desvio de tráfego quando requisitado)	250 nós abaixo 10000 pés	Contínuo dos dois lados	Sim
	VFR	Nenhum	Informações de tráfego IFR/VFR e VFR/VFR (e orientação de desvio de táafego quando requisitado)	250 nós abaixo 10000 pés	Contínuo dos dois lados	Sim
E	IFR	IFR de IFR	Serviço de controle de tráfego aéreo e sempre que possível informação de tráfego de voos VFR	250 nós abaixo 10000 pés	Contínuo dos dois lados	Sim
	VFR	Nenhum	Informação de voo na medida do possível	250 nós abaixo 10000 pés	Não	Não

F	IFR	IFR de IFR quando poss	Servio de alerta de tráfego; serviço de informação de voo	250 nós abaixo 10000 pés	Contínuo dos dois lados	Não
	VFR	Nenhum	Serviço de informação de voo	250 nós abaixo 10000 pés	Não	Não
G	IFR	Nenhum	Serviço de informação de voo	250 nós abaixo 10000 pés	Contínuo dos dois lados	Não
	VFR	Nenhum	Serviço de informação de voo	250 nós abaixo 10000 pés	Não	Não

Fonte: Adaptado de Skybrary (http://www.skybrary.aero/index.php/Classification_of_Airspace)

Os Serviços de Tráfego Aéreo no Brasil são providos pelos diversos órgãos ATS, conforme a Figura 1. A TWR (torre de controle de aeródromo) controla o tráfego dentro da ATZ (Aerodrome Traffic Zone / Zona de Tráfego de Aeródromo) do respectivo aeródromo no qual está instalada. O APP (Approach Control / Controle de Aproximação) controla o tráfego da CTR (Control Zone / Zona de Controle), excluída a Zona de Tráfego de Aeródromo. O APP também controla o tráfego que opera dentro da TMA (Terminal Control Area / Área de Controle Terminal). Já a ACC (Area Control Centre / Centro de Controle de Área) controla o tráfego da AWY (Airway / Aerovia).

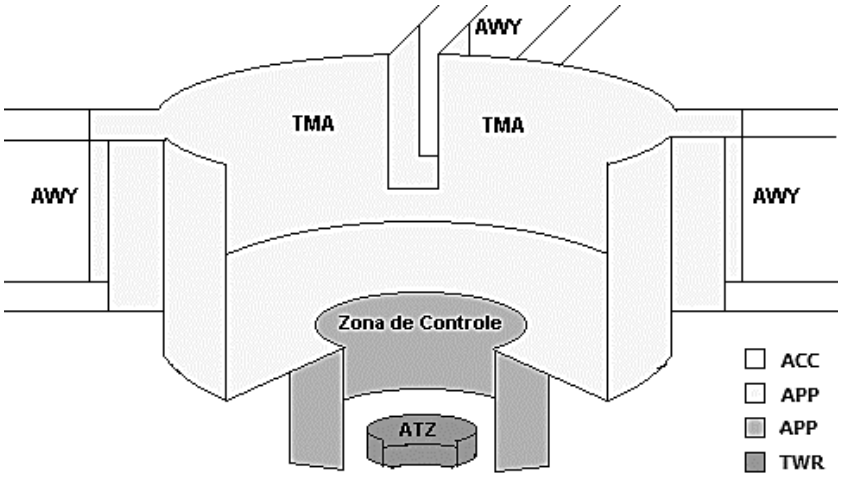


Figura 1 — Representação dos níveis de controle do espaço aéreo

TMA – Área de controle terminal
ACC - Centro de Controle de Área;
APP - Controle de Aproximação
ATC - Controle de Tráfego Aéreo
ATZ - Zonas de Tráfego de Aeródromo

AWY – Airway /aerovia

No âmbito da presente pesquisa, as áreas de controle de interesse são aquelas executadas pelo APP e pela Torre de Controle (TWR), já que estas possuem relação direta com pouso e decolagens do aeródromo, ainda mais considerando operações IFR. É competência da TWR, por exemplo, supervisionar, administrar e monitorar o tráfego do aeroporto e o espaço aéreo imediato, pousos e decolagens, até aproximadamente 5 milhas do aeródromo. Ela também é responsável por autorizar pousos e decolagens das aeronaves, provendo os pilotos de informações sobre ventos, temperatura e pressão barométrica (HOROJEFF e MCKELVEY, 1983).

2.3.2 Procedimentos de Navegação

Os procedimentos de navegação aérea podem ser subdivididos em visual, não precisão e precisão por instrumentos (ICAO, 2013 DOC 9365).

Todas as aeronaves voam segundo as regras de voo por instrumentos (IFR) ou com as regras de voo visual (VFR). Sob IFR, a aeronave opera com auxílio de rádio ou equipamento de navegação aérea a partir do qual o piloto pode determinar a posição da aeronave a qualquer momento. Os voos IFR são conduzidos através de todas as condições climáticas, exceto as mais severas, enquanto nos VFR as condições meteorológicas são favoráveis, com pouca ou nenhuma interferência de nuvens e visibilidade suficiente, que permitirá ao piloto visualizar e evitar outras aeronaves e obstáculos.

De acordo com a ICAO (2001, ANEXO 11), os voos IFR são realizados com controle de tráfego aéreo quando operados em espaço aéreo controlado e, quando não, é o piloto o responsável por organizar o voo para evitar outro tráfego com base nas informações de voo conhecidas. Nas condições VFR, o serviço de controle nem sempre é fornecido, salvo em áreas específicas ou em casos em que os voos VFR são separados de voos IFR, por exemplo. Entretanto, nem todas as aeronaves são atendidas pelos serviços de tráfego aéreo. Se uma aeronave estiver operando inteiramente fora do espaço aéreo controlado, em uma área onde seja necessário um plano de voo, o mesmo pode nem mesmo ser conhecido pelos serviços de tráfego aéreo.

De acordo com o DECEA (2016b), o número total de aeródromos no Brasil é de 2500, sendo 677 públicos e 1770 privados. Do total, 119 estão em condições de realizar operações IFR, sendo que em apenas 60 destes é prestado o Serviço de Controle de Aeródromo por uma Torre de Controle (TWR), e nos demais é prestado o Serviço de Informação de Voo de Aeródromo por um órgão AFIS. Ainda segundo a mesma fonte, as operações IFR em aeródromos, além do ganho em

segurança, proporcionam significativo ganho em acessibilidade, uma vez que podem ser realizadas em condições meteorológicas mais degradadas em comparação às VFR.

2.3.2.1 Visual

Uma operação de voo visual (VFR) é regida por condições meteorológicas visuais. Neste caso, a aproximação é realizada por meio visual, sem a utilização de instrumentos de apoio à navegação.

No Brasil, as operações de voo visual são regulamentadas na ICAO 100-12 (BRASIL, 2016c). Os voos VFR devem ser executados de forma que as aeronaves voem em condições de visibilidade e distância das nuvens iguais ou superiores às especificadas no quadro 1. Além disso, é condição que, de forma simultânea e contínua, cumpram as seguintes condições: a) manter referência com o solo ou água, de modo que as formações meteorológicas abaixo do nível de voo não obstruam mais da metade da área de visão do piloto; b) voar abaixo do FL 150; e c) voar com velocidade também estabelecida no quadro 1.

Somente quando autorizado pelo órgão ATC em casos especiais, voos VFR não poderão pousar, decolar, entrar na zona de tráfego do aeródromo (ATZ) ou no circuito de tráfego de tal aeródromo se: a) o teto for inferior a 450 m (1500 pés); ou b) a visibilidade no solo for inferior a 5 km.

A mesma proibição ocorre, exceto em operação de pouso e decolagem, quando em situação de sobrevoo: a) sobre cidades, povoados, lugares habitados ou sobre grupos de pessoas ao ar livre, em altura inferior a 300 m (1000 pés) acima do mais alto obstáculo existente num raio de 600 m em torno da aeronave; e b) em lugares distintos da alínea anterior, em altura inferior a 150 m (500 pés) acima do solo ou da água.

Para a realização de voos visuais nas Classes B, C e D, as aeronaves devem dispor de meios para estabelecer comunicações em radiotelefonia com o órgão ATC apropriado.

Quadro 1 — Mínimos estabelecidos para voos VFR

Classe de Espaço Aéreo	**B**	**C D E**	**FG**	
			Acima de 900 m (3000 pés) AMSL ou acima de 300 m (1000 pés) sobre o terreno o que for maior	A 900 m (3000 pés) AMSL abaixo ou 300 m (1000 pés) acima do terreno, o que for maior
Distância das Nuvens	Livre de Nuvens	1500 m horizontalmente	1500 m horizontalmente 300m verticalmente	Livre de nuvens e avistando o solo

		300 m (1000 pés) verticalmente		
Visibilidade	8 km se voando no ou acima do FL100	8 km se voando no ou acima do FL100	8 km se voando no ou acima do FL100	5 km
	5 km se voando abaixo do FL100	5 km se voando abaixo do FL100	5 km se voando abaixo do FL100	
Limite de Velocidade	380 kt	250 kt IAS se voando abaixo do FL100		
		380 kt IAS se voando acima do FL100		

Fonte: Decea (2016c)

2.3.2.2 Não Precisão

As operações de aproximação e pouso *não precisão* utilizam-se de instrumentos de orientação lateral, mas não de orientação vertical, tornando-os mais precisos do que VFR e menos precisos do que IFR.

2.3.2.3 Precisão por instrumentos

As categorias de operação precisão por instrumento para aproximação e pouso são definidas pela ICAO (2013 – DOC 9365):

Categoria I (CAT I) - Operação com precisão por instrumento para aproximação e pouso com:

a) altura de decisão superior a 60 m (200 pés); e
b) com uma visibilidade limitada a 800 m ou uma faixa visual da pista não inferior a 550 m.

Categoria II (CAT II) - Operação com precisão por instrumento para aproximação e pouso com:

a) altura de decisão inferior a 60 m (200 pés), mas não inferior a 30 m (100 pés); e
b) faixa visual da pista não inferior a 300 m.

Categoria IIIA (CAT IIIA). Operação com precisão por instrumento para aproximação e pouso com:

a) altura de decisão inferior a 30 m (100 pés) ou nenhuma altura de decisão; e
b) faixa visual da pista não inferior a 175 m.

Categoria IIIB (CAT IIIB). Operação com precisão por instrumento para aproximação e pouso com:

a) altura de decisão inferior a 15 m (50 pés), ou nenhuma altura de decisão; e
b) faixa visual da pista inferior a 175 m mas não inferior a 50 m.

Categoria IIIC (CAT IIIC) - Operação com precisão por instrumento para aproximação e pouso sem altura de decisão ou limitação de faixa visual da pista.

As operações ILS CAT I, II e III implicam a necessidade de dotar as aeronaves, os aeródromos e os órgãos envolvidos de equipamentos específicos que proporcionem uma orientação precisa e segura às aeronaves numa aproximação de precisão com níveis meteorológicos reduzidos (BRASIL, 2013a – ICA 100-16). Conforme ilustrado na Figura 2, o sistema de ILS é composto por diferentes equipamentos eletrônicos, sendo principais: LOC (Localizador); GP (Superfície Eletrônica de Planeio); OM (Marcador Externo) e/ou DME (Equipamento Radiotelemétrico); e MM (Marcador Médio) e/ou DME.

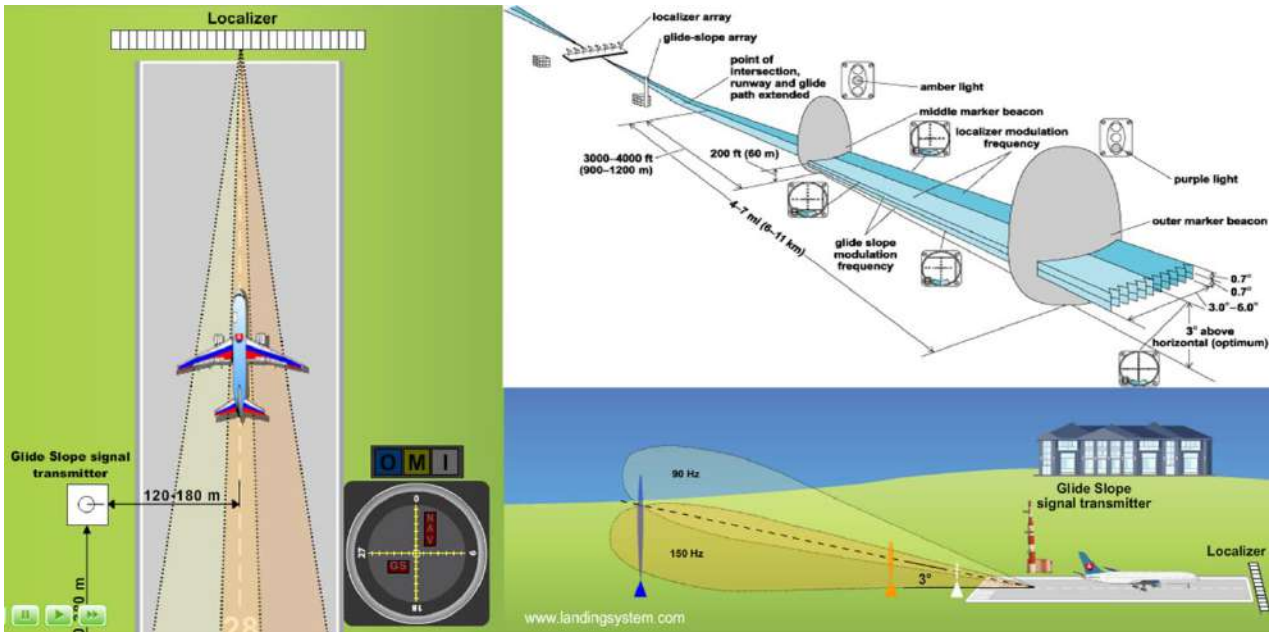


Figura 2 — Ilustração do sistema de aproximação e pouso por instrumentos – ILS
Fonte: Adaptado de Sulovsky (2017)

2.3.3 Capacidade

A capacidade declarada de um setor do espaço aéreo (ATC) é definida como o número de aeronaves dentro de uma porção específica do espaço aéreo, em um dado período de tempo, levando-se em conta as condições meteorológicas, a configuração do órgão ATC, o efetivo operacional e os equipamentos disponíveis, bem como quaisquer fatores que possam afetar a capacidade de trabalho do controlador responsável (BRASIL, 2014b).

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo adota dois métodos de cálculo de capacidade dos setores ATC. Um deles é empregado quando não se observa demanda significativa a ponto de comprometer as operações, e o outro, mais detalhado e denominado Capacidade de Setor ATC

Calculada, é aplicado quando se observa a tendência de congestionamento. Neste caso, é levado em consideração não só o tempo de permanência no setor, mas outros parâmetros como o tempo de comunicação com a aeronave e o tempo de atividade secundária do controlador. O NRef calculado a partir da equação (1) indica o número ótimo de aeronaves em controle simultâneo que um determinado setor ATC é capaz de manter por um período de tempo, sem que, em momento algum, ocorra uma sobrecarga de trabalho para o controlador de tráfego aéreo - ATCO.

$$N_{Ref} = \frac{T \times \alpha_n}{(TCom + TTS) \times 1{,}30} \quad (1)$$

Em que:
NRef - Capacidade de Setor ATC Calculada
T - Tempo médio de permanência da aeronave no setor (em segundos)
αn - Fator de convergência
TCom - Tempo médio de comunicação do ATCO (transmissão e recepção) com a aeronave (em segundos)
TTS - Tempo médio despendido pelo ATCO em tarefas secundárias (em segundos)
1,30 - Fator cognitivo

Em condições de meteorologia adversas que exigem a adoção de operação IFR, a tendência é de diminuição da capacidade de processamento de aeronaves, dado que, por razões de segurança, aumenta-se, conforme exemplificado na Tabela 2, o distanciamento ou a separação horizontal entre as aeronaves.

Tabela 2 — Separação horizontal mínima em operações VFR e IFR

Tipo de Aeronave	Separação mínima (nmi) em condições VFR			Separação mínima (nmi) em condições IFR		
	Pesada	Leve	Pequena	Pesada	Leve	Pequena
Grande	2.7	3.6	4.5	4.0	5.0	6.0
Média	1.9	1.9	2.7	3.0	3.0	4.0
Pequena	1.9	1.9	1.9	3.0	3.0	3.0

Fonte: Adaptado de Horonjeff e Mckelvey (1983)

2.3.4 Auxílios Visuais e Luminosos

2.3.4.1 Sistema de Luzes de Aproximação (ALS)

De acordo com o DECEA (2017 - CIRCEA 100-54) (BRASIL, 2017a), o sistema de luzes de aproximação é um conjunto de luzes dispostas em forma de barras, instaladas simetricamente

ao longo do prolongamento do eixo da pista. Ele é projetado para fornecer orientação quanto ao alinhamento, inclinação, atitude e altura da aeronave em relação à pista. Quando dotado de lampejos (FLASH), recebe a denominação de ALSF, sendo classificado como ALSF-1 ou ALSF-2, conforme a categoria de aproximação de precisão (CAT I ou CAT II, respectivamente). O sistema é classificado em função do seu tipo e comprimento total, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 — Classificação do ALS

Classe	Tipo	Comprimento
Completo (FALS)	ALSF-1, ALSF-2, SSALR, MALSR Intensidade média ou alta e/ou luzes estroboscópicas	≥ 720m
Intermediário (IALS)	MALSF, MALS, SSALF, SSALS, SALS/SALSF Intensidade média ou alta e/ou luzes estroboscópicas	420 – 719m
Básico (BALS)	ODALS Intensidade média ou alta e/ou luzes estroboscópicas	210 – 419m

Fonte: DECEA (2017 - CIRCEA 100-54) (BRASIL, 2017a).

Ainda de acordo com DECEA (op. cit.), um sistema de luzes com comprimento inferior a 210 metros é classificado como NALS (no ALS, do inglês *Approach Lighting System*), não sendo considerado um ALS. Por esse motivo, a sua instalação não possibilita a redução dos mínimos de visibilidade e RVR. Por outro lado, um ALS utilizado em conjunto com procedimentos IFR precisão deve possuir um comprimento mínimo de 720 metros, quando a rampa de planeio for ≥ 2,75º, e de 900 metros menor que 2,75º. Já um ALS utilizado em conjunto com procedimentos de aproximação de não precisão, como é o caso do Aeroporto Santos Dumont, deve possuir comprimento mínimo de 420 metros.

2.4 SISTEMAS DE PÁTIOS E PISTAS

As principais referências oficiais e regulamentadas no âmbito da Organização Internacional da Aviação Civil para sistemas de pátios e pistas são Anexo 16 (ICAO, 2009), DOC 9157 Partes 1 e 2 (2006).

No Brasil, os principais regulamentos aplicados a projetos, operações, manutenção e reposta a emergências de aeródromos são RBCA Nº 154/2012 e RBAC Nº 153/2016. O primeiro tem finalidade de estabelecer os requisitos mínimos para projeto de aeródromos, e o segundo, requisitos para operação e manutenção.

2.4.1 Configuração e Dimensionamento

Existem diferentes fatores que influenciam no dimensionamento dos sistemas pátios e de pistas, entre eles, características da aeronave que se pretende operar, peso máximo de pouso e decolagem, elevação do terreno em relação ao nível do mar, temperatura de referência, entre outros (ICAO, 2009; HORONJEFF e MCKELVEY, 1983).

No que se refere às pistas, existe uma variedade de configurações, mas, de uma forma geral, são adotadas combinações de quatro modelos básicas (ASHFORD e WRIGHT, 2011): a) pista única; b) pistas paralelas; c) pistas em V aberto; e d) pistas cruzadas. As distâncias mínimas entre pistas de pouso e decolagem paralelas, considerando o tipo de operação estabelecida pela RBAC 154 (ANAC, 2012), são: a) para pistas paralelas operando VFR simultaneamente, as distâncias mínimas entre seus eixos devem ser: (i) 210 m, o maior número de código for 3 ou 4; (ii) 150 m, o maior número de código for 2; e (iii) 120 m, o maior número de código for 1; b) para pistas paralelas operando IFR simultaneamente, a distância mínima entre seus eixos deve ser: (i) 1.035 m para aproximações paralelas independentes; (ii) 915 m para aproximações paralelas dependentes; (iii) 760 m para decolagens paralelas independentes; e (iv) 760 m para operações paralelas segregadas; c) Para operações paralelas segregadas, as distâncias mínimas anteriores podem ser reduzidas em 30 m para cada 150 m em que a aeronave se aproximar da pista, e o inverso, à medida que ela se distanciar**.**

O pouso ou a decolagem de aeronaves são, em circunstâncias normais, comprometidos quando o componente de vento de través exceder (ICAO, 2009; ANAC, 2012): a) 37 km/h (20 kt), no caso de aeronaves cujo comprimento básico de pista seja maior ou igual a 1.500 m, exceto quando houver baixa frenagem na pista devido a um coeficiente de atrito longitudinal insuficiente, que obrigará assumir 24 km/h (13 kt) como limite de vento de través; b) 24 km/h (13 kt), no caso de aeronaves cujo comprimento básico de pista seja maior ou igual a 1.200 m e menor que 1.500 m; e c) 19 km/h (10 kt), no caso de aeronaves cujo comprimento básico de pista seja menor que 1.200 m.

2.4.1.1 Definição do Comprimento

O Comprimento Básico de Pista (CBP) é definido como o comprimento mínimo de pista necessário para a decolagem da aeronave crítica (Tabela 4), considerado seu peso máximo de

decolagem certificado, ao nível do mar, em condições atmosféricas normais, com ventos e declividade nulos (ANAC, 2012). Assim, o comprimento o real da pista deve considerar o CBP, acrescido das correções relacionadas a temperatura, altitude, vento e declividades existentes. A temperatura padrão adotada ao nível do mar é de 15ºC, devendo ser realizadas as seguintes correções: 7% para cada 300 m acima do nível do mar; e 1% para cada º C da temperatura de referência acima da temperatura padrão (ALVES, 2014). A temperatura de referência do aeródromo é obtida pela média mensal das temperaturas máximas diárias para o mês mais quente do ano (sendo que o mês mais quente será o mês com maior temperatura mensal média), devendo ser calculada ao longo de um período de alguns anos (ANAC, 2012). A temperatura padrão (Tp) pode ser calculada em função da elevação do aeródromo (h) pela equação 2 (Alves, 2014):

$$Tp = 15 - 0{,}0065 \times h \qquad (2)$$

Quanto ao pátio, este tem a finalidade de prover área de estacionamento para as aeronaves com a finalidade de embarque e desembarque de passageiros, manutenção, abastecimento e correlatos. Ashford e Wright (2011) apontam quatro fatores principais relacionados ao dimensionamento de pátios: 1) a configuração do terminal; 2) as características operacionais das aeronaves que serão atendidas; 3) as características físicas das aeronaves, como dimensão, peso e altura; e 4) tipos e tamanhos de equipamentos de apoio de solo.

Tabela 4 — Código do Aeródromo e dimensões da pista

Elemento 1 do Código		Elemento 2 do Código		
Número do código	Comprimento básico de pista requerido pela aeronave	Letra do código	Envergadura	Distância entre as rodas externas do trem de pouso principal
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Inferior a 800m	A	Inferior a 15m	Inferior a 4,5m
2	De 800m a 1200m exclusive	B	De 15m a 24m	De 4,5m a 6m
3	De 1200m a 1800m exclusive	C	De 24m a 36m	De 6m a 9m
4	1800m e acima	D	De 36m a 52m	De 9m a 14m
		E	De 52m a 65m	De 9m a 14m
		F	De 65m a 80m	De 14m a 16m

Fonte: Anac (2012)

2.4.1.2 Drenagem

A drenagem nos pavimentos é fundamental para manter a segurança e o nível de serviço dos aeroportos. Um sistema de drenagem tem como finalidade remover a água superficial e subterrânea das pistas, minimizando os possíveis impactos ambientais gerados pelo escoamento das águas pluviais e também evitando a interrupção da operação durante ou após uma tempestade (HORONJEFF et al., 2010).

O acúmulo de água no pavimento pode interromper o tráfego, reduzir a resistência ao deslizamento, aumentar as chances de hidroplanagem, reduzir a visibilidade devido a respingos e gerar dificuldade em dirigir as aeronaves uma vez que as rodas se encontram em poças de água (FAA, 2013). Além de ser perigoso para o pouso e a decolagem de aeronaves, a ausência de drenagem (ou uma má drenagem) pode causar uma deterioração precoce da pavimentação (HORONJEFF et al., 2010).

O design do sistema de drenagem depende da frequência e da intensidade das tempestades locais e, também, da dispersão permitida de águas pluviais na superfície do pavimento. Sendo assim, o design desses sistemas pode variar de um aeroporto para outro de acordo com algumas características específicas, tais como: condições locais do solo e da topografia; tamanho da instalação física; a presença ou não de cobertura vegetal; e a presença antecipada ou ausência de estanque (FAA, 2013).

As informações sobre a geometria do pavimento, a drenagem superficial, a drenagem subterrânea não cultivada, o clima e as propriedades do solo são fundamentais no processo de desenvolvimento do sistema de drenagem, pois esses dados permitem determinar a quantidade de água que entrará na estrutura do pavimento, permitindo prever a superfície livre da água e estabelecer o teor de umidade de subtração do projeto (RIDGEWAY, 1982).

A implementação do sistema de drenagem é importante para evitar que o aeroporto obtenha pistas contaminadas por lâminas d'água. De acordo com a IAC 121-1011, uma pista contaminada consiste em uma pista na qual mais de 25 % da sua extensão (ou menos em caso de regiões fundamentais para a operação) está coberta com uma lâmina de água ou outro contaminante com mais de 3 mm de espessura (ANAC, 2005).

A lâmina d'água presente nas pistas representa um perigo às operações nos aeródromos, devido à hidroplanagem. Em caso de pistas contaminadas, alguns cuidados e medidas devem ser tomados para manter a segurança e evitar a interrupção da operação do aeroporto. Para isso, informações precisas e atualizadas sobre o tempo e as condições da pista são extremamente importantes para a realização de atividades nas pistas. Sendo assim, é importante que o operador

do aeródromo possua um procedimento para medir a espessura da lamina d'agua em períodos de chuvas e, caso constatada a contaminação da pista, deve-se disponibilizar esta informação ao órgão de Serviço de Tráfego Aéreo para o envio de alerta aos pilotos (ANAC, 2016).

No caso do processo de aterrissagem, o planejamento é iniciado antes mesmo da decolagem, de modo que os riscos sejam reduzidos. Deve-se evitar programar aeronaves com sistemas de travagem inoperantes para aterrissar em pistas contaminadas. Além disso, deve-se reduzir o peso extra. Também deve-se avaliar a influência das condições ambientais no desempenho da aeronave para que possam ser aplicadas margens de segurança adequadas ao desempenho de desembarque. Para a decolagem, o uso do impulso máximo em vez do impulso reduzido minimiza os riscos em uma pista contaminada (FLIGHT SAFETY FOUDATION, 2009).

2.4.2 Cálculo da Capacidade

Dentre os subsistemas, a maior restrição é oferecida pelo sistema de pistas, já que ele impõe um limite à expansão da capacidade. Por essa razão, torna-se imprescindível a identificação e a eliminação de fatores que afetam a segurança do fluxo máximo que por ele pode ser processado.

De acordo com a IATA (2004), dentre os fatores que afetam a capacidade de processamento de um sistema de pistas, por exemplo, estão as condições meteorológicas. Nesse sentido, a máxima capacidade de uma pista é determinada assumindo-se a existência de boas condições meteorológicas somadas às melhores práticas, às facilidades, aos equipamentos apropriados e ao *mix* de aeronaves de um típico dia movimento.

Para a definição de capacidade de um sistema de pistas, geralmente dada em taxa horária de operação (pousos, decolagens ou ambas), modelos de simulação podem ser adotados. O Total AirportSim, por exemplo, permite predições do impacto de movimento de aeronaves em diferentes subsistemas do aeroporto. O modelo ainda pode ser usado para identificar a natureza, a localização e o gradiente de um congestionamento, além de medir os atrasos (IATA, 2004).

Diana (2010) adotou um modelo estocástico de fronteira para estimar como pousos, decolagens e taxiamentos afetados por atrasos mudam a taxa de eficiência do sistema aeroportuário. Já Evans et al., (2014), descreveu e aplicou um modelo que simula mudanças na frequência de voos, tamanho da aeronave e malha de voos em reposta a restrições de capacidade de um aeroporto.

No Brasil, o DECEA (2015) (BRASIL, 2015c) define o método de avaliação da capacidade teórica de pista e a capacidade do sistema de pistas de um aeródromo, calculada para um intervalo de sessenta minutos, considerando o tempo médio de ocupação de pista, acrescido da separação

regulamentar entre aeronaves estabelecida em legislações, normas e procedimentos específicos aplicáveis às operações aéreas em dada localidade.

Para efeito de cálculo da Capacidade Teórica de Pista, DECEA (2015) (BRASIL, 2015c) estabelece: a) Distribuição das operações segundo as condições meteorológicas; b) Distribuição das operações por cabeceiras; c) *MIX* de aeronaves; d) Velocidade de aproximação; e) Comprimento dos diversos segmentos de aproximação; f) Separação mínima regulamentar de aeronaves; g) Tempos médios de ocupação de pista; h) Configuração das pistas de pouso e táxi; i) Probabilidade de interferência com aeródromos vizinhos; e j) Procedimentos de saída.

As aeronaves são classificadas conforme a velocidade de cruzamento da cabeceira da pista, como abaixo indicado, sendo o *mix* de operação destas considerado no cálculo da capacidade teórica da pista, conforme Equação 3 e exemplificado na Tabela 5.

- CAT "A" Velocidade menor que 90 KT;
- CAT "B" Velocidade entre 91/120KT;
- CAT "C" Velocidade entre 121/140KT;
- CAT "D" Velocidade entre 141/165KT; e
- CAT "E" Velocidade entre 166/210K.

$$CTP = P + D \tag{3}$$

Em que:
P - Determinação do número de pousos no intervalo de uma hora
D - Determinação do número de decolagens no intervalo de uma hora

Tabela 5 — Códigos das aeronaves e referência do aeródromo

Código OACI aeronave	Cód. de Ref. do Aeródromo	Fonte primária do Código de Referência
L410	1B	Doc 9981[1]
AT43, AT45	2C	RBAC nº 154 (Apêndice H), Doc 9981
E145, CRJ9	3B	Doc 9981
E190, E170, E120, B737, A318, AN72, AT72, F70, F100,	3C	Doc 9981 (4C quando for ERJ 190-200 IGW), RBAC nº 154 (Apêndice H), Fokker
IL76	3D	Ilyushin
A319, A320, A321, A32S, B722, B732, B733, B738, E195, MD83	4C	Doc 9981, RBAC nº 154 (Apêndice H), Embraer
B752, B762, B763, B764, A310, DC10, DC85, IL62, MD11	4D	RBAC nº 154 (Apêndice H), Boeing, Doc 9981

A330, A332, A343, A346 A359, B772, B773, B744, B77F, B788, B74F	4E	Airbus, Doc 9981, RBAC nº 154 (Apêndice H)
A380, B748	4F	Doc 9981

Fonte: Adaptado de Anac (2017)

Como pode ser verificado no Quadro 2, a capacidade de pousos e decolagens de um sistema de pistas é definida por diferentes fatores, entre eles: a quantidade de pistas, configuração, *mix* de aeronaves e padrão operacional, se VFR e IFR. Também é possível observar no mesmo quadro que a capacidade hora de uma pista única com o *mix* de 0 a 20 é reduzida de 98, quando em condições visuais, para 59, em condições não visuais (IFR).

Quadro 2 — Diferentes configurações de pistas e capacidades

Configuração	**Índice-Mix**	**VFR**	**IFR**	**Vol. Anual**
Pista única	0 a 20	98	59	230.000
	21 a 50	74	57	195.000
	51 a 80	63	56	205.000
	81 a 120	55	53	210.000
	121 a 130	51	50	240.000
Pista Parelela Separadas de 210 a 750 m	0 a 20	197	59	355.000
	21 a 50	145	57	375.000
	51 a 80	121	56	260.000
	81 a 120	105	59	285.000
	121 a 130	94	60	340.000
Pista Parelela Separadas de 750 a 1030 m	0 a 20	197	62	355.000
	21 a 50	149	63	285.000
	51 a 80	126	65	275.000
	81 a 120	105	70	300.000
	121 a 130	103	75	365.000
Pista Paralela Separadas de mais de 1030 m	0 a 20	197	119	370.000
	21 a 50	149	113	320.000
	51 a 80	126	111	305.000
	81 a 120	105	105	315.000
	121 a 130	103	99	370.000
Cruzadas	0 a 20	98	59	230.000
	21 a 50	77	57	200.000
	51 a 80	77	56	215.000
	81 a 120	76	59	225.000
	121 a 130	72	60	265.000
Em V aberto	0 a 20	150	59	270.000
	21 a 50	108	57	225.000
	51 a 80	85	56	220.000
	81 a 120	77	59	225.000
	121 a 130	73	60	265.000

Fonte: FAA (1983)

2.5 TERMINAL DE PASSAGEIROS

Segundo Ashford et al. (1984), o terminal de passageiros possui três principais funções: 1) processar passageiros e bagagens; 2) promover facilidades para o trânsito e acesso dos passageiros às aeronaves; 3) promover a integração entre as operações no lado ar e terra, incluindo acessos.

2.5.1 Configuração, Dimensionamento e Capacidade

Para Neufville e Odoni (2003), o terminal de passageiros serve a diferentes necessidades de diferentes tipos de usuários, incluindo passageiros, companhias aéreas e prestadores de serviços, de modo que sua eficiência dependerá da capacidade de atendimento desses diferentes demandantes. Em termos gerais, existem cinco configurações básicas de terminal de passageiros para aeroportos de maior porte (IATA, 2004): a) Pier/Pontes; b) linear; c) Open Apron; d) Satélite; e) Módulo compacto. Cada um desses modelos possui vantagens e desvantagens, sendo que o linear, comumente observado em aeroportos brasileiros, possui vantagens como menor distância entre *check-in*; fácil orientação ao passageiro; construção relativamente simples e com facilidade de expansão.

Dentre as facilidades que compõem o terminal de passageiros, permitindo melhor integração e fluxo entre o terminal e as aeronaves, encontram-se as pontes de embarque. Elas reduzem o tempo de embarque e desembarque, promovem segurança e proteção ao passageiro, incluindo contra fatores meteorológicos, e permitem o escape da aeronave em casos de emergência (IATA, 2004).

2.5.2 Nível de Serviços

O nível de serviços se refere à qualidade do serviço prestado em determinado contexto (NEUFVILLE e ODONI, 2003). Em se tratando de um terminal de passageiros, um dos itens considerados é o espaço disponível para determinada atividade. A IATA (2004) define sete níveis de qualidade de serviços, sendo: A – Excelente nível de serviços, com fluxo livre, conforto e sem atrasos significativos; B – alto nível de serviços, com fluxo estável, poucos atrasos e alto nível de conforto; C – bom nível de serviços, com fluxo estável, atrasos aceitáveis e bom nível de conforto; D – adequado nível de serviços, com fluxo instável, atrasos aceitáveis em curtos períodos e adequado nível de conforto; E – inadequado nível de serviços, com fluxo instável, atrasos não

aceitáveis e inadequado nível de conforto; F – Inadequado nível de serviços, com interrupção do fluxo, atrasos e interrupções inaceitáveis e nível de conforto inadequado.

2.5.3 Infraestrutura de Acesso

2.5.3.1 Lado ar

O acesso de passageiros pelo lado será, entre a aeronave e o terminal, realizado das seguintes formas: a) a pé, quando o aeroporto não dispõe de pontes de embarque ou ônibus, ou ainda quando a proximidade entre o terminal e a posição da aeronave dispensa veículo; b) ônibus, quando a aeronave estacionar em posição remota ou quando o aeroporto não dispõe de pontes de embarque; e c) ponte de embarque, quando o terminal dispõe dessa facilidade.

2.5.3.2 Lado terra

Pelo lado terra, o acesso ao aeroporto se dará por diferentes maneiras, seja via trilhos ou rodovias. No primeiro caso, tem-se metrô, trens e veículo leve sobre trilhos, como ocorre no Aeroporto Santos Dumont. No segundo caso, o acesso poderá ser por meio de transporte de massa, como ônibus e BRT, como ocorre no Aeroporto do Galeão, e individual, como táxi, veículos particulares e motocicleta.

2.6 AUXÍLIOS METEOROLÓGICOS

A redução dos mínimos meteorológicos para a operação de aeroportos aumenta a necessidade de informações precisas e atualizadas sobre as condições meteorológicas locais e ao longo das rotas aéreas, demandando o emprego de instrumentos e equipamentos de observações modernos, bem como de prognósticos meteorológicos cada vez mais assertivos (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005). No âmbito brasileiro, as atividades da Meteorologia Aeronáutica estão organizadas da seguinte forma:

- Rede de Estações Meteorológicas;
- Rede de Centros Meteorológicos;
- Bancos de Dados - Operacional (OPMET) e Climatológico (BDC);
- Sistema de divulgação de informações meteorológicas.

2.6.1 Rede de Estações Meteorológicas (REM)

Os sistemas de observação meteorológica aeronáutica têm por objetivo o fornecimento de dados de superfície e a coleta de dados de altitude e sinóticos que servem aos aeronavegantes e alimentam a matriz mundial de dados meteorológicos. Essa rede é constituída pela coleta de dados meteorológicos, seu processamento e sua difusão aos órgãos operacionais e climatológicos, com destaque para o monitoramento contínuo do meio atmosférico (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005).

2.6.1.1 Estações Meteorológicas de Superfície

2.6.1.1.1 Finalidade

As Estações Meteorológicas de Superfície (EMS) têm a finalidade de realizar observações meteorológicas na superfície para fins aeronáuticos e, quando previsto, sinóticos, registrar os dados das observações para fins climatológicos e confeccionar informes meteorológicos para divulgação das referidas observações (BRASIL, 2016d). As atribuições são comuns às estações (EMS-1, EMS-2 e EMS-3), com exceção da Classe 3, que deve realizar observações para fins sinóticos.

2.6.1.1.2 Classificação

As Estações Meteorológicas de Superfície são classificadas em:

a) Estação Meteorológica de Superfície Classe I (EMS-1);
b) Estação Meteorológica de Superfície Classe II (EMS-2);
c) Estação Meteorológica de Superfície Classe III (EMS-3); e
d) Estação Meteorológica de Superfície Automática (EMS-A).

Os critérios e as prioridades para implantação das EMS nos aeródromos encontram-se na ICA 63-18 (BRASIL, 2017b), que estabelece:

Classe 3 (EMS-3)

Deve ser implantada em aeródromos que operem por instrumentos (IFR) e prestem apenas o AFIS (Serviços de Informações de Voo de Aeródromo), de acordo com a seguintes prioridades:

a) Aeródromo com maior movimento IFR total anual; ou

b) Aeródromo de interesse estratégico definido pelo DECEA.

Componentes

a) Anemômetro: fornece a direção e a velocidade (média e máxima) do vento no aeródromo;
b) Sensores de temperatura do ar e de umidade relativa: fornecem a temperatura do ar e a umidade relativa no aeródromo; e
c) Barômetro: fornece a pressão atmosférica, informando valores de QNH (Pressão atmosférica para o ajuste do altímetro), QFF (Pressão atmosférica ao nível médio do mar) e QFE (Pressão atmosférica ao nível da Estação), sendo localizado no sítio meteorológico principal.

Classe 2 (EMS-2)

Deve ser implantada em aeródromos dotados de órgão ATC (Serviço de Controle de Tráfego Aéreo) que operem IFR, sem aproximação de precisão, ou conforme Interesse estratégico do DECEA, considerando as seguintes prioridades, que serão aplicadas na ordem abaixo:

a) Aeródromo com maior movimento IFR total anual;
b) Aeródromo com maior frequência de ocorrência de teto e visibilidade com valores abaixo dos mínimos operacionais; ou
c) Aeródromo de interesse estratégico definido pelo DECEA.

Componentes

a) Anemômetro: fornece a direção e velocidade (média e máxima) do vento nas zonas de ponto de toque da(s) pista(s); e
b) Tetômetro: fornece a altura da base das nuvens, referente ao sítio meteorológico principal (Figura 3).

Performance	
Measurement range	0 ... 25,000 ft. (7.6 km)
Reporting cycle	programmable, 2 ... 120 s
Reporting resolution	5 m/10 ft., units selectable
Distance measurement accuracy against hard target	greater of ±1 % or ±5 m
Laser	InGaAs diode, 910 mm
Eye safety	Class 1M IEC/EN60825-1

Data Messages
Cloud hits (up to 3 layers) and status information
Cloud hits, status and backscatter profile
Cloud hits and internal monitoring data
Emulation of CT12K, CT25K, LD-25/40
Sky Condition (optional)

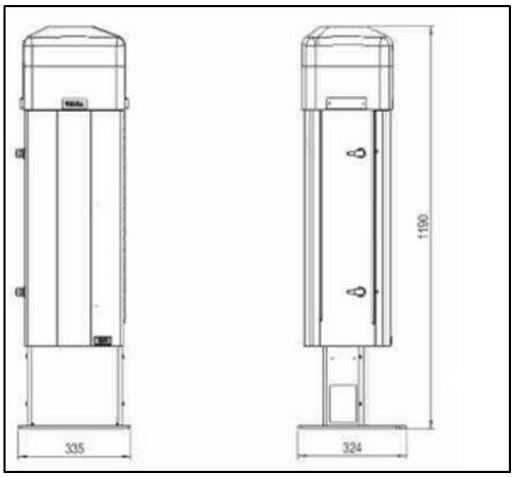


Figura 3 — Tetômetro
Fonte: Vaisala (2015). *Ceilometer* CL31 mede a altura da base da nuvem e a visibilidade vertical em todas as condições meteorológicas — boas ou ruins.

c) Sensores de temperatura do ar e de umidade relativa: fornecem a temperatura do ar e a umidade relativa, referentes ao sítio meteorológico principal;
d) Barômetro: fornece a pressão atmosférica, informando valores de QNH, QFF e QFE, sendo localizado no sítio meteorológico principal; e
e) Pluviômetro: fornece a quantidade de precipitação pluviométrica, referente ao sítio meteorológico principal.

CLASSE 1 (EMS-1)

Deve ser implantada em aeródromos que operem IFR, com aproximação de precisão, ou conforme interesse estratégico do DECEA, considerando as seguintes prioridades:

a) Aeródromo que opere ILS categoria III B;
b) Aeródromo que opere ILS categoria III A;
c) Aeródromo que opere ILS categoria II;
d) Aeródromo que opere ILS categoria I;
e) Aeródromo com maior frequência de ocorrência de teto e visibilidade com valores abaixo dos mínimos operacionais; ou
f) Aeródromo de interesse estratégico definido pelo DECEA.

Componentes

a) Anemômetro: fornece a direção e a velocidade (média e máxima) do vento nas zonas de ponto de toque da(s) pista(s);

b) Transmissômetro: fornece os valores de alcance visual na pista (rvr) ao longo da(s) pista(s).

O modelo fabricado pela Vaisala (2010), Figura 4, fornece relatórios e avaliações automatizados sobre o alcance visual da pista. Ele oferece uma estimativa calculada da distância de visão da pista que o piloto possui. Segundo a fabricante, as condições meteorológicas, como nevoeiro, chuva, neve, etc., têm maior impacto no RVR, mas os níveis de luz ambiente e as configurações de luz da pista também são uma parte importante da equação. Por isso justa a faixa visual de medições meteorológicas, a luminância de fundo e a luz de pista e calcula o alcance visual da pista, conforme Anexo 3 da ICAO.

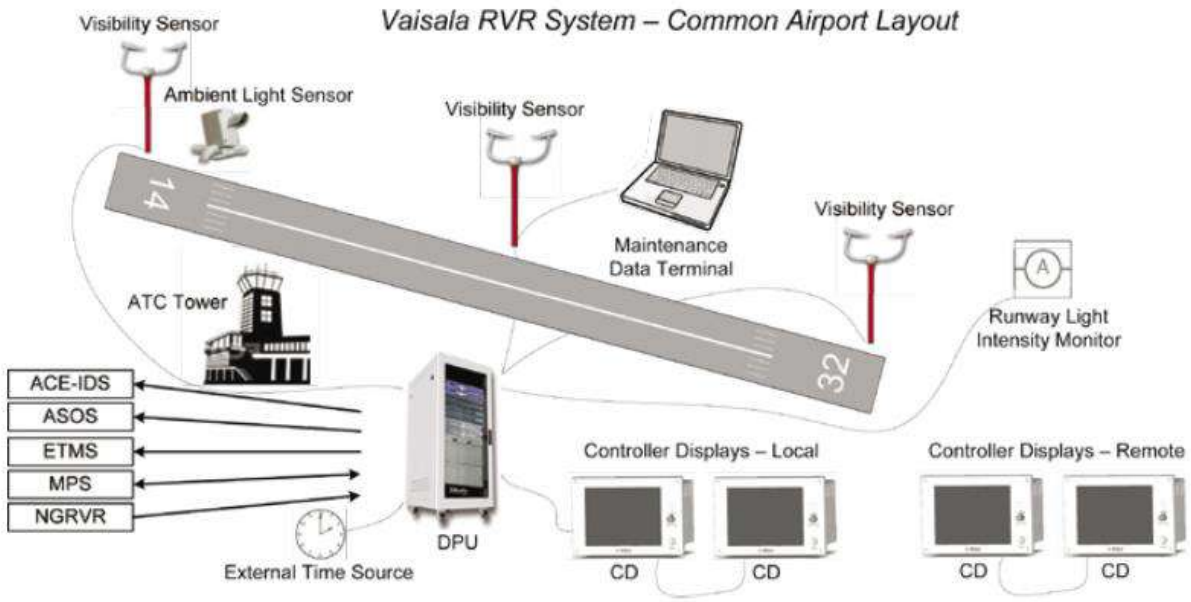


Figura 4 — Exemplo de EMS
Fonte: Vaisala (2009)

c) Tetômetro: fornece a altura da base das nuvens, referente ao sítio do marcador médio;
d) Sensores de temperatura do ar e de umidade relativa: fornecem a temperatura do ar e a umidade relativa, referentes ao sítio meteorológico principal;
e) Barômetro: fornece a pressão atmosférica, informando valores de QNH, QFF e QFE, sendo localizado no sítio meteorológico principal; e
f) Pluviômetro: fornece a quantidade de precipitação pluviométrica, referente ao sítio meteorológico principal.

2.6.1.2 Estações Meteorológicas de Altitude

Essas estações destinam-se a observar e a traçar o perfil vertical de temperatura, pressão, umidade, direção e velocidade do vento nas diversas camadas da atmosfera. As sondagens são

realizadas por meio de um balão contendo gás hidrogênio, dotado de sonda com sensores e sistema GPS para precisão de dados de vento em altitude. As informações são coletadas, codificadas na mensagem TEMP e transmitidas para uso (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005).

Segundo a ICA 105-15 (BRASIL, 2016d), as EMAs deverão ser implantadas pelo menos a cada 250 km, em áreas terrestres. As prioridades serão as localidades onde se efetuam operações especiais (ex.: Centro de Lançamento da Barreira do Inferno – CLBI, Centro de Lançamento de Alcântara – CLA etc.) que requeiram informações dos diversos níveis da atmosfera ou localidades de interesse estratégico definido pelo DECEA.

2.6.1.3 Estações de Radar Meteorológico (ERM)

Essas estações visam a complementar a vigilância meteorológica em áreas de grande densidade de tráfego aéreo e onde ocorram condições meteorológicas adversas às operações aéreas, conforme exemplificado pela Figura 5. São responsáveis pela detecção, análise e exposição dos fenômenos meteorológicos em tempo real e previsões de curto prazo, que, por serem georeferenciados, facilitam seu uso nas operações aéreas. As estações são operadas pelos Centros Meteorológicos de Vigilância (CMV) e seus produtos disseminados à Rede de Centros Meteorológicos (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005).

Segundo a ICA 105-15 (BRASIL, 2016d), uma Estação de Radar Meteorológico (ERM) será implantada sempre que houver ocorrência de movimento anual de aeronaves significativa associada com a ocorrência constante de condição meteorológica adversa, sendo de responsabilidade do Departamento a avaliação. As prioridades para implantação são áreas de grande densidade de tráfego aéreo sujeitas a frequentes ocorrências de tempo severo ou áreas de interesse estratégico.

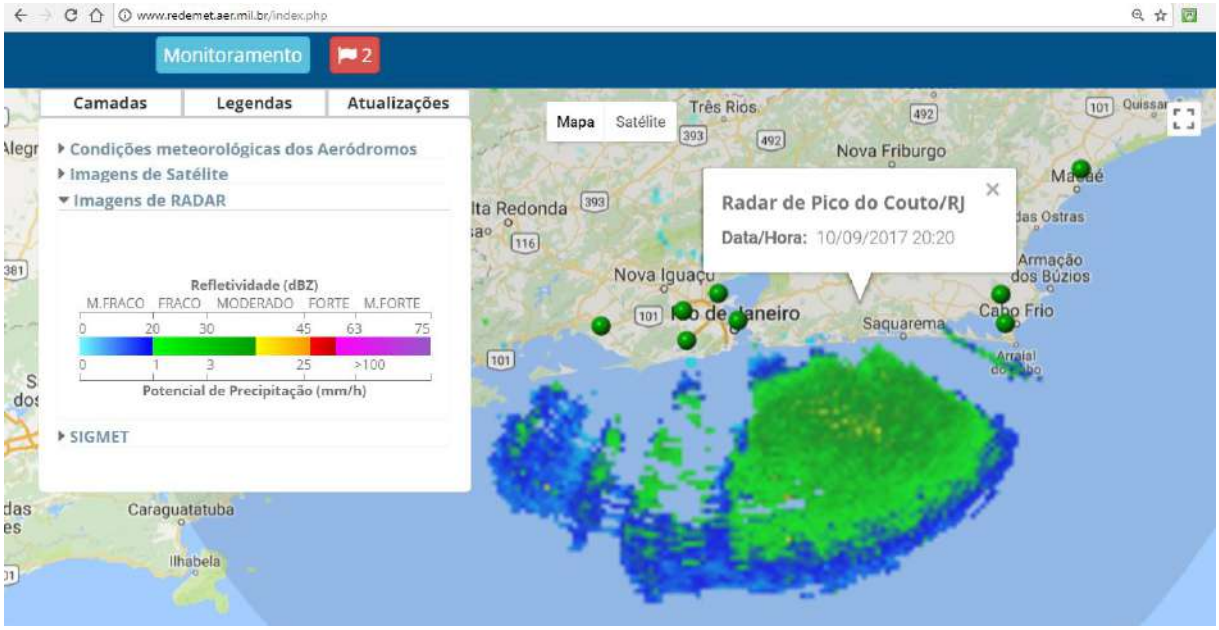


Figura 5 — Exemplo imagem de radar Pico do Couto (10/09/17)
Fonte: REDEMET (2017)

2.6.2 Rede de Centros Meteorológicos

A organização e a operação dos Centros Meteorológicos do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) estão definidas na ICA 105-17 (BRASIL, 2017c). A rede opera incorporando todos os dados observacionais e prognosticados nos diferentes meios e tem por objetivo elaborar e fornecer informações meteorológicas, visando ao apoio à navegação aérea, de acordo com as atribuições específicas de cada Centro.

A estrutura da rede de Centros Meteorológicos compreende os seguintes órgãos:

a) Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica (CNMA);
b) Centros Meteorológicos de Vigilância (CMV);
c) Centros Meteorológicos de Aeródromo (CMA); e
d) Centros Meteorológicos Militares (CMM).

O CNMA, localizado no CINDACTA I em Brasília-DF, tem suas atribuições prioritariamente direcionadas a fenômenos meteorológicos em escala sinótica. Ele é o órgão central da meteorologia aeronáutica no SISCEAB e integra o Sistema Mundial de Previsão de Área (WAFS). É responsável pela divulgação dos dados globais de tempo significativo e os prognósticos de vento e temperatura em altitude. É de sua competência a manutenção e a operação do Banco OPMET e da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET) (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005; BRASIL, 2016b).

O Centro Meteorológico de Vigilância (CMV) tem a finalidade de monitorar as condições do tempo e de elaborar previsões meteorológicas para a sua área de responsabilidade, que corresponde a uma ou mais FIR (ou setores de FIR), visando a apoiar os Órgãos ATS e as aeronaves que voam no respectivo espaço aéreo (BRASIL, 2016b). Os CMV mantêm a vigilância meteorológica, confeccionam e divulgam mensagens de tempo significativo em rota (SIGMET e AIRMET), operam remotamente os radares meteorológicos e prestam o Serviço VOLMET (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005).

Os Centro Meteorológico de Aeródromo (CMA), prestam apoio meteorológico à navegação aérea nos aeródromos e são classificados em CMA-1, CMA-2 e CMA-3, conforme o tipo de serviço prestado (DECEA, 2016b). Esses centros têm a finalidade de apoiar as operações aéreas, os serviços de tráfego aéreo nos aeródromos e difundir as informações meteorológicas e as previsões dos CNMA e CMV (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005). Eles fornecem documentação de voo às tripulações e aos despachantes operacionais, proporcionam exposições orais e fornecem aos órgãos locais de tráfego aéreo informações meteorológicas, observadas ou prognosticadas, que possam contribuir para a segurança do aeródromo e das aeronaves estacionadas (HENRIQUES e MATSCHINSKE, op. cit.).

Os CMA-1 estão localizados nos principais aeroportos internacionais, apoiando as operações aéreas no aeródromo, elaborando e divulgando previsões, e mantendo vigilância meteorológica dos aeródromos sob sua responsabilidade (BRASIL, 2016b). Entre suas atribuições estão:

a) Previsão de Área para Voos em Níveis Baixos;
b) Previsão de Aeródromo (TAF);
c) Previsão de condições em rota relativa aos voos;
d) Previsão para Decolagem; e
e) Avisos de Aeródromo e de Cortante do Vento relativos aos aeródromos sob sua responsabilidade.

Os CMA-2 têm a finalidade de apoiar as operações aéreas no aeródromo associado, prestar *briefing* meteorológico e fornecer documentação de voo e informações meteorológicas aos aeronavegantes e usuários (BRASIL, 2016b). Entre suas atribuições estão:

a) Prestar *briefing* meteorológico, atendimento e documentação de voo aos aeronavegantes e usuários;
b) Proporcionar exposição visual das informações e outras informações meteorológicas, quando necessárias, sempre atualizadas;

c) Fornecer informações meteorológicas ao APP e à TWR associados ao Centro; e
d) Manter intercâmbio de informações meteorológicas com outros Centros.

Os CMA-3 têm a finalidade de apoiar as operações aéreas no aeródromo associado e fornecer informações meteorológicas aos aeronavegantes e usuários (BRASIL, 2016b). Entre suas atribuições estão:

a) Realizar atendimento aos aeronavegantes e usuários;
b) Manter intercâmbio de informações meteorológicas com outros Centros Meteorológicos e Órgãos ATS locais; e
c) Apoiar Órgãos SAR, quando necessário;

Os Centros Meteorológicos Militares (CMM), localizados nas Bases Aéreas, prestam apoio específico à Aviação Militar.

2.6.3 Banco de Dados Operacional (OPMET) e Climatológico (BDC)

O Serviço de Meteorologia Aeronáutica opera duas bases de dados. Uma delas é o Banco Internacional de Dados Operacionais de Meteorologia (Banco OPMET), utilizado para recepção automática, seleção, armazenamento e retransmissão automática de informações meteorológicas para endereços predeterminados (BRASIL, 2016b). Esse banco visa a atender às necessidades imediatas da navegação aérea através do fornecimento de boletins meteorológicos rotineiros (METAR, TAF, SPECI, SIGMET), nacionais e internacionais (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005). A outra base de dados, o Banco de Dados Climatológicos (BDC), é o conjunto de dados digitados referentes aos registros das observações meteorológicas realizadas nas Estações Meteorológicas de Superfície e Altitude, operadas no âmbito do SISCEAB.[1] Destina-se a prover os sumários climatológicos dos diversos aeródromos do país e a manter uma base estatística de dados climatológicos aplicáveis à aviação e ao planejamento estratégico, técnico e operacional (HENRIQUES e MATSCHINSKE, op. cit.).

2.6.4 Sistema de Divulgação de Informações Meteorológicas

As informações Meteorológicas são divulgadas pela Rede de Telecomunicações Fixas Aeronáuticas (AFTN) e pelo site da REDEMET (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005).[2] O

[1] Disponível em: http://clima.icea.gov.br/clima/.
[2] Disponível em: http://www.redemet.aer.mil.br.

REDEMET é o Portal de Meteorologia Aeronáutica do COMAER, na Internet e na Intranet, que disponibiliza dados meteorológicos de superfície e de altitude, observados e previstos, recebidos da rede de Estações e de Centros Meteorológicos do SISCEAB e do Sistema Mundial de Previsão de Área (BRASIL, 2016b). Além disso, o REDEMET, permite a consulta de informações meteorológicas no Banco OPMET e disponibiliza produtos gerados pela rede de Centros, radares e satélites meteorológicos.

3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS ADVERSAS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O TRANSPORTE AÉREO

A meteorologia (ou tempo) é definida como o estado atmosférico em um dado tempo e espaço, sendo os aspectos mais comumente observados: temperatura, chuvas, nuvens, ventos e, quando em condições extremas, tempestades, inundações, furacões, tornados, névoas e secas (EPA, 2015; WMO, 2011). Clima, por sua vez, é definido pelo tipo, frequência, média, duração e intensidade desses eventos (op. cit). Assim, em outros termos, clima pode ser definido como a média das observações meteorológicas (ABRÃO JUNIOR e RIBEIRO, 2015). Com base nessas definições, verifica-se que mudanças climáticas e meteorologia estão interconectadas, de modo que as observações podem mostrar se houve mudanças meteorológicas, e são as estatísticas dessas mudanças ao longo do tempo que identificam as mudanças climáticas (IPCC, 2014).

3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

De acordo com Noble et al. (2014), o conjunto de evidências sobre os impactos recentes observados das mudanças climáticas demonstram um crescente avanço sobre a cobertura terrestre e seus vários subsistemas, incluindo meios de subsistência dos seres humanos e sistemas construídos. Essas mudanças estão alterando os sistemas ecológicos, a biodiversidade, os recursos naturais e os benefícios derivados dos serviços ecossistêmicos (CRAMER et al., 2014)

Com relação ao meio antrópico, eventos climáticos extremos resultam em impactos econômicos relacionados a danos aos bens privados e públicos, bem como a interrupção temporária de atividades econômicas e sociais, impactos de longo prazo e impactos além das áreas afetadas (NOBLE et al., 2014).

No caso brasileiro, as projeções apontam para a maior ocorrência de extremos climáticos tais como secas, veranicos, vendavais, tempestades severas, inundações, dentre outros, com alta

probabilidade de aumento, em um planeta mais aquecido (VINCENT et al., 2005; MARENGO et al., 2009; PBMC, 2014)

Segundo o IPCC (2014), o aumento do nível do mar, tempestades e inundações se tornarão cada vez mais relevantes em diferentes regiões costeiras. De acordo com Koetse (2009), estudos apontam que o aumento do nível do mar trará impactos substanciais aos sistemas de transportes em regiões brasileiras. Como identificado na Figura 6, os aeroportos do Galeão e Santos Dumont estão localizados em regiões costeiras, onde as projeções de IPPCC (2014) indicam impactos decorrentes da elevação do nível do mar. Alterações na dinâmica de ventos, precipitação e temperatura, poderão acarretar transtornos importantes (TRB, 2014). Por exemplo, a temperatura e a elevação de um aeroporto influenciam o peso máximo de decolagem de uma aeronave. Assim, para um dado comprimento de pista, elevação do aeroporto e o modelo de aeronave, há uma temperatura limite acima da qual a aeronave não pode decolar com seu peso máximo (COFFEL e HORTON, 2015). Nesse sentido, recentes extremos climáticos têm despertado alguns aeroportos para a necessidade de se planejar ações de adaptação da infraestrutura e das operações às futuras condições climáticas e aos riscos meteorológicos associados (TRB, 2014).

Com relação à região costeira brasileira, em especial a sudeste, poderão ocorrer impactos significativos com as mudanças climáticas, conforme exemplificado na Figura 6 (IPPC, 2014). Com isso, os padrões de temperatura e chuvas serão alterados e, mesmo onde não houver alteração do total anual, deverão ocorrer intensificações de eventos severos, principalmente chuvas (PBMC, 2016).

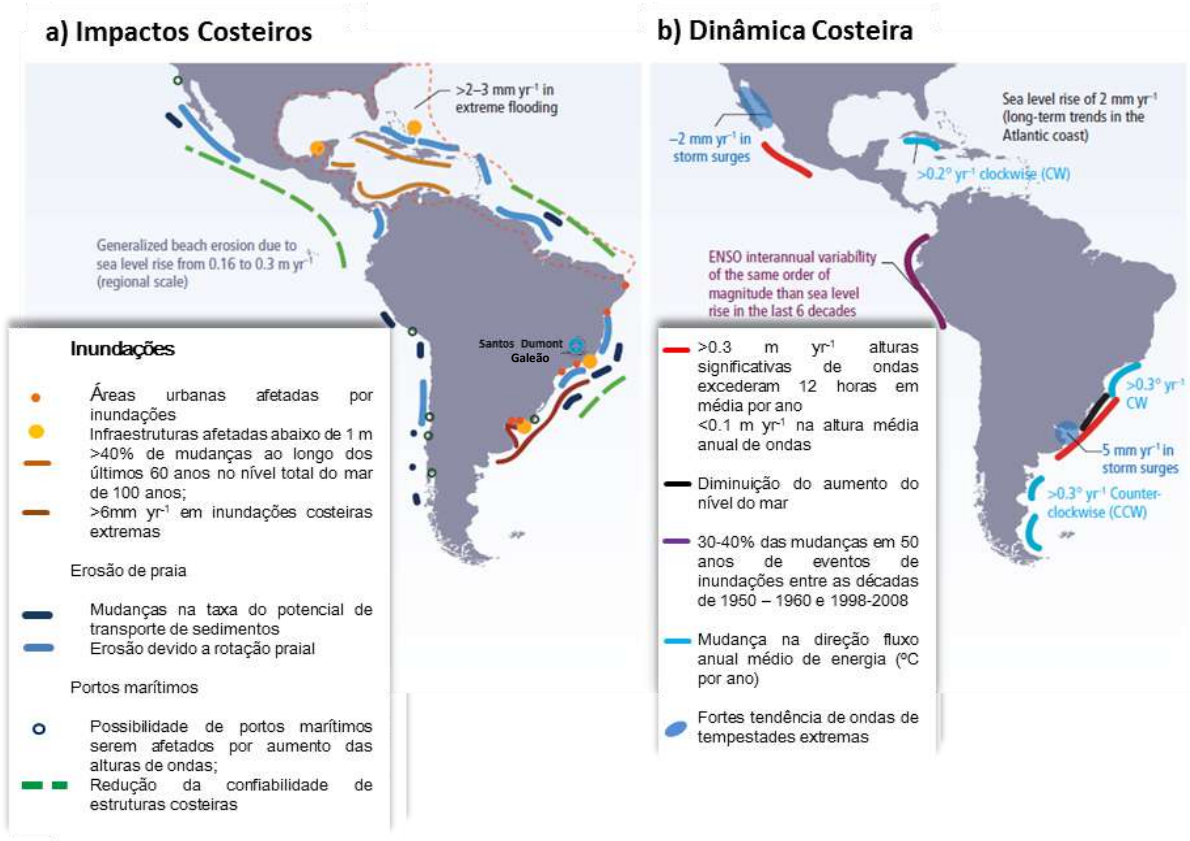


Figura 6 — Projeções dos impactos climáticos para américa latina
Fonte: Adaptado de IPCC (2014) por Abrão Junior e Ribeiro (2015)

Algumas medidas específicas podem ser adotadas a fim de promover uma maior resiliência dos sistemas da aviação às condições meteorológicas. A Tabela 6 relaciona o evento, impacto e a medida possível.

Tabela 6 — Eventos extremos, seus impactos e medidas de adaptação

Eventos	Impacto	Medidas
Condições meteorológicas adversas (tempestades, CBs, etc.)	• Desvios de rotas de aeronaves, atrasos e fechamento de aeroportos. • Perda de negócios no transporte de cargas pela impossibilidade de decolagem da aeronave.	• Confecção de novas rotas e adoção de sistemas preditivos.
Altas temperaturas e ondas de calor	• Danos superficiais e profundos ao pavimento de pistas. • Alteração da aderência dos pneus da aeronave a pista; • Redução da vida útil do pavimento.	• Sistema de resfriamento; • Emprego de materiais mais resistentes a altas temperaturas. • Desenvolvimento de pneus com melhor desempenho. • Restrições do peso permitido para uso do sistema de pistas.

	• Aumentos de objetos estranhos na pista decorrentes da degradação dos pneus. • Aumento da demanda por energia e água, e consequente aumento das despesas. • Redução da vida útil do sistema de ar condicionado por maior uso. • Extrapolação do ponto de fulgor dos combustíveis e possibilidade de ignição.	• Manutenção preventiva e corretiva. • Reposição de juntas de dilatação. • Modificação da infraestrutura quando necessário. • Adoção de utilidades fixas para fornecimento de ar condicionado para aeronaves. • Adoção de procedimentos específicos.
	• Redução do desempenho da aeronave. • Demanda por mais pista para fins de decolagem e maior habilidade para subida. • Maior uso de motores e consequente aumento do consumo de combustível e de emissões.	• Alternar o aeroporto ou a rota. • Desenvolver soluções de engenharia. • Aumentar a extensão da pista.
Precipitações extremas	• Transbordamento de água e alagamento de áreas operacionais por incapacidade de absorção do sistema de drenagem. • Danos no sistema de pistas e outras infraestruturas. • Dificuldades de acesso de passageiros e empregados ao aeroporto. • Aumento do potencial de contaminação ambiental pelo arraste de contaminantes (oleosos, por exemplo).	• Implantação de sistema de drenagem mais robustos ou adoção de alternativas de escoamento. • Proteção de estruturas vulneráveis; • Melhor ocupação do solo aeroportuário. • Desenvolvimento de projetos de engenharia mais resilientes. • Adoção de sistemas de contenção de efluentes oleosos.
	• Atrasos de voos.	• Realocação de passageiros. • Readequação da malha.
Eventos convectivos	• Interrupção parcial ou total das operações. • Aumento de atrasos e mudanças nas altitudes de voo para evitar turbulência.	• Melhora do sistema preditivo e de alerta. • Revisão dos sistemas de gerenciamento da aeronave.

	• Destruição ou desativação dos instrumentos de navegação.	
Descargas atmosféricas	• Alteração no sistema de controle da aeronave. • Necessidade de mudança de rota.	• Investimento em novas tecnologias de segurança. Criação de rotas alternativas às áreas com maior incidência de descargas.
Tempestades de baixa pressão e ventos velozes	• Redução do fluxo do tráfego aéreo. • Aumento de separação de aeronaves.	• Adoção de rotas alternativas e investimento em sistemas de monitoramento.
Nevoeiros	• Atrasos decorrentes da má visibilidade. • Restrições dos serviços de manutenção no lado operacional.	• Uso de instrumentos de navegação. • Alteração na distância de separação das aeronaves.
Seca	• Em combinação com o aumento de temperatura, ondas de calor. • Possibilidade de restrição do abastecimento de água. • Redução da velocidade de operações da aeronave.	• Incluir esse tipo de condição no sistema de planejamento das operações, adotando procedimento preventivos. • Reservação de água. • Uso de fontes alternativas de abastecimento.

Fonte: Adaptado de Defra (2012), IATA (2014) e Abrão Junior (2014)

3.2 PARÂMETROS E FENÔMENOS METEOROLÓGICOS E CLIMÁTICOS DE INTERESSE PARA A AVIAÇÃO

São exemplos desses fenômenos: correntes convectivas, nevascas, tempestades com raios, áreas de instabilidade com severas turbulências, grandes precipitações, ventanias, ventos de baixa altitude, tornados e outros (ABRÃO JUNIOR, 2014).

3.2.1 Teto

De acordo com o DECEA (2017 - AIC 15) (BRASIL, 2017a), os primeiros estudos para a não utilização do teto como indicador para operação por instrumentos (IFR) teve início em 1966 através do OCP (i.e., *Obstacle Clearance Panel*), atual IFPP (i.e., *Instrument Flight Procedures Panel*). Os resultados do painel foram incorporados ao Doc 8168 PANS OPS/611, por meio da emenda 13, em 1979. A partir de então, as informações de teto reportadas aos pilotos nas operações de decolagem e pousos IFR não são consideradas representativas para a avaliação das condições

de visualização durante as fases iniciais de uma decolagem ou finais de uma aproximação e pouso, especialmente em condições meteorológicas dinâmicas.

3.2.2 Tempestades e Intensa Precipitação

Segundo a World Meteorological Organization (WMO, 2017), a precipitação consiste na queda de um conjunto de partículas, podendo apresentar diferentes formas, tais como chuva, chuvisco, neve, grãos de neve, grânulos de neve, entre outros. Dependendo da forma, pode ocorrer redução da visibilidade, formação de gelo, ingestão de água pela turbina e comprometimento do seu desempenho, limitações de pouso e decolagem (MOSCATI, 2005). Por esses e outros motivos, a precipitação tem profundo impacto na segurança do voo (FAA, 2008).

Além disso, as pistas de pouso e decolagem e vias de acesso ao aeroporto podem sofrer danos estruturais, alagamentos e redução de suas capacidades. Com a precipitação intensa também podem ocorrer transbordamento de galerias e outros sistemas de drenagens projetados para vazões menores, aumentando o risco de alagamentos. De modo semelhante, tempestades extremas também podem causar alagamentos, bem como danos aos sistemas de sinalização e desgastes na infraestrutura.

Janic (2000), por sua vez, aponta que tempestades com raios e sistemas frontais podem causar perturbações nos padrões de ventos, neblina e nuvens que podem afetar a segurança em todos os estágios do voo. Em particular, fortes variações de ventos que, quando ocorridas nas proximidades de aeroportos, trazem riscos à aeronave em razão da abrupta mudança na velocidade e direção (*windshear*), as quais podem gerar instabilidade e perda de altitude da aeronave.

3.2.3 Chuva Leve, Moderada e Forte

As chuvas podem ser classificadas de acordo com as suas intensidades, podendo ser fracas, moderadas e fortes. Caracterizam-se como chuva fraca precipitações menores do que 5 mm/h, enquanto chuva moderada e forte consistem em precipitação com intensidades entre 5 e 25mm/h e maiores de 25mm/h, respectivamente (PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, 2017).

3.2.4 Pancada de Chuva

As pancadas de chuva são precipitações intensas produzidas por nuvens convectivas. Este tipo fenômeno é caracterizado por início e término súbito, variações bruscas da intensidade e, em geral, as gotas e partículas sólidas resultantes das pancadas de chuva são maiores do que aquelas de precipitações que não são do tipo pancada (BRASIL, 2017a).

3.2.5 Rajada

Considerado como um dos fenômenos meteorológicos que mais causa destruição, a rajada consiste no aumento repentino da velocidade do vento em um curto período de tempo, causado pela turbulência (INMET, 2010). Geralmente, a velocidade do vento torna-se extremamente variável. Além disso, esse fenômeno é usualmente associado a um salto de pressão, queda de temperatura e, às vezes, fortes precipitações (WMO, 2017).

Por serem geralmente muito turbulentas, as rajadas podem gerar graves riscos às aeronaves durante os processos de decolagem e de aproximação. Além disso, este fenômeno pode encobrir o aumento anormal da velocidade, fazendo com que, em casos extremos, o tempo para responder a ocorrência de mudança rápida na direção ou na velocidade do vento seja de cinco segundos (ABAG, 2014).

3.2.6 Nevoeiro

O nevoeiro é uma das principais causas da redução da visibilidade horizontal no Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Como resultado, esse fenômeno restringe as decolagens e os pousos das aeronaves, afetando a segurança das aeronaves e criando uma condição de risco (FRANÇA, 2008).

O nevoeiro é um fenômeno atmosférico que consiste na condensação de vapor d’água nas baixas camadas da atmosfera, caracterizando-se por reduzir a visibilidade horizontal. Por isso, o nevoeiro pode ser formado a partir de dois processos: resfriamento e aumento da evaporação. Nesse fenômeno, a umidade relativa situa-se entre 97% e 100%, e o nevoeiro pode ser considerado forte ou fraco. O nevoeiro é classificado como forte quando a visibilidade atinge até 100 metros de distância do observador, mas fraco quando os objetos podem ser avistados a uma distância entre 100 metros e 1 quilômetro (MARINHA DO BRASIL, 2015).

De acordo com o DECEA (2017) (BRASIL, 2017a), esteja depositando escarcha ou não, todo nevoeiro constituído predominantemente por gotas d'água a temperaturas abaixo de 0ºC é considerado como nevoeiro congelante.

3.2.7 Névoa Seca

A névoa seca é uma grande concentração de partículas sólidas microscópicas em suspensão no ar atmosférico que provoca restrição à visibilidade. Considera-se que há névoa seca quando a concentração de partículas sólidas (e.g., poeira, sais, fumaça, etc.) está situada abaixo do nível de condensação das nuvens mais baixas. Esse fenômeno pode apresentar diversas cores, de acordo com a paisagem associada. Além disso, a umidade relativa é inferior a 80% e sua visibilidade varia de 1 a 5 quilômetros (MARINHA DO BRASIL, 2015).

3.2.8 Névoa Úmida

Com a aparência de um nevoeiro fraco, a névoa úmida é formada quando o vapor de água presente na atmosfera condensa em torno de matérias sólidas (e.g., poluentes) em suspensão. Tecnicamente, considera-se que ocorre névoa úmida quando a umidade da névoa é superior a 80%, a visibilidade horizontal varia entre 1 e 2 quilômetros e a cor é acinzentada (MARINHA DO BRASIL, 2015).

3.2.9 Baixa Visibilidade

A visibilidade, para fins aeronáuticos, é definida como a maior distância em que um objeto de dimensões apropriadas pode ser visto e identificado, quando observado de encontro a um fundo brilhante; ou a maior distância em que luzes na vizinhança podem ser vistas e identificadas, quando observadas de encontro a um fundo escurecido (BRASIL, 2014c – Port. 17/SDOP/14). A baixa visibilidade refere-se à limitação do gradiente de visualização horizontal de objetos a olho nu (FAA, 2008). Ela pode ser ocasionada, entre outros fenômenos, por uma intensa precipitação. Essa condição oferece risco às operações aéreas, principalmente para aeronaves que não dispõem de sistemas de navegação por instrumentos. Consequentemente, há riscos de colisões e limitação das operações.

3.2.10 Temperaturas Extremas

Em baixas temperaturas, é necessário verificar a operacionalidade de sistemas eletroeletrônicos, os motores e as condições de viscosidade de fluidos hidráulicos, lubrificantes e combustível. Isso decorre de possível interferência e inoperância desses componentes em condições de baixa temperatura. Em outra direção, as altas temperaturas exigem o funcionamento adequado dos sistemas de refrigeração da aeronave, bem como dos equipamentos e componentes eletroeletrônicos (MOSCATI, 2005). Abrão Junior (2014) relata que aeroportos que experimentam dias consecutivos de intenso calor podem sofrer com limitações no abastecimento de água, trazendo riscos à segurança operacional (como armazenamento mínimo requerido para combate a incêndios) ou inoperância de sistemas, como de ar condicionado, de esgotamento sanitário, entre outros. Além disso, as temperaturas altas podem causar maior desgaste do pavimento das pistas, ocasionando fissuras, trincas e interdições.

3.2.11 Principais Impactos

Fatores meteorológicos e climáticos são uns dos mais importantes condicionantes à eficiência de aeroportos (MALIGHETTI et. al., 2007). Isso decorre dos impactos por eles causados aos procedimentos operacionais, à capacidade de processamento e à demanda pelo transporte aéreo.

Embora as variações estacionais possam estar associadas a maior ou menor ocorrência de determinados eventos meteorológicos, estes podem ocorrer de forma independente e constituírem um importante fator de influência no desempenho das aeronaves, segurança de voo e operações aeroportuárias (KULESA, 2001 e FAA, 2008).

Em que pese os atrasos e os eventuais cancelamentos terem causas variadas, pesquisas indicam que a meteorologia é o fator mais recorrente (ABDEL-ATY et al., 2007). Em condições severas, a meteorologia pode levar à completa suspensão das operações aéreas, além de causar danos materiais e acidentes.

Além de reduzir as margens de segurança, esses eventos meteorológicos podem diminuir a capacidade da pista e até mesmo fechar os aeroportos (PEJOVIC et al., 2009). Em vários países, assim como nos Estados Unidos, a maior incidência de perturbações do tráfego aéreo devido às condições climáticas ocorre durante o inverno, pois as tempestades de neve geralmente reduzem a capacidade de operação dos aeroportos (DUNN; WILKINSON, 2016).

Em um estudo de caso realizado no aeroporto de Aeroporto de Londres-Heathrow, Pejovic et al. (2009) concluem que as tempestades, a neve e a névoa aumentam em mais de 25% a

possibilidade de atraso dos voos, enquanto o aumento na velocidade do vento de 1 nó acima da média aumenta as chances de atraso em 8%. Segundo Koetse e Rietveld (2009), esse aumento na velocidade do vento pode impedir que os aviões pousem no aeroporto designado e tenham que pousar em aeroportos alternativos, gerando custos para as companhias aéreas e para os viajantes.

Assim como os eventos climáticos extremos, os eventos operacionais aleatórios e os ataques terroristas são geradores de perturbações na operação de um aeroporto (FATURECHI et al., 2014). Após o ataque de 11 de setembro nos Estados Unidos, foi possível observar que, além das perturbações causadas pelas condições climáticas, as redes de aeroportos exibiam um alto grau de tolerância ao erro e uma grande vulnerabilidade aos ataques (CHI; CAI, 2004). Além disso, observou-se que toda a sociedade é severamente afetada quando os aeroportos experimentam uma falha ou são alvo de ataques terroristas (ZANIN; LILLO, 2013).

3.2.11.1 Padrão Operacional do Aeroporto

O padrão operacional de um aeroporto é definido pelas condições meteorológicas, o qual se subdivide em visual (VFR) e não visual ou por instrumentos (IFR). Abrão Junior e Ribeiro (2015) analisaram o impacto das condições meteorológicas no padrão operacional, nos atrasos e nos cancelamentos da principal rota doméstica do país, Rio–São Paulo. Pela Figura 7, é possível notar que em 2013 e 2014, respectivamente, o Aeroporto Santos Dumont operou 764 h e 499 h sem condições visuais. No que se refere à suspensão das operações por instrumentos, esta foi maior em 2014, registrando 50 h. Todas essas suspensões caracterizam, em maior ou menor grau, impactos meteorológicos nas operações do Aeroporto.

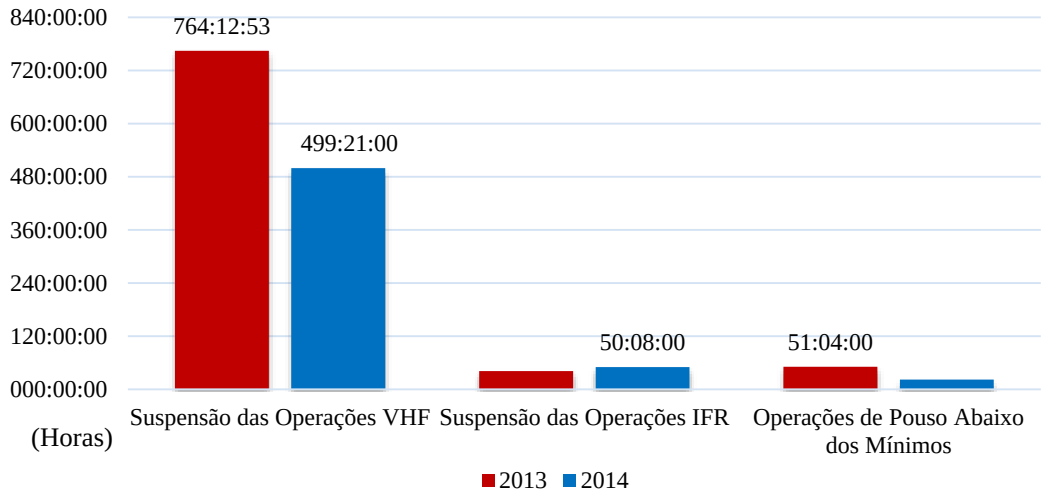


Figura 7 — Impacto das condições meteorológicas no padrão operacional do Aeroporto Santos Dumont
Fonte: Abrão Junior e Ribeiro (2015)

3.2.11.2 Atrasos

Segundo Abdel-Aty et al. (2007), atrasos de voos estão fortemente relacionados às condições meteorológicas nos aeroportos de origem e destino ou durante o trajeto. Wong (2012) sugere que as consequências desses dos atrasos e suas propagações no sistema aéreo, incluindo queda da produtividade da aeronave, perdas de tempo e da satisfação do passageiro, não podem ser negligenciadas. Abdelghany et al. (2004), sugere que aproximadamente 75% dos atrasos são decorrentes de condições meteorológicas adversas.

De acordo com TBR (2012), 70% dos atrasos ocorridos em aeroportos dos Estados Unidos foram resultados de condições meteorológicas severas. No Brasil, segundo a ABEAR (2014), a média da contribuição meteorológica nos atrasos com mais de 15 min foi de 19% em 2013. Para IATA (2014), os operadores precisam considerar as consequências dos atrasos sob a ótica comercial de maneira a lidar a com a expectativa do público e os critérios de compensação.

Para Wong (2012), dos custos de atrasos analisados por companhias aéreas australianas, 22% podem ser atribuídos diretamente aos efeitos do atraso, sendo o restante atribuído à perda de passageiros e à indução de outros atrasos. Ainda segundo ao autor, levantamentos estimam que companhias americanas economizaram $ 1.6 milhões no primeiro bimestre de 2004 por meio do uso de modelos previsão de atrasos. Pejovic et al. (2009) simulou os custos de decorrentes do fechamento por 1h do Aeroporto de Heathrow (Londres) por razão meteorológicas e obteve valores que variaram de € 700.000 a € 1.250.000.

Com base nesses casos, as consequências dos atrasos e sua propagação não podem ser desconsideradas. Isso porque, quando um aeroporto é afetado por condições meteorológicas adversas, outros a ele relacionados também o são, desencadeando uma série de impactos operacionais (TRB, 2012).

Os atrasos de voos podem ter diferentes efeitos na confiabilidade dos horários programados, e as consequências negativas nem sempre são as mesmas. Embora um atraso possa ser registrado a partir do momento em que a aeronave deixa portão de embarque ou desembarque de um aeroporto, outros também podem ocorrer durante os procedimentos de taxiamento, voo e pouso no aeroporto de destino (WONG, 2012).

3.2.11.3 Cancelamentos

Além de atrasos, podem ocorrer cancelamentos, os quais trazem perdas de receita e/ou aumento de custos operacionais. Conforme apresentado na Figura 8, a meteorologia foi

responsável por 2649 cancelamentos em 2013 e ao menos 1510 cancelamentos em 2014 no aeroporto Santos Dumont. A participação média de voos do eixo Rio–São Paulo foi 61,75% em 2013 e 62,86% em 2014, demonstrando ser a rota mais impactada.

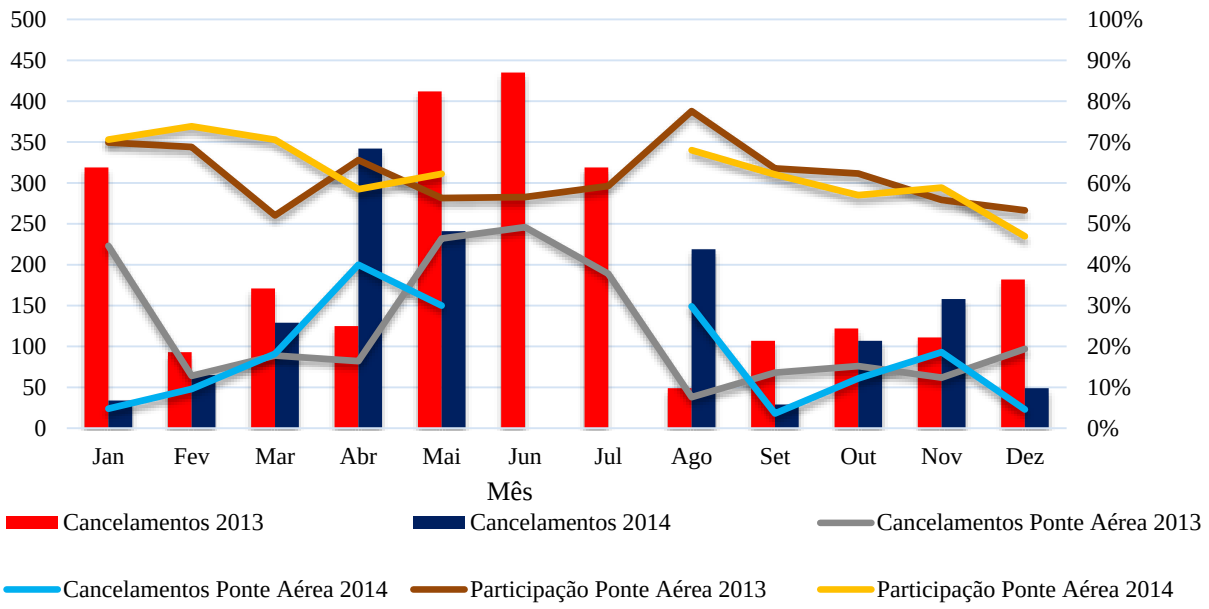


Figura 8 — Cancelamentos por condições meteorológicas no Aeroporto Santos Dumont
Fonte: Abrão Junior e Ribeiro (2015)

3.2.11.4 Acidentes

Além de atrasos e cancelamentos, as condições meteorológicas também podem ser a causa primária de uma variedade de acidentes no transporte aéreo (CENIPA, 2014). Segundo Kulesa (2001), o percentual da média de acidentes mundiais decorrentes de fenômenos meteorológicos é de 23%, percentual próximo aos 24% registrados para o ano de 2013 (IATA, 2014).

Fator contribuinte pode ser entendido como a condição, ação, omissão ou a combinação delas, que, se eliminadas ou mitigadas, podem reduzir a probabilidade de uma ocorrência aeronáutica, ou reduzir a severidade das consequências dessa ocorrência (CAA, 2014).

De acordo com a IATA (2014), entre 2009 e 2013, os principais fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes aeronáuticos no mundo foram:

- Condições latentes, sendo: a) 28% fiscalização regulatória; b) 22% gerenciamento da segurança; c) 18% procedimentos de voo.
- Ameaças:

    - 1) Ambientais, sendo 28% por causa da meteorologia distribuídos da seguinte forma: a) 50% dos casos relacionados a ventos, rajadas e mudanças de direção; b) 35% por baixa visibilidade; c) 22% tempestades com raios.
    - 2) Companhia aérea, sendo: a) 29% mau funcionamento da aeronave; b) 10% ocorrências relacionadas à manutenção; c) 5% ocorrências em solo.
- Erros da tripulação de voo, sendo: a) 28% manipulação manual de sistemas de controle; b) 24% adoção de procedimentos operacionais padronizados/verificação cruzada; c) 9% falha de circulação após desestabilização durante a aproximação.
- Estados indesejados da aeronave, sendo: a) 19% flutuação/ trepidação/ rigidez/ desnivelamento/ pouso; b) 16% variações verticais, laterais ou de velocidade; c) 10% instabilidade na aproximação; d) 7% operações além dos limites da aeronave; e) 6% realização do pouso após aproximação instável.

Nos Estados Unidos, de 2003 a 2007, foram registrados 8.657 acidentes aéreos, sendo que a meteorologia foi a causa ou o fator contribuinte para 1.740 ou 20,1% deles. No Brasil, foram registrados 1.026 acidentes entre 2003 e 2012, sendo que o percentual de incidência relacionado a condições meteorológicas foi de 14,3% (CENIPA, 2013). Já em 2013, a meteorologia foi um fator contribuinte em 24% dos acidentes registrados (CENIPA, 2014).

3.3 RESILIÊNCIA

Holling (1973) propôs que o comportamento de um sistema ecológico poderia ser definido por duas propriedades: resiliência e estabilidade. A primeira determina a persistência das inter-relações dentro de um sistema e representa uma medida de habilidade desse sistema em absorver mudanças e manter sua funcionalidade. A segunda, a habilidade de um sistema em retornar a um estado de equilíbrio após sofrer um distúrbio temporário.

É sabido que os sistemas ecológicos ou ecossistemas dispõem dos recursos necessários para o seu adequado equilíbrio; porém, as ações humanas vêm causando interferências com a poluição do ar, acúmulo de resíduos sólidos, entre outros. Por esse motivo, a abordagem ecológica leva em consideração a maneira sistemática, contínua e cumulativa como a natureza responde a essas perturbações, identificando como esses sistemas podem ser afetados, as suas vulnerabilidades e as formas de adaptação (HERMAN, 1996). Devido a isso, a resiliência ecológica está se tornando cada vez mais um paradigma plausível para o desenvolvimento de novas políticas e sistemas de gestão ambiental com o intuito de preservar o capital natural. Por outro

lado, a resiliência surge de interações complexas, limitando a tradução da teoria para prática (SPEARS et al., 2015).

Entretanto, apesar de ter sido introduzida na literatura por Holling (1973), a resiliência é um conceito multidisciplinar. Por esse motivo, atualmente são encontradas diversas definições na literatura (MORECROFT, 2012). Para Mancini et al. (2012), a resiliência consiste na capacidade de um ecossistema tolerar perturbações, permanecendo em um estado de equilíbrio por meio de um conjunto de diferentes condições e processos ambientais. Segundo Gunderson (2000), a resiliência é uma propriedade emergente dos ecossistemas e, por isso, está relacionada com a estabilidade desses sistemas, que são geralmente influenciados pelas atividades humanas. Fiksel, (2006) entende que a resiliência pode ser definida como a capacidade de um sistema sobreviver, se adaptar e se desenvolver frente a uma mudança turbulenta. Ela depende das interconexões e diversidades funcionais de múltiplos subsistemas.

Francis et al. (2014) sugere um conjunto de capacidades de resiliência, sendo este composto por: capacidade de absorção, adaptação e recuperação. Nesse contexto, uma abordagem de resiliência demandaria uma avaliação da habilidade de um sistema em antecipar e absorver potenciais distúrbios, desenvolver meios adaptativos para acomodar as mudanças e de estabelecer formas de resistir ou recuperar suas funcionalidades o mais rápido possível.

Ouyang (2014) pondera que a noção de resiliência é relativamente nova em engenharia de infraestrutura e é considerada como um conjunto de habilidades de um sistema de infraestrutura para resistir a possíveis riscos, absorver danos iniciais e recuperar a operação normal. Nessas condições, em que ocorrem pressões externas, um sistema resiliente deve ser capaz de adaptar seus processos para otimizar sua performance e manter suas funcionalidades dentro das novas condições de normalidade (ROEGE et al., 2014).

Sendo assim, os estudos relacionados a resiliência abordam diferentes áreas do conhecimento (QUINLAN et al., 2015). A Tabela 7 apresenta definições de resiliência em diferentes domínios.

Tabela 7 — Definições de resiliência em diferentes domínios

Resiliência	**Definição**	**Ênfase**	**Referências Chave**
Resiliência de engenharia	A velocidade de retorno do sistema ao equilíbrio após um choque.	Tempo de retorno para recuperação, eficiência, equilíbrio	Pimm (1984)
Resiliência ecológica	Capacidade de um sistema para suportar choque e manter relações e funções críticas.	Capacidade de amortecer, resistência ao choque, persistência, robustez	Holling (1996)
Resiliência socioecológica	(i) Quantidade de perturbações que um sistema pode absorver e permanecer	Capacidade adaptativa, aprendizagem, inovação	Carpenter et al. (2001)

	dentro de um domínio de atração; (ii) capacidade de aprendizagem e adaptação; e (iii) grau em que o sistema é capaz de se auto-organizar.		
Resiliência social	Capacidade de grupos ou comunidades para lidar com estresses e distúrbios externos como resultado de mudanças sociais, políticas e ambientais.	Dimensões sociais, dispositivo heurístico	Adger (2000)
Resiliência do desenvolvimento	Capacidade de uma pessoa, família ou outra unidade agregada de evitar a pobreza diante de vários estressores e na sequência de choques inumeráveis ao longo do tempo.	Vulnerabilidade, robustez	Pasteur (2011) e Barrett & Constas (2014)
Resiliência socioeconômica	Refere-se à capacidade política de uma economia de se recuperar ou de se adaptar aos impactos negativos da capacidade de resposta econômica.	Capacidade de resposta econômica	Mancini et al. (2012)
Resiliência da comunidade	Um processo que liga um conjunto de capacidades adaptativas a uma trajetória positiva de funcionamento e adaptação após uma perturbação.	Capacidade adaptativa, perturbação, social	Norris et al. (2008)
Resiliência psicológica	Capacidade de um indivíduo de se adaptar ao estresse e à adversidade. A resiliência é um processo e pode ser aprendida por qualquer pessoa que use emoções positivas.	Processamento, adaptação, processo	Tugade, Fredrickson e Feldman Barrett (2004)

Fonte: Quinlan et al. (2015)

No caso dos sistemas aeroportuários, suas operações são fortemente influenciadas pelas condições climáticas (ICAO, 2013), demandando uma abordagem de resiliência multidisciplinar de maneira a inferir sobre a capacidade do primeiro (aeroporto) em absorver os impactos da segunda (condição climática) ou das suas mudanças. E é a busca de respostas para aos riscos resultantes dessas mudanças e outras aplicações que levou ao aumentou do interesse pelo tema resiliência (BARRETT e CONSTAS, 2014). Consequentemente, o número de estudos para o desenvolvimento de métodos, análises e medição da resiliência também aumentou.

3.3.1 Métricas de Análise

Apresar da importância dos princípios relacionados à gestão da resiliência, é necessário o uso de métricas que traduzam esses princípios para apoiar o processo de tomada de decisão (FRANCIS; BEKERA, 2014). O interesse em avaliar e medir a resiliência surgiu a partir da sua crescente aplicação em diversas áreas, resultando em uma série de abordagens, abrangendo métodos qualitativos e quantitativos, avaliações, análises estatísticas, modelagem e métricas

(QUINLAN et al., 2015). Sendo assim, existem diferentes maneiras de aplicação e medição da resiliência e muitas vezes esses métodos estão apenas ligados a estruturas teóricas.

Segundo Ayyub (2014), a partir de uma definição apropriada de resiliência e métricas associadas, é possível obter uma grande economia no sistema devido à redução dos riscos e à rápida recuperação. As métricas de resiliência facilitam a compreensão das possíveis perturbações e dos seus efeitos, auxiliando o processo de elaboração de estratégias pré-evento para prevenir danos e perdas e também de estratégias pós-evento para ajudar a lidar com os impactos e minimizá-los (COX et al., 2011; CUTTER et al., 2008).

Nem sempre o processo de desenvolvimento de métricas consistentes com as noções abstratas de confiabilidade e risco se dá de maneira natural e intuitiva (AYYUB, 2014). Com o objetivo de reduzir a vulnerabilidade e os riscos associados a eventos catastróficos, essas métricas são baseadas em fatores determinados empiricamente ou teoricamente (MILMAN; SHORT, 2008).

De acordo com EPA (2014), a análise de resiliência ainda é um campo emergente, motivo pelo qual uma variedade de modelos quantitativos tem sido usada numa tentativa de aproximação. Entretanto, compreender diversas abordagens que aumentem a resiliência não é o suficiente, é necessário descobrir quais são as mais eficientes e eficazes em circunstâncias particulares para priorizar os recursos do sistema (MORECROFT et al., 2012).

Zhao et al. (2017) apresentaram um procedimento de análise e medição de resiliência que combina capacidades de resiliência, cenários de interrupção e estratégias de despacho em um sistema dinâmico de infraestrutura. Além disso, os autores propuseram uma estratégia para maximizar a resiliência do sistema e garantir a sua continuidade.

Linkov et al. (2013) desenvolveram uma matriz de resiliência que organiza métricas de resiliência para sistemas cibernéticos. Como pode ser visto na Figura 9, essa matriz mapeia os domínios do sistema em um ciclo de gerenciamento de eventos, fornecendo diretrizes para métricas de resiliência que devem ser elaboradas e combinadas para que seja possível realizar a medição da resiliência geral do sistema.

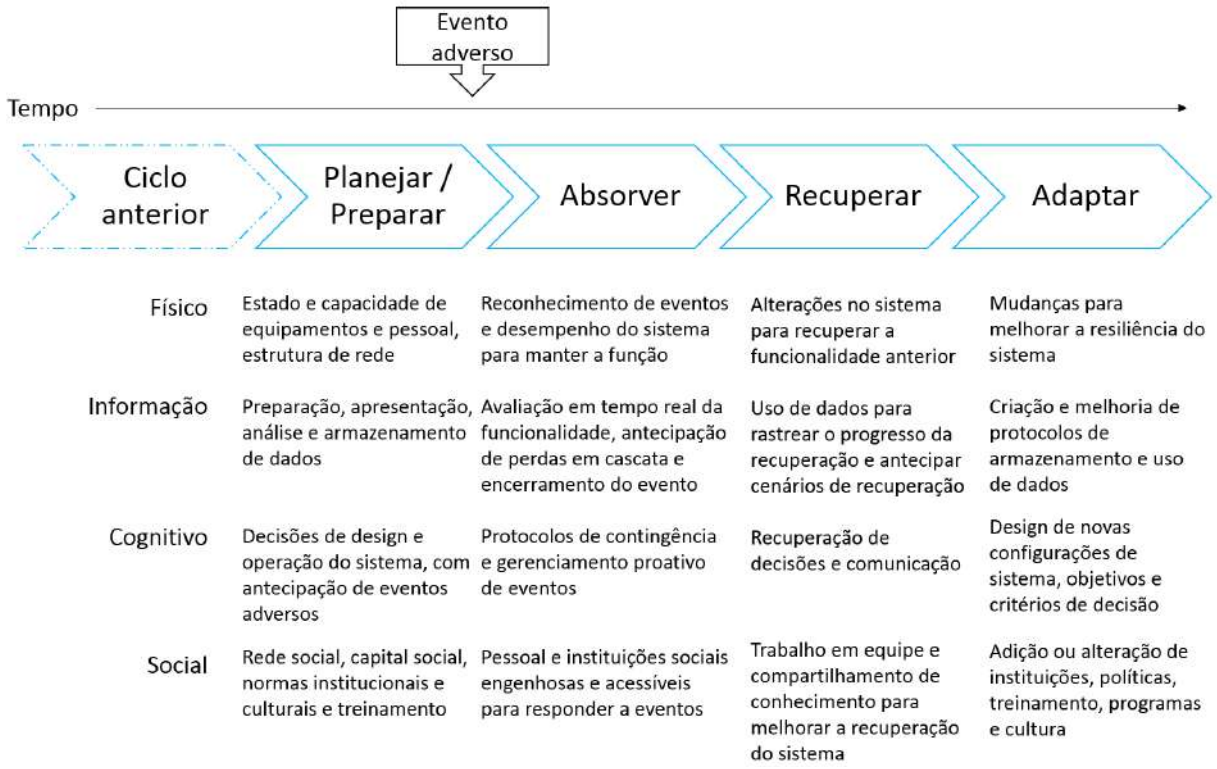


Figura 9 — Matriz de Resiliência
Fonte: Linkov et al. (2013)

De modo similar ao estudo de Linkov et al. (2013), Roege et al. (2014) propuseram uma abordagem genérica para integrar dados reais, julgamento técnico e medidas baseadas na literatura para avaliar a resiliência do sistema em domínios físicos, de informação, cognitivos e sociais. Sendo assim, os autores desenvolveram uma matriz de resiliência que sintetiza métricas encontradas na literatura para serem implementadas no planejamento, projeto, investimento e operações relacionadas à energia.

Francis et al. (2014) propuseram um formato de análise de resiliência e uma métrica de medição para sistemas construídos e de infraestrutura. Já com o objetivo de avaliar a capacidade de adaptação da infraestrutura de águas residuais urbanas, Spiller (2017) desenvolveu um método de sete etapas para avaliar essa capacidade, analisando o impacto da mudança dos motoristas e da inovação na tecnologia e infraestrutura de águas residuais existentes.

Após uma revisão da literatura, Stamos et al. (2015) apresentaram um conjunto de medidas de adaptação a eventos climáticos extremos para o transporte rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroaviário. Esse estudo apresenta medidas e políticas baseadas em indicadores de desempenho que evidenciam como cada medida contribui para o aprimoramento da resiliência do sistema de transporte.

Miller-Hooks et al. (2012) mediram o nível máximo de resiliência de uma rede de transporte intermodal de mercadorias. Para isso, os autores determinaram o conjunto de ações

ideais para a preparação e recuperação, de modo que se alcance o nível máximo de resiliência sob restrições de orçamento e de nível de serviço.

Ao analisar a resiliência operacional e física de instalações de cuidados intensivos, Bruneau e Reinhorn (2007) propuseram uma métrica para medir a resiliência dessas infraestruturas com base no tamanho da degradação esperada na qualidade. Para isso, os autores quantificaram a robustez, a redundância, o engenho e a rapidez para a recuperação das instalações. Já Garbin e Shortle (2007) desenvolveram uma métrica para medir a resiliência de uma rede à medida que a porcentagem de *links* está danificada em relação ao desempenho da rede e a porcentagem de nós está danificada em relação ao desempenho da rede.

De acordo com Tierney e Bruneau (2007), a resiliência pode ser medida a partir da análise da funcionalidade de um sistema após um choque externo. Sendo assim, os autores sugerem observar o sistema resiliente, incluindo o tempo necessário para que este retorne a um determinado nível de desempenho.

Utilizando a função de confiança, Attoh-Okine et al. (2009) desenvolveram uma métrica de resiliência para infraestruturas urbanas. Por meio de diversos cenários de desempenho da infraestrutura durante a operação normal, casos de eventos inesperados e o conceito de resiliência, os autores definiram-na da seguinte maneira:

$$Resiliência = \frac{\int_{t_0}^{t_t} Q(t)dt}{100(t_0 - t_t)} \tag{4}$$

Em que:
Q é a qualidade da infraestrutura ou o desempenho de um sistema;
t_0 é o momento da ocorrência da perturbação;
e t_1 é o tempo de recuperação total.

Como um refinamento da métrica de resiliência desenvolvida por Hashimoto et al. (1982), Li e Lence (2007) propuseram duas abordagens teóricas para medir a resiliência usando a relação de desempenho em dois períodos diferentes. Os métodos são aplicáveis para sistemas estacionários ou condições de entrada não estacionárias.

Omer et al. (2009) conceberam uma abordagem para medir a resiliência da rede global de cabo de fibra óptica submarina, analisando nó por nó da rede e a resiliência global a partir da demanda de dados existentes, da capacidade e das informações de fluxo. Para isso, foi analisada a diferença de transmissão de informações antes e após um evento.

Ayyub (2014) propôs métricas de resiliência, apresentadas na Figura 10, que fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de ferramentas de tomada de decisão para ambientes multidisciplinares. Para isso, baseado em conceitos de análise de risco e gerenciamento, o autor apresenta métodos de avaliação e análises de custos e benefício.

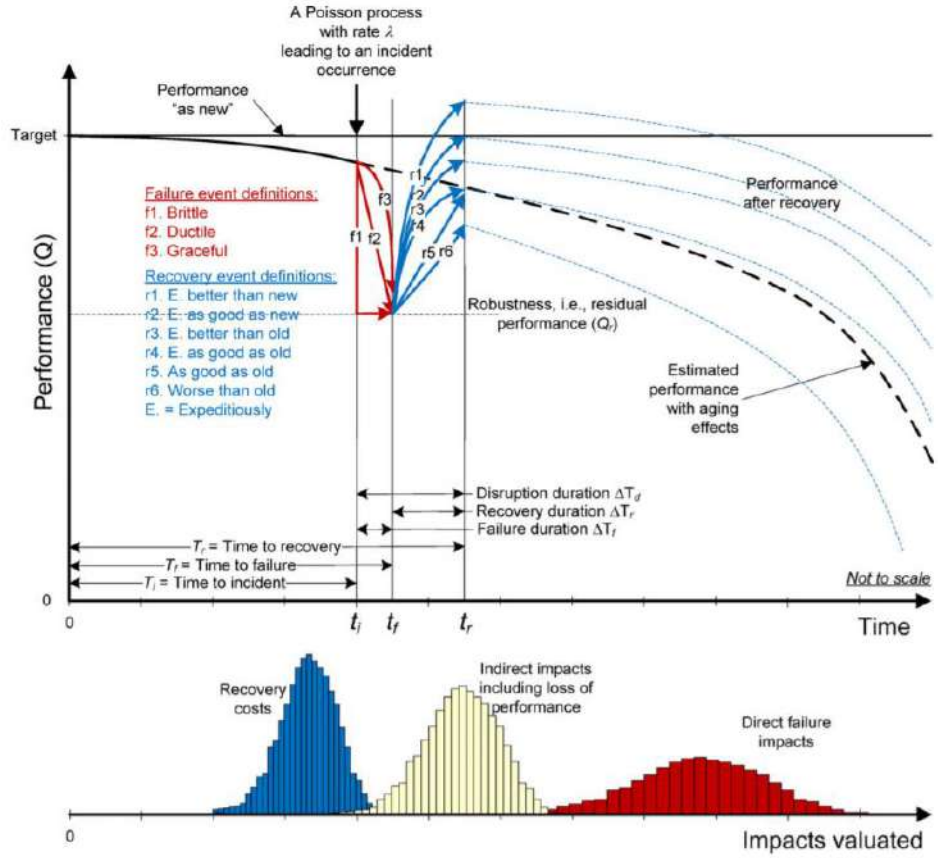


Figura 10 — Propostas de definições de métricas de resiliência
Fonte: Ayyub (2014)

Como pode ser visto na Figura 10, a métrica formulada a partir da performance do sistema (Q) e a ocorrência de incidentes segundo um processo de Poisson com taxa (λ). Além disso, observa-se que os eventos de falha (f) e de recuperação (r) são classificados em diferentes níveis. O evento de falha tem início em t_i e se encerra em t_f, possuindo uma duração de ΔT_f. Após este evento, sucede o evento de recuperação que ocorre até t_r com uma duração de ΔT_r. Sendo assim, a duração da interrupção total (D) é de $\Delta T_d = \Delta T_f + \Delta T_r$. Desse modo, a formulação proposta para medir a resiliência é:

$$Resiliência\ (R_e) = \frac{T_i + F\Delta T_f + R\Delta T_r}{T_i + \Delta T_f + \Delta T_r} \quad (5)$$

Em que, para qualquer evento de falha (f), o correspondente perfil de falha (F) é dado por (6), a seguir.

$$Falha\ (F) = \frac{\int_{t_i}^{t_f} f dt}{\int_{t_i}^{t_f} Q dt} \tag{6}$$

Este valor de perfil de falha (F) pode ser considerado como uma medida de robustez e redundância. De maneira análoga, para qualquer evento de recuperação (r), o correspondente perfil de recuperação (R) é dado por:

$$Recuperação\ (R) = \frac{\int_{t_i}^{t_f} r dt}{\int_{t_i}^{t_f} Q dt} \tag{7}$$

O valor de perfil de recuperação (R) pode ser considerado como uma medida de recursos e rapidez. Além disso, o tempo de falha (T_f) pode ser caracterizado por meio da seguinte função densidade de probabilidade:

$$-\frac{d}{d_t}\int_{S=0}^{\infty} exp\ [-\lambda t\ (1 - \frac{1}{t}\int_{\tau=0}^{t} F_L(\alpha(\tau)s)d\tau)] f_{S_0}(S)dS \tag{8}$$

Onde o desempenho do sistema (Q) é obtido a partir da subtração da força do sistema (S) e o efeito de carga correspondente (L) em unidades consistentes.

Assim como S e L, as funções cumulativas de distribuição de probabilidade de L (F_L) e de S (f_s) são tratadas como variáveis aleatórias. Já o termo α (t) representa a melhoria do sistema. Essa função de densidade de probabilidade é o negativo da derivada da função de confiabilidade.

Segundo Ayyub (2014), este modelo pode ser usado para agregar o desempenho de seus componentes, permitindo avaliar o desempenho do nível do sistema. Devido a essa análise de segregação e agregação de desempenho, esse modelo é adequado para examinar a resiliência de sistemas para edifícios, outras estruturas, instalações, infraestrutura, redes e comunidades.

A COR&GEST é uma plataforma de simulação rodoviária, desenvolvida na Universidade de Valenciennes, que tem o objetivo de analisar a resiliência de sistemas rodoviários. Essa plataforma determina a segurança do sistema a partir de fatores que podem afetá-la, tais como: velocidade, distância de travagem, conscientização do motorista, entre outros (ENJALBERT et

al., 2011). Como pode ser visto na Figura 11, a resiliência pode ser avaliada entre o início do efeito de perturbação (t_b) e o fim do desempenho inaceitável (t_e).

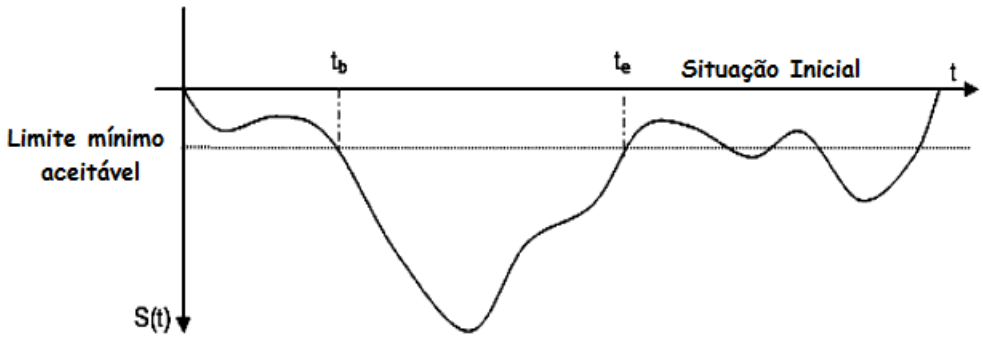


Figura 11 — Evolução do indicador de segurança para avaliação de resiliência
Fonte: Enjalbert et al. (2011, p. 339)

Variando de acordo com a perturbação do sistema, a "resiliência local" é uma medida instantânea de resiliência e, por isso, pode assumir um valor negativo, se o desempenho diminuir, ou um valor positivo, se o sistema se recuperar do distúrbio. Sendo assim, com base neste indicador, a "resiliência local" proposta é definida como:

$$Resiliência\ Local = \frac{dS(t)}{dt} \tag{9}$$

Já a "resiliência total" é a soma de todas as resiliências locais durante um determinado período de amostragem e, por isso, é determinada da seguinte maneira:

$$Resiliência\ Total = \int_{t_b}^{t_e} Resiliência\ Local = \int_{t_b}^{t_e} \frac{ds(t)}{dt} \tag{10}$$

Reggiani et al. (2002) apuraram a resiliência e a dinâmica do mercado de trabalho oeste alemão. Para isso, com o intuito de classificar a resiliência entre os setores de emprego, os autores utilizaram um algoritmo que detecta expoentes de Lyapunov.

Kim et al. (2016) analisaram a resiliência do Sistema de Trânsito da Região Metropolitana de Washington, DC. Para isso, os autores verificaram as potenciais falhas e os seus impactos na

confiabilidade do sistema. Sendo assim, a resiliência da rede foi avaliada, e os melhores e piores cenários de impacto geográfico foram apontados. Também em Washington, DC, Schintler et al. (2007) aplicaram a teoria da rede complexa também para verificar a resiliência de uma parcela da rede de transmissão elétrica.

Taylor e Susilawati (2012) desenvolveram um método para analisar a vulnerabilidade de redes rodoviárias regionais, considerando os impactos socioeconômicos da degradação da rede e determinando os locais mais críticos. Para isso, os autores utilizam alterações na distância e nos níveis de acessibilidade como medidas de resiliência. Além disso, foi realizado um estudo de caso em uma região rural no sudeste da Austrália. Já Ip e Wang (2011) propuseram uma abordagem quantitativa para avaliar a resiliência de redes de transportes. Neste método, a resiliência de um nó da cidade é avaliada pelo número médio ponderado de passagens confiáveis com todos os outros nós da rede.

Em um estudo de simulação, Ash e Newth (2007) desenvolveram redes resilientes a uma determinada falha em cascata por meio de um algoritmo evolutivo. Os autores analisam essas redes e explicam a origem dessa resiliência, revelando que o agrupamento, a modularidade e as longas distâncias do caminho desempenham um papel importante no projeto de infraestrutura robusta.

Com o intuito de analisar a resiliência de redes orientadas a serviços, Rosenkrantz et al. (2005) desenvolveram um modelo de teoria gráfica. Os autores também propuseram métricas baseadas na estrutura topológica da rede e na maneira como os serviços são distribuídos pela rede para quantificar a sua resiliência.

Já Simonis (2006) propôs prever o carregamento de uma rede em diferentes cenários de falha. O modelo para análise do fluxo de tráfego dessa rede baseia-se apenas em valores observados, visando a derivar uma matriz de tráfego dos dados observados. Ao final do artigo, o autor apresenta exemplos numéricos e apontam que os resultados obtidos podem ser utilizados na análise de resiliência. A Tabela 8 apresenta um resumo de diferentes medidas de resiliência apresentadas anteriormente.

Tabela 8 — Diferentes interpretações das medidas de resiliência nas redes de fluxo de tráfego

Autores	**Medidas de Resiliência da Rede**	**Abordagem da Rede de Transporte**	**Estudo de Caso**
Ash e Newth (2007)	Capacidade de carga	Algoritmo evolutivo	Simulação
Ip e Wang (2011)	Média ponderada do número de passagens entre nós	Modelo de otimização com algoritmo computacional	Exemplos numéricos e aplicação à rede ferroviária chinesa
Matisziw e Murray (2009)	Caminhos vitais	Modelo de otimização	Sistema interestadual de Ohio
Rosenkrantz et al. (2005)	Número máximo de falhas que um nó da rede pode tolerar	Algoritmos no contexto de redes orientadas a serviços	Nenhum estudo de caso ou simulação

Simonis (2006)	O carregamento de uma rede	Modelo para análise do fluxo de tráfego	Exemplos numéricos de redes existentes
Taylor e Susilawati (2012)	Alterações nos níveis de acessibilidade dependendo do estado da rede	Modelo de acessibilidade na rede de transporte	Rede rodoviária da região do "triângulo verde" no sudeste da Austrália

Fonte: Reggiani (2013, p. 67)

Cox et al. (2011) apresentaram uma métrica para determinar a resiliência do setor de transporte de passageiros em situações de terrorismo. A métrica apresentada é baseada na vulnerabilidade, na flexibilidade e nos recursos disponíveis para lidar com um ataque terrorista. A métrica é desenvolvida a partir de uma adaptação da definição da resiliência econômica estática direta (DSER), a qual se refere a como determinada empresa responde a um choque externo. A medida DSER considera a redução no *output* da produção e o potencial máximo de ruptura. Sendo assim, essa medida é definida pela seguinte equação:

$$DSER = \frac{\%\Delta DY^m - \%\Delta DY}{\%\Delta DY^m} \tag{11}$$

Em que:
$\%\Delta DY^m$ é a variação percentual máxima no *output* da produção; e
$\%\Delta DY$ é a variação porcentual estimada no *output*.

Portanto, observa-se que o DSER é a taxa prevenção da máxima interrupção econômica que um evento adverso poderia causar ao sistema. Os autores utilizam o caso real dos atentados de metrô e ônibus de Londres em 2005 para quantificar a resiliência desse sistema de transporte. Os resultados apontam que 77,4% das reduções nos modos atacados foram compensados por aumentos nos modos substitutos nos 4 meses após os ataques. Além disso, observou-se que 76,9% das reduções foram causadas por um "fator de medo", em oposição às reduções de capacidade.

A métrica apresentada por Cook et al. (2016) parte da definição básica de resiliência. Um distúrbio gera uma interrupção em um sistema no estado estável (S_0), entrando em estado interrompido (S_d). Uma ação de resiliência é tomada após este evento, desencadeando uma recuperação de modo que o sistema volte para um estado recuperado (S_f). Esse estado pode ser igual a S_0 ou diferente deste. Com base nesse raciocínio, os autores apresentam uma métrica de resiliência baseada na proporção de recuperação no tempo t para a perda sofrida pelo sistema devido a um evento de interrupção. Sendo assim, temos que a resiliência de um sistema no tempo t é dada pela seguinte equação, desenvolvida por Henry e Ramirez-Marquez (2012):

$$Я(\mathrm{t}) = \frac{Recuperação\ (t)}{Perda\ (t_d)} \tag{12}$$

Onde t_d representa o período em que o sistema entra em estado interrompido.

Posteriormente, essa equação é expandida para que o tempo e os custos necessários para restaurar os componentes interrompidos sejam inseridos. Sendo assim, são considerados três elementos para projetar a resiliência: o impacto sistêmico (IS), o esforço total de recuperação e os investimentos de fortalecimento da resiliência. Já Bocchini e Frangopol (2012) determinaram a resiliência como a integral normalizada da funcionalidade da rede, como pode ser visto na equação 13. Neste caso, a resiliência é adimensional e assume valores entre 0% e 100%.

$$R = \frac{\int_{t_0}^{t_0+t_h} Q(t)dt}{t_h} \tag{13}$$

Em que:
Q(t) representa a funcionalidade da rede;
t_0 o momento em que ocorre o evento de interrupção; e
t_h é o horizonte de tempo investigado.

Partindo do trabalho de Cook e Tanner (2011) que determinaram o custo de atraso de aeronaves para doze tipos de acordo com a fase do voo e a duração do atraso, os autores (COOK et al., 2016) atualizaram esses custos para valores de 2014 e acrescentaram três tipos de aeronaves na análise. Os custos foram calculados para três tipos de atraso: estratégico, tático e reacionário. Os fatores considerados em cada custo são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 — Tipos de custos por fase operacional

Custo para a companhia aérea	Estratégico	Tático	Reativo
Frota	x		
Combustível (e carbono)	x	x	
Equipe	x	x	x
Manutenção	x	x	x
Passageiro		x	x

Fonte: Cook et al. (2016)

Além de quantificar, esses valores contribuem para a estimativa da resiliência de custos. Sendo assim, cenários de custo “alto”, “base” e “baixo” são projetados para analisar os possíveis custos para as companhias aéreas.

Com o objetivo de adaptar as ferrovias para fornecer resiliência e sustentabilidade, Armstrong (2017) propôs um método para auxiliar o processo de desenvolvimento de estratégias e medidas corretivas para as perturbações causadas por eventos climáticos extremos. Além disso, o autor considera os custos dessas medidas por meio de uma análise custo-benefício. Já Faturechi et al. (2014) analisaram o problema da avaliação e maximização da resiliência de pista e vias de circulação de um aeroporto sob múltiplos cenários de danos meteorológicos.

As mudanças climáticas globais incrementam eventos disruptivos para a infraestrutura de transporte como, por exemplo, grandes inundações e tempestades. Portanto, é necessária a realização de mais pesquisas sobre os impactos dessas mudanças na infraestrutura de transporte e, consequentemente, sobre a adaptação e a resiliência do sistema de transporte (SCHULZ et al., 2017). Devido a importância do modo aéreo para a sociedade e o impacto gerado por mudanças climáticas nesse setor, a resiliência de aeroportos deve ser objeto de estudos.

3.3.2 Resiliência, Adaptação e Aeroportos

Diferentes inciativas e esforços têm sido empreendidos em prol da análise da resiliência e da adaptação da infraestrutura aeroportuária às mudanças climáticas (ACRP, 2012; 2015). O Programa de Pesquisa Cooperativa Aeroportuária (ACRP) é um programa de pesquisa aplicada que desenvolve soluções práticas e de curto prazo para os problemas enfrentados pelos operadores de aeroportos. O ACRP é administrado pela *Transportation Research Board* (TRB), da Academia Nacional de Ciências, Engenharia e Medicina dos EUA e é patrocinado pela *Federal Aviation Administration* (FAA). Dentre as contribuições do programa, estão os seguintes produtos que tratam da temática aeroportos e clima: ACRP 33: *Airport Climate Adaptation and Resilience* (ACRP, 2012); ACRP 147: *Climate Change Adaptação Plannning*: *Risk Assessment for Airports* (ACRP, 2015).

A associação dos governos da Bay Area (São Francisco, CA) vem desenvolvendo, desde 2012, um projeto intitulado Resiliência de Aeroportos e Infraestrutura. O objetivo é compreender como os aeroportos existentes na baia podem lidar social e economicamente com a recuperação de um desastre, dadas as suas vulnerabilidades, a sua interdependência com a infraestrutura regional e as suas capacidades. Outras ações colaborativas têm sido desenvolvidas entre operadores aeroportuários daquele país com o intuído de promover a adaptação do setor às mudanças climáticas.

No âmbito Europeu, a EUROCONTROL, agência governamental responsável pelo gerenciamento do tráfego aéreo no âmbito da Europa tem fornecido às organizações da aviação

recursos-chave sobre resiliência climática, bem como um *checklist* e estudos de caso para auxiliar na avaliação de risco climático. Como pode ser visto na Figura 12, as perguntas funcionam como uma lista de verificação para identificar e avaliar se os impactos da mudança climática serão um risco para suas instalações e atividades. Os estudos de caso fornecem exemplos de como algumas entidades estão se adaptando aos potenciais impactos das mudanças climáticas, descrevendo as medidas que estão tomando e compartilhando seus conhecimentos e experiências (EUROCONTROL, 2017).

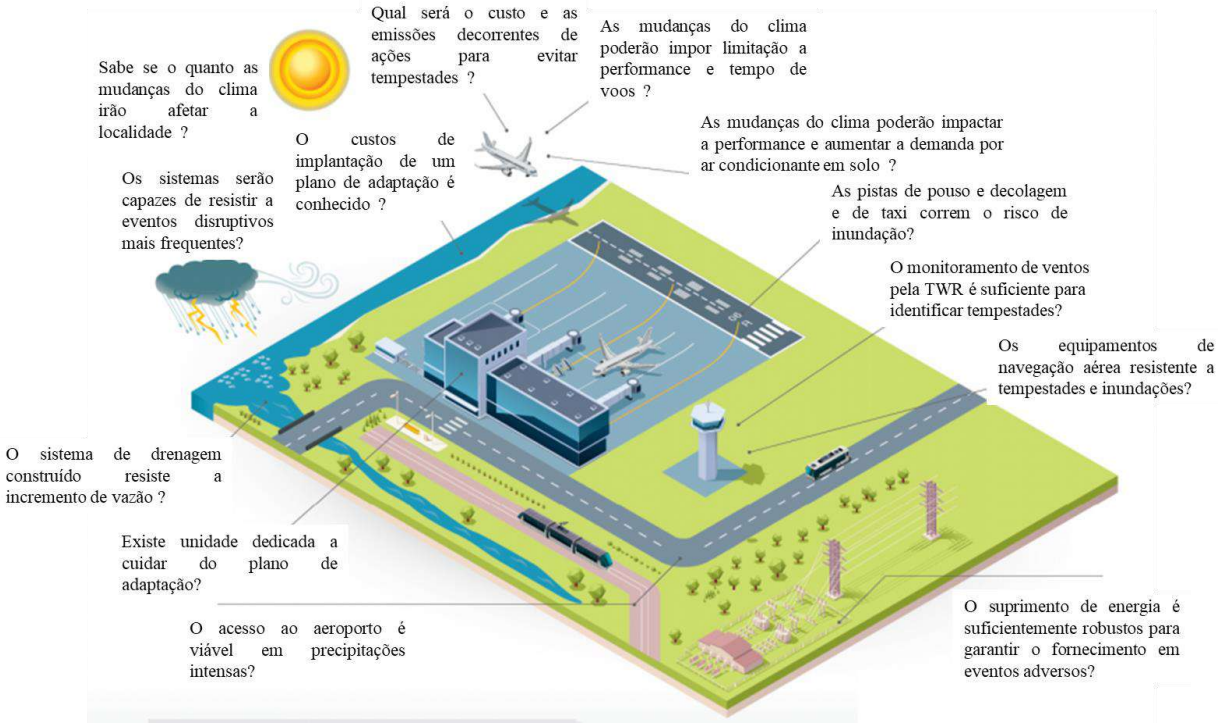


Figura 12 — Interferências meteorológicas e climáticas no aeroporto
Fonte: EUROCONTROL (2017)

Nesse contexto, observa-se que a resiliência dos aeroportos é extremamente importante para minimizar o impacto gerado pelos eventos adversos aos passageiros (e.g., atrasos, cancelamento de voos, entre outros) e também para reduzir as perdas econômicas das companhias aéreas (DUNN e WILKINSON, 2016). Além disso, promovem-se ações de adaptação que repercurte em maior resiliência, garantindo a continuidade das operações aeroportuárias e a proteção da infraestrutura dos aeroportos (BURBDIGE, 2016).

Segundo a CAA (2014), as interrupções das operações no Natal de 2013 no Aeroporto de Gatwick, devido a uma inundação, e no aeroporto de Heathrow, por reincidência de neve nos anos de 2009, 2010 e 2013, além de ventos fortes no outono de 2013 em ambos os aeroportos, levaram à revisão do plano de Gerenciamento de Risco. Foi efetuado um trabalho de revisão do Ato de

Contingência Civil de 2004 e das práticas de contingência dos dois aeroportos, confrontando-os com as práticas de outros aeroportos (e.g., Frankfurt, Viena, Munique e Oslo) expostos a riscos semelhantes, além das legislações e guias das agências (FAA e ICAO). Neste ponto, foi ressaltado que a ICAO não adota o termo "Resiliência Operacional", mas utiliza os termos "Emergências" e "Operações", considerando riscos previsíveis e inesperados.

A revisão levou à criação de um guia para adequar o escopo ao Plano de Resiliência. Esse plano foi gerado através de um Relatório de 2014 da McMillan sobre o evento da inundação e do Relatório do *Transport Select Committee*. As recomendações foram: mais interação e participação dos interessados nos eventos que podem gerar riscos, como as empresas aéreas; definição apropriada de Comandos para acionar cada nível de mitigação dos riscos; treinamento regular das situações de risco; e, por fim, o acompanhamento da aderência aos planos de resiliência.

3.3.2.1 Aeroporto de Dallas/Fort Worth (DFW)

Segundo ACRP (2012), como resultado de pesquisas e planejamento, o DFW selecionou um conjunto de atualizações de equipamentos que o permitem remover a neve das três pistas em 14 minutos. Os investimentos foram de US $ 10 milhões em equipamentos, US $ 3 milhões em instalações e US $ 560,000 por ano para operações e manutenção. Estão incluídos 10 equipamentos de remoção de neve multifuncional que podem arar, varrer e soprar a neve; 4 vassouras de neve dedicadas de alta velocidade; 2 caminhões e suplementos para a desobstrução de pavimentos. Essa atualização de equipamentos torna o aeroporto mais resiliente para invernos extremos, que deverão se tornar mais frequentes com as mudanças climáticas.

Além do anteriormente exposto, o DFW localiza-se em uma região com escassez de água, com registros periódicos de seca. O Aeroporto também experimenta dias consecutivos de temperaturas acima de 100 ° F e implementou restrições ao uso de água nos últimos anos. Como resultado, foram desenvolvidas medidas de conservação da água na lavagem do pavimento do DFW. Além disso, a Central de Utilidades usa água de condensado proveniente das torres de resfriamento do sistema de ar-condicionado dos terminais de passageiros.

3.3.2.2 Minneapolis-St. Paul (MSP)

Para reduzir os efeitos negativos com eventos de neve, o aeroporto de Minneapolis e a companhia Delta Airlines adotam ações conjuntas para diminuir o volume de passageiros nos terminais, permitindo uma rápida recuperação das operações. Isso resulta de uma abordagem

conservadora de cancelamentos proativos de voos e de notificações aos passageiros quando um grande evento meteorológico é previsto. O aeroporto se beneficia de um planejamento conjunto e de uma forte coordenação das partes interessadas, incluindo uma clara definição de responsabilidades. Além disso, anualmente são apresentados pelas partes interessadas os custos e os benefícios dessa abordagem (TANGER e CLAYTON, 2013)

3.3.2.3 Amsterdam Schiphol (AMS)

O aeroporto realiza ações coordenadas com a companhia área KLM nos dias que antecedem um evento meteorológico previsto. O plano e as comunicação das partes interessadas normalmente são executados com cinco dias de antecedência, com ações e responsabilidades em uma sequência pré-acordada nas horas que se seguem. As decisões finais sobre planejamento de capacidade são feitas conjuntamente pelo aeroporto, companhias aéreas e ATC oito horas antes do evento. Semelhante a Minneapolis-St. Paul, o aeroporto cita a capacidade proativa e as decisões de cancelamento entre seus principais fatores de sucesso para a resposta e recuperação do evento (TANGER e CLAYTON, 2013).

3.3.2.4 Londres Heathrow (LHR)

Como parte do seu Programa de Resiliência de Inverno de 2011, Londres Heathrow estabeleceu-se como referência de como um aeroporto pode estar preparado para intervir e apoiar as companhias aéreas no cumprimento de suas obrigações de bem-estar com os passageiros. Heathrow liderou o desenvolvimento conjunto de uma carta de bem-estar de passageiros que articula claramente as ambições com uns de todas as partes interessadas do aeroporto para apoiar o passageiro em tempos de interrupção. A carta é acompanhada por papéis e responsabilidades para as companhias aéreas e o aeroporto. O aeroporto também lançou um programa reservista formal, no qual mais de 900 funcionários não operacionais foram treinados para papéis de assistência a passageiros. Esses funcionários prestam assistência nos terminais durante incidentes disruptivos (e.g., meteorológicos) e períodos de pico de viagem (TANGER e CLAYTON, 2013).

3.3.2.5 Chicago O’Hare (ORD)

Chicago O’Hare tem níveis robustos de equipamentos e recursos locais para suportar uma das operações mais movimentadas do mundo e eventos disruptíveis, sendo a neve durante o

inverno o maior e mais comum deles. Além disso, a sua localização na cidade de Chicago também fornece uma enorme força de contingência fora do aeroporto que pode ser solicitada para requisitos específicos, incluindo pessoal adicional de resposta a emergências, unidades táticas e recursos de transporte, como ônibus da cidade. O O'Hare também criou uma grande segurança para sua fonte de energia com vários níveis de redundância (TANGER e CLAYTON, 2013)

3.3.2.6 Frankfurt (FRA)

Em Frankfurt, a equipe de operações é complementada por um grande grupo de funcionários contratados para suporte em eventos meteorológicos adversos. Durante invernos rigorosos, o aeroporto utiliza o serviço de uma empresa externa para a remoção de neve do aeródromo. O aeroporto também se beneficia por ter o fornecedor primário de degelo como uma subsidiária do aeroporto — uma grande equipe de pessoal de degelo permanece em plantão 24 horas por dia (TANGER e CLAYTON, 2013).

3.3.2.7 Aeroporto LaGuardia (LGA)

O Aeroporto LaGuardia desenvolveu e executou um projeto de interligação das subestações elétricas. O aeroporto demanda quantidades significativas de energia elétrica para garantir uma operação eficiente e confiável. A energia é fornecida através de duas redes independentes que alimentam as duas subestações de aeroportos. Durante o verão de 2006, uma onda de calor desativou uma das subestações. A interligação das subestações assegura operações ininterruptas no aeroporto, uma vez que se pode optar por uma ou outra numa eventual descontinuidade de fornecimento. As projeções para o aumento da temperatura, juntamente com ondas de calor mais frequentes e mais longas, tornam a confiabilidade da rede elétrica e a redundância de grandes problemas para infraestrutura na área metropolitana da cidade de Nova York. Com a interligação, espera-se que o aeroporto tenha menos impactos quanto ao fornecimento de energia em decorrência de altas temperaturas no cenário de mudanças climáticas (MCLAUGHLIN et al., 2011).

3.3.2.8 Aeroporto de Boston

O Aeroporto de Boston é quase totalmente cercado por água e, para o torná-lo mais resiliente, algumas medidas a serem tomadas foram divulgadas. Uma dessas medidas consiste na

compra de barreiras de inundação temporárias que podem ser reposicionadas conforme necessário durante um evento adverso. As barreiras podem potencialmente ajudar a proteger os equipamentos e as instalações críticas contra inundação. Uma das ações executadas em 2015 foi a impermeabilização de pontos de entrada de equipamentos críticos. Além disso, outras intervenções, como recolocação de geradores para andares superiores para suportar inundações e investimentos em bombas que desviam o excesso de águas e permitem um rápido tempo de recuperação do sistema de pistas após uma possível inundação, foram consideradas. Adicionalmente, a Massport prepara sua equipe fornecendo oportunidades educacionais e de treinamento para melhorar a resiliência organizacional e operacional (BIDGOOD, 2015)

3.3.2.9 Aeroporto de Dublin e Aeroporto de Shannon

O Aeroporto de Dublin usa modelos de drenagem para os fluxos máximos previstos, com as sobretaxas e os fluxos médios na rede de drenagem. Esses modelos incluem um fator de mudança climática em todos os cálculos.

O Aeroporto de Shannon possui uma estação meteorológica especializada em previsões para a aviação. Ambos os aeroportos, Dublin e Shannon, utilizam uma ampla gama de fontes de dados para as operações diárias. Esses dados incluem os meteorológicos de Met Éireann e UK Met Office. Essas fontes de dados são usadas para condições meteorológicas a curto prazo para permitir operações aeroportuárias eficientes. Os dados climáticos históricos, como as médias de 30 anos, são utilizados em alguns casos para estudos relacionados à drenagem ou aos impactos ambientais.

O Aeroporto de Shannon também possui um manual de procedimentos operacionais para garantir a provisão contínua de um aeródromo seguro durante eventos climáticos adversos, por exemplo, planos para situações de neve e gelo (DTTAS, 2016).

3.3.2.10 Aeroporto de Auckland

O Aeroporto Internacional de Auckland desenvolveu uma política integrada de sustentabilidade com um plano de ação que incorpora questões de mudança climática em toda a cadeia de valor, enquadrando as práticas empresariais sustentáveis como caminho a seguir. Esse plano foi projetado para complementar os requisitos potenciais de adaptação às mudanças climáticas para a Nova Zelândia (FINLEY e SCHUCHARD, 2011).

3.3.2.11 Aeroporto de Birmingham

A Tabela 10 apresenta o plano de ação elaborado para o Aeroporto de Birmingham.

Tabela 10 — Progresso do Plano de Ação de Adaptação às Mudanças Climáticas

Ação identificada em 2011	**Progresso até a revisão de 2016**
Segurança energética – desenvolvimento de energia renovável e/ou geração de energia solar ou uma instalação compartilhada de geração de energia renovável para uma maior segurança de fornecimento, um maior controle de energia e uma redução das emissões de CO2.	Progresso na instalação de painéis fotovoltaicos na construção de terminais. Continuação de investigações sobre renováveis como parte do Plano de Gerenciamento de Carbono.
Capacidade de infraestrutura – investigações em conjunto com a Universidade de Montfort para avaliar como a estrutura existente do aeroporto pode ser mais resiliente em termos de capacidade de aquecimento e refrigeração, e também sua conformidade com a Diretiva de Desempenho de Energia em Edifícios, que adota certificados de desempenho de energia para os edifícios e fornece ações detalhadas de melhoria da eficiência energética.	A implantação de requisitos de eficiência ainda na foi alcançada para para toda a infraestrutura existente, mas protocolos de gerenciamento de ativos sim.
Capacidade de infraestrutura – as avaliações de investimento de capital para infraestruturas futuras e desenvolvimento de construção incorporarão análise que inclua resiliência às mudanças climáticas.	Os projetos de infraestrutura, no geral, avaliam a eficiência energética, a sustentabilidade e, quando apropriado, a resiliência às mudanças climáticas.
Risco de inundação – o aeroporto realizou uma avaliação de risco de inundação como parte da investigação de planejamento para a extensão da pista. A avaliação identificou que o risco era inferior ao mostrado no Mapa da Zona de Inundação da Agência de Meio Ambiente. Por meio de obras de engenharia e drenagem, incluindo o realinhamento da A45 e o desvio de cursos de água a montante, a avaliação mostrou que o esquema de extensão da pista será seguro e reduzirá os níveis de enchentes potenciais do aeroporto para um evento de 1 por 100 anos, incluindo um subsídio de mudança de clima de 30% conforme solicitado pela Agência de Meio Ambiente (a ser concluída até 2014).	As operações do aeródromo monitoram os níveis do curso de água. Nenhuma ocorrência de inundação aconteceu no aeródromo e a extensão da pista forneceu os benefícios esperados na avaliação de risco.

Risco de inundação – estudo para avaliação do risco de inundação do aeroporto, no extremo norte do aeródromo, e as medidas de mitigação necessárias.	O sistema de drenagem do North Airfield aliviou o risco de inundação do aeroporto. Isso aumentou a capacidade do sistema durante os fortes eventos. Medidas de prevenção de inundações foram implementadas em uma das subestações críticas do aeroporto devido a problemas de inundação.
Eventos climáticos extremos, como tempestades elétricas/aumento do vento – o aeroporto investigará equipamentos e/ou dados que fornecerão informações melhoradas em tempo real sobre vento, cisalhamento do vento e monitoramento de tempestades. O aumento das rajadas de vento e as possíveis mudanças de direção são esperados como resultado das mudanças climáticas, mas os detalhes são incertos.	Eventos climáticos extremos são monitorados continuamente no aeródromo. Os detalhes ainda são incertos sobre eventos meteorológicos extremos previstos no futuro como resultado das mudanças climáticas. O aeroporto respondeu adequadamente aos eventos extremos que ocorreram e está apto a aceitar pousos de aeronaves desviadas de outros aeroportos devido a eventos meteorológicos.

Fonte: Sustainability Department of Birmingham Airport (2016)

3.3.2.12 Aeroporto de Jackson, Mississippi (JMAA)

O Aeroporto de Jackson mantém os telefones e os computadores funcionando com informações meteorológicas e relatórios de radar em segundo plano e divulga informações sobre as condições do tempo do Serviço Meteorológico Nacional durante todo o dia. Quando a meteorologia se torna um "aviso", o JMAA implementa o *Crisis Management Center*, faz chamadas para confirmar o *status* e alertar as companhias aéreas, operadores e outros usuários sobre os possíveis impactos. Desde o furacão Katrina, o aeroporto adquiriu um tanque de armazenamento adicional de 500 galões acima do solo para combustível e desenvolve um projeto que permitirá 72 horas de energia com base em geradores de bicombustível (ACRP, 2012).

3.3.2.13 Newark Liberty International Airport (EWR)

Segundo a *Port Authority of New York and New Jersey* (2013), após o furacão Sandy, o EWR vem implantando ações para garantir resiliência operacional e física perante as mudanças climáticas. Como parte dos projetos e estratégias de gerenciamento de risco de inundação, em

2013 o EWR estava no processo de instalação de aproximadamente 2.200 metros quadrados de "colchão marinho" ao longo de áreas afetadas para evitar futuras erosões. O colchão foi projetado para estabilizar encostas íngremes, fluxo ou controle da erosão. A alta massa e a porosidade, a flexibilidade e a estabilidade hidráulica do sistema de colchão e as características de dissipação de energia permitem suportar ambientes de água salgada e condições de onda

Algumas iniciativas planejadas para o aeroporto são:

- A instalação de um gerador de *backup* na estação de bombas da cidade de Newark para evitar inundações no aeroporto e na área circundante quando o primário não está em serviço.
- Adequação do tamanho da drenagem que atende ao Terminal B para evitar que as áreas de nível inferior sejam inundadas.
- Instalação de prevenção de refluxo em todas as saídas de dique periféricas.
- Atualização do sistema de drenagem periférica.

3.3.2.14 Philadelphia International Airport (PHL)

PHL planejou o aeródromo para as mudanças climáticas e identificou algumas estratégias para aumentar a resiliência relacionada ao aumento do nível do mar, temperatura extrema e tempestades mais frequentes e intensas:

- Integração das questões de mudança climática planejamento estratégico e atividades operacionais.
- Adequação da infraestrutura existente e planejada para riscos climáticos.
- Adoção de horizontes de tempo mais longos para planejamento aeroportuário para internalizar as futuras mudanças climáticas. Atualmente, há uma discordância entre o período de planejamento de 20 anos do aeroporto e a vida de infraestrutura de *design* e os impactos crescentes das mudanças climáticas.
- Atualização das subestações elétricas. Em resposta a eventos extremos de precipitação e inundações que resultaram em quedas de energia e o fechamento do aeroporto, o PHL investiu em atualizações para subestações elétricas para garantir a operação contínua. Essas atualizações também aumentarão a resiliência do aeroporto para fazer quedas de energia de outros estressores climáticos, como calor extremo e tempestades de neve (MAYOR'S OFFICE OF SUSTAINABILITY AND ICF INTERNATIONAL, 2015).

3.3.2.15 Aeroporto Internacional John F. Kennedy (JFK)

A Autoridade Portuária de Nova York e Nova Jersey remodelou a pista 13R-31L no Aeroporto JFK com características de *design* com vistas a mitigar o efeito da ilha de calor urbano e a gerir melhor as águas pluviais. O projeto de renovação apresentou uma série de iniciativas sustentáveis e medidas de adaptação às mudanças climáticas, destinadas a reduzir o impacto ambiental do aeroporto ao longo da vida útil da pista. Uma análise de custos do ciclo de vida levou a Autoridade Portuária a utilizar pavimento de concreto em lugar de asfalto. O projeto usou Autoridade Portuária e financiamento federal.

O projeto de reabilitação também instalou um canal de águas pluviais para gerenciar melhor o escoamento e reduzir o impacto nos sistemas de drenagem. O canal permite que a água coletada percola no solo, em vez de ser canalizada. Isso reduz o risco de sobrecarregar o sistema de drenagem convencional do aeroporto e de causar um risco adicional de inundação durante as tempestades (PORT AUTHORITY OF NEW YORK AND NEW JERSEY, 2010).

4. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para se atingir o objetivo proposto, desenvolve a aplicação da análise, discute os resultados e apresenta ações possíveis para o aeroporto mais crítico segundo as premissas e critérios adotados.

4.1 PROCEDIMENTOS ADOTADOS (METODOLOGIA)

Para se alcançarem os objetivos propostos, foram adotadas as etapas e ações abaixo descritas, as quais são sintetizadas na Figura 13. Por meio delas, é possível verificar o desencadeamento da análise, que se inicia com a avaliação dos impactos das condições metereológicas nas operações e se conclui com a avaliação da resiliência dos aeroportos selecionados e a proposição de medidas para aquele pior classificado.

1º Etapa: Avaliação dos impactos climatológicos nas operações aeroportuárias, interface aeronaves e aeroportos.

Esta etapa um foi composta pelas seguintes tarefas:

- Tarefa 1a): Definição dos aeroportos objeto de análise (E1T1a, em que: E1 indica a Etapa 1 e T1a, a Tarefa 1a).

- Tarefa 1b): Avalição do impacto das condições meteorológicas adversas nas operações aeronáuticas e aeroportuárias em termos de cancelamento de pousos. Os pousos foram escolhidos porque, no que diz respeito à interface operacional aeroporto e aeronave, é a fase mais sensível e crítica às condições meteorológicas. Ademais, em termos de impacto financeiro ao operador do aeroporto, é também um dos mais representativos, já que, entre as taxas que compõem os custos de utilização da infraestrutura, existe a de pouso. Nesse sentido, um pouso cancelado por condições adversas inviabiliza a cobrança da taxa de pouso e permanência de uma aeronave em solo. Trata-se, portanto, do menor impacto financeiro, já que outras perdas não foram consideradas, como aquelas decorrentes do não consumo de passageiros no aeroporto de destino e os gastos incorridos pelas cias aéreas com reacomodações. Para esta avaliação foi adotada uma série histórica de 10 anos (2006 -2016) (E1T1b).
- Tarefa 2a): Caracterização dos aeroportos selecionados em termos de parâmetros meteorológicos (e.g., névoa seca, úmida, nevoeiro, chuva forte, moderada e leve, pancada de chuva, volume de precipitação, temperatura, vento máximo, rajadas de vento, visibilidade). Nota: a caracterização foi realizada com base nos dados disponíveis para cada aeroporto entre 2006-2016 (10 anos, conforme adotado para cancelamentos), de modo que, mesmo que um aeroporto esteja na mesma localidade geográfica, exemplo Santos Dumont e Galeão, não se admitiu que os resultados observados na estação de um deles sejam adotados, na hipótese da falta de dados, para o outro (E1T2a).
- Tarefa 2b): Verificação se os parâmetros meteorológicos explicam os cancelamentos de cada aeroporto. Essa verificação foi realizada por meio de análise de regressão, adotando os *softwares* Excel e R versão 3.4.2. (E1T2b)
- Tarefa 3a): Proposição de um indicador de avaliação do grau de impacto dos cancelamentos provocados pela meteorologia nos padrões operacionais de cada aeroporto. A proposta desenvolvida considerou a adoção de uma taxa (voos cancelados/por voos programados), sendo os graus de impacto (i.e., esperado, aceitável, moderado e severo) estabelecidos com base em premissas da distribuição normal, onde: a) o impacto será considerado normal ou esperado quando for menor ou igual à taxa média (últimos 5 anos); b) o impacto será considerado aceitável quando for menor ou igual à taxa média mais um desvio padrão; c) o impacto será considerado moderado quando for menor ou igual à taxa média mais 2 desvios

padrão; d) o impacto será considerado severo quando for maior do que 2 desvios ou maior ou igual a 3 desvios padrão (E1T3a).

- Tarefa 3b): Para verificar se a taxa adotada possuía distribuição normal, de modo a tornar válidas as premissas adotadas (i.e., média e desvio padrão), foi aplicado o Teste de Shapiro Wilk, que permite verificar a aderência de uma variável quantitativa ao modelo de distribuição normal (E1T3b).
- Tarefa 4a): 1) Aplicação da avaliação de impacto proposta aos aeroportos definidos, tendo 2016 como ano de referência; 2) identificação os aeroportos que tiveram impactos de igual ou maior a moderado, o que inclui severo no respectivo ano (2016) e mês de referência; 3) ampliação do detalhamento de análise desses impactos, identificando: a) dia(s) em que houve o maior número de cancelamento no mês de referência; b) faixa horária dos cancelamentos; e c) as condições meteorológicas registradas na faixa horária dos cancelamentos (E1T4a).
- Tarefa 4b): Classificação (i.e., "ranqueamento") dos aeroportos segundo taxa ou indicador de impacto meteorológico calculado (E1T4b)
- Tarefa 5): Contabilização dos impactos econômicos em termos de arrecadação nos dois aeroportos mais críticos segundo a classificação realizada.

2º Etapa: Avaliação dos aeroportos segundo elementos de resiliência a interferências climáticas. Pressuposto: a resiliência de um aeroporto poderá ser avaliada sob diferentes aspectos, sendo aqui considerados os subsistemas e/ou equipamentos que têm interface com a metereologia e que por ela podem ser afetados, ou que podem influenciar na operacionalidade do aeroporto.

- Tarefa 1): Caracterização dos aeroportos segundo seus subsistemas e equipamentos com interface climatológica ou que possam ser determinantes na sua operacionalidade sob condições adversas (E2T1).
- Tarefa 2a): Proposição de procedimento simplificado (ou algoritmo) para avaliação do grau (ou índice) de resiliência dos subsistemas e/ou equipamentos e, consequentemente, do aeroporto, considerando as premissas anteriores (i.e., interface climatológica ou determinante na operacionalidade do aeroporto sob condições adversas). A proposta desenvolvida considerou a aplicação de um sistema de inferência *fuzzy*, onde foram definidas as variáveis de entrada (i.e., *input*) e saída (i.e., *output*), seus atributos e suas regras de inferência. Para o desenvolvimento do sistema, foi utilizado o *Fuzzy Logic Toolbox* do Matlab, seguindo o procedimento proposto por Mamdani (1975), já embutido no *software* (E2T2a).

- Tarefa 2b): Treinamento do sistema, testando entradas reais e analisando as respostas obtidas, contrastando-as com a realidade. Nesse sentido, foram realizados diversos testes, considerando os valores reais dos aeroportos investigados. Esse procedimento ocasionou a alteração da conformação das funções de pertinência, representadas pelos triângulos, que inicialmente haviam sido concebidas (E2T2b).
- Tarefa 2c): Aplicaçao do sistema desenvolvido e obtenção dos índices de resiliência (E2T2c).

3º Etapa: Proposição de medidas com vistas a aumentar a resiliência do aeroporto pior avaliado.

- Tarefa 1a): Identificação de intervenções possíveis, em termos de infraestrutura e equipamentos (E3T1a).
- Tarefa 1b) Avaliação simplificada quanto à viabilidade física de intervenção (E3T1b).
- Tarefa 1c) Mensuração do índice de resiliência alcançado na hipótese de execução de uma ou mais intervenções, utilizando o sistema desenvolvido e quando a intervenção foi compatível com uma ou mais entradas nele disponíveis (E3T1c).

4º Etapa: Emitir conclusão da análise (E4).

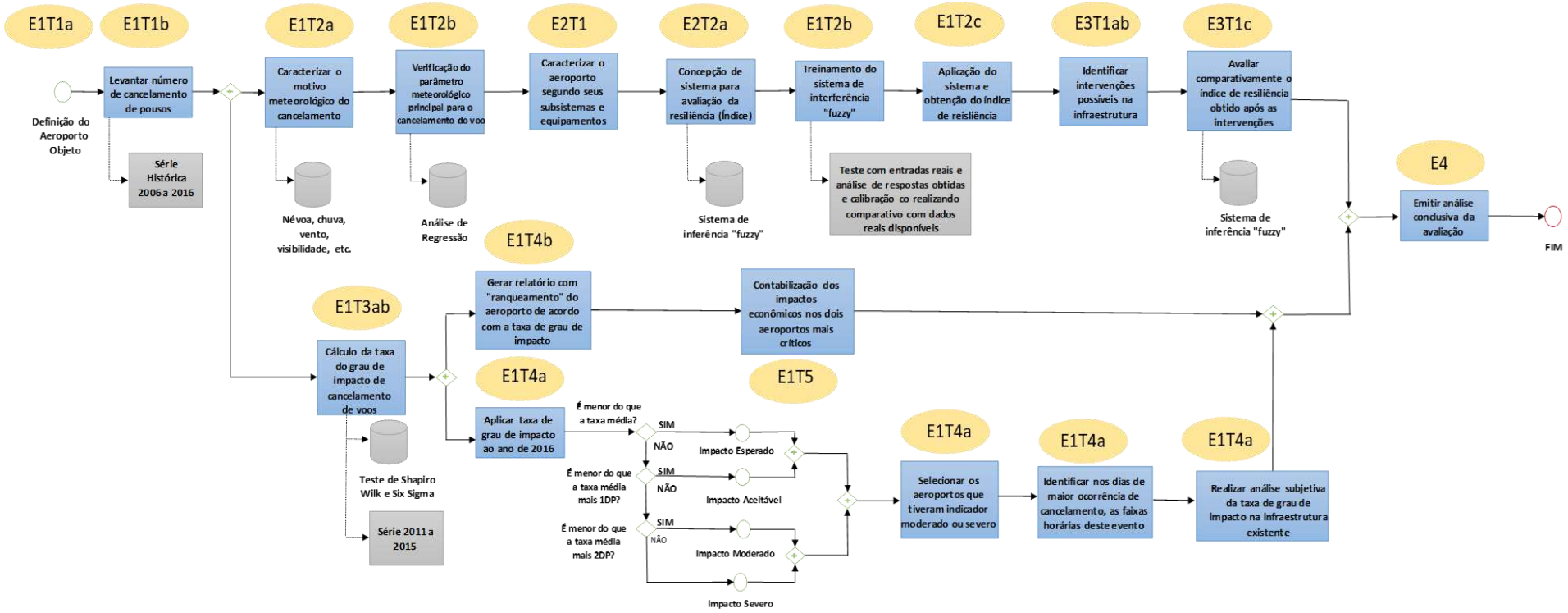


Figura 13 — Fluxo de execução da análise

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AEROPORTOS DE ANÁLISE

Para a aplicação da análise proposta foram escolhidos dois pares de aeroportos geograficamente próximos, mas com características distintas. Esses aeroportos, no caso, Santos Dumont, Galeão, Congonhas e Guarulhos, estão entre os seis mais movimentados do país e são muito relevantes para o sistema aeroportuário brasileiro (BRASIL, 2016a-d; ANAC, 2016). Informações gerais sobre esses aeroportos são apresentadas nas figuras 14 e 15, e nas tabelas 11 e 12.

Figura 14 — Distância entre o Aeroporto Santos Dumont e Galeão
Fonte: Google Earth (2017)

Tabela 11 — Comparativo simples entre os Aeroportos Santos Dumont e Galeão

Distâncias entre os Aeroportos Santos Dumont e Galeão	
Distância entre aeroportos	14,30 Km (19 Km por terra)
Dif. de nº de voos (2015)	141.549 - 139.561 = ▲1.988
% de movimento do menor em relação ao maior aeroporto	98,60 %

Fonte: DECEA (2015)

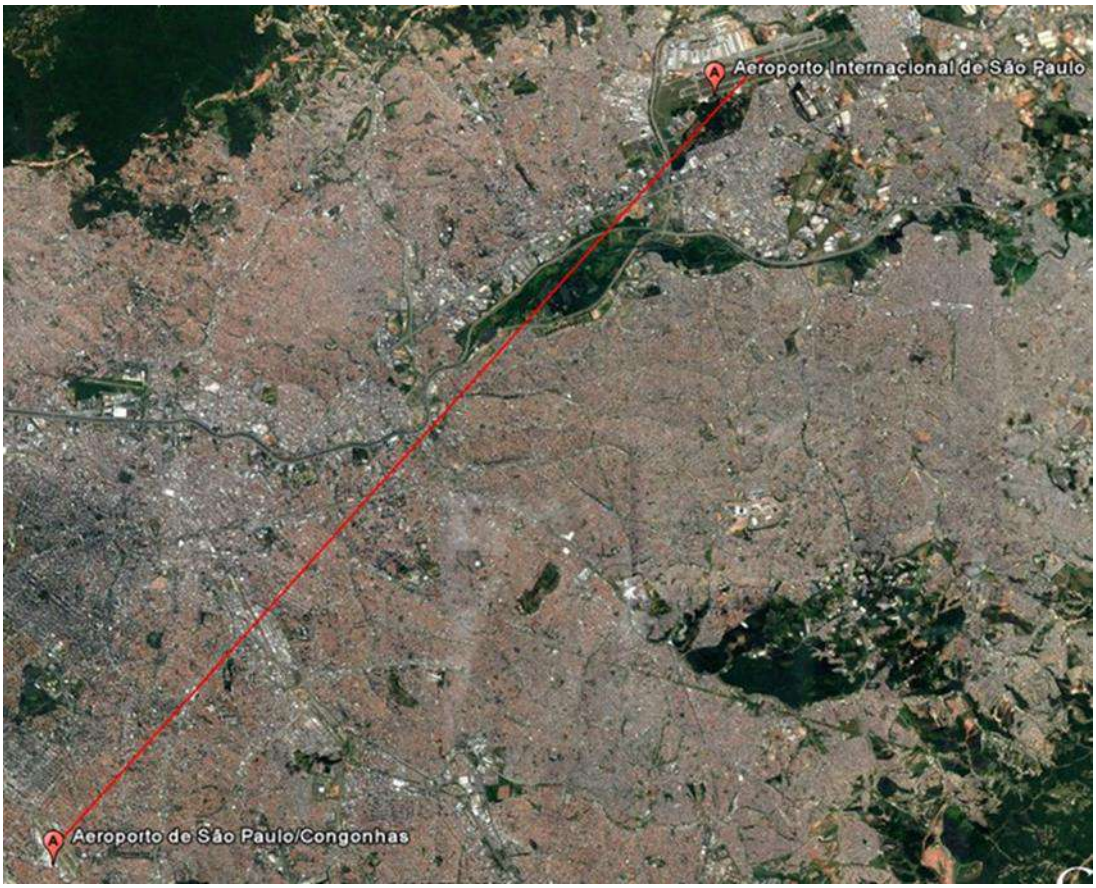


Figura 15 — Distância entre o Aeroporto de Congonhas e Guarulhos
Fonte: Google Earth (2017)

Tabela 12 — Comparativo simples entre os Aeroportos de Guarulhos e Congonhas

Distâncias entre os Aeroportos Santos Dumont e Galeão	
Distância entre aeroportos	28,21 Km (38 Km por terra)
Dif. de nº de voos (2015)	299.457 - 221.534 = ▲77.923
% de movimento do menor em relação ao maior aeroporto	73,98 %

Fonte: DECEA (2015)

4.2.1 Caracterização da infraestrutura e dos equipamentos

4.2.1.1 Aeroporto Santos Dumont

Tabela 13 — Características SBRJ

Código ICAO	SBRJ
Subsistema Pista	
Número	2
Comprimento	Principal: 1323
	Auxiliar: 1260
Largura	Principal: 42m
	Auxiliar: 30m
Configuração	Paralela

Distância entre eixos	
Tipo de pavimento	Asfáltico
Macrotextura	Camada porosa e *grooving*
Subsistema pátio	
Área	
Número de posições de aeronaves	20
Número de pontes de embarque	8
Subsistema Navegação	
Tipo de operação	VFR Diurno/Noturno e IFR Não Precisão Diurno/Noturno
Auxílios de navegação	LOC/DME
Auxílios de navegação	PAPI, Luzes de pistas, laterais
Auxílios meteorológicos	EMS-2
Procedimentos pouso e decolagem homologados	Convencional/RNAV/RNP
Subsistema Terminal	
Acessos	Veículo Individual, Ônibus Convencional e VLT

4.2.1.2 Aeroporto do Galeão

Tabela 14 — Características SBGL

Código ICAO	SBGL
Subsistema Pista	
Número	2
Comprimento	Principal 1: 4.000
	Principal 2: 3.180
Largura	Principal 1: 45m
	Principal 2: 47
Configuração	V Aberto
Distância entre cabeceiras	
Tipo de pavimento	Concreto e Asfáltico
Macrotextura	-
Subsistema Pátio	
Área	
Tipo de pavimento	Asfalto
Número de posições de aeronaves	58
Número de pontes de embarque	32
Subsistema navegação	
Tipo de operação	VFR e IFR
Auxílios de navegação	CAT I e CAT II
Auxílios de navegação	ALS, Luzes de pistas, laterais
Auxílios meteorológicos	EMS-1
Procedimentos pouso e decolagem homologados	Convencional/RNAV
Subsistema terminal	

Acessos	Veículo Individual, Ônibus Convencional e Ônibus BRT

4.2.1.3 Aeroporto de Congonhas

Tabela 15 — Características SBSP

Código ICAO	SBSP
Subsistema pista	
Número	2;
Comprimento	Principal: 1.940
	Auxiliar: 1.435
Largura	Principal 1: 45m
	Principal: 45
Configuração	Paralela: 45
Distância entre pistas	Menos de
Tipo de pavimento	Concreto e Asfáltico
Macrotextura	-
Subsistema pátio	
Área	
Tipo de pavimento	Asfalto
Número de posições de aeronaves	26
Número de pontes de embarque	12
Subsistema navegação	
Tipo de operação	VFR e IFR
Auxílios de navegação	CAT I
Auxílios de navegação	Luzes de pistas, laterais
Auxílios meteorológicos	EMS-2
Procedimentos pouso e decolagem homologados	Convencional/RNAV/RNP
Subsistema terminal	
Acessos	Veículo Individual, Ônibus Convencional

4.2.1.4 Aeroporto de Guarulhos

Tabela 16 — Características SBGR

Código ICAO	SBGR
Subsistema pista	
Número	2
Comprimento	Principal 1: 3.700
	Principal 2: 3.000
Largura	Principal 1: 45m
	Principal 2: 45
Configuração	Paralela
Distância entre cabeceiras	

Tipo de pavimento	Asfáltico
Macrotextura	Convencionar
Subsistema pátio	
Área	
Número de posições de aeronaves	86
Número de pontes de embarque	45
Subsistema navegação	
Tipo de operação	VFR e IFR
Auxílios de navegação	CAT I e CAT II
Auxílios de navegação	ALS, Luzes de pistas, laterais
Auxílios meteorológicos	EMS-1
Procedimentos pouso e decolagem homologados	Convencional/RNAV
Acessos	Veículo Individual, Ônibus Convencional e Ônibus BRT

4.2.2 Caracterização Climática

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o clima pode ser estudado por meio de suas dimensões espacial e temporal, sendo ambas avaliadas conjuntamente conforme apresentando na Tabela 17.

Tabela 17 — Estrutura das escalas espacial e temporal do clima

Ordem de grandeza	Subdivisão	Escala horizontal	Escala Vertical	Temporariedade das variações	Exemplificação
Macro clima	Clima zonal e regional	>2.000 km	3 a 12 Km	De semanas decênios	Globo, continente, oceano, etc.
Mesoclima	Clima Regional, local topoclima	2.000 km a 10 km	12 km a 100 m	De horas a dias	Região natural, metropolitana, cidade, etc.
Microclima	Local	10 km a metros	Abaixo de 100 m	De minutos ao dia	Bosque, uma edificação, logradouro, aeroporto, etc.

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007)

O presente estudo se concentra entre as dimensões microclimática, como o sítio aeroportuário e os sistemas de pistas, e mesoclimática, como a zona de controle de aproximação e a zona de tráfego do aeródromo. Por ser uma análise que considera o tipo de tempo, a variabilidade climática de curta duração e o estabelecimento de médias, a escala temporal é contemporânea, onde se concentram a maioria dos estudos climatológicos da atualidade (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Além de observar a frequência e o comportamento dos eventos climáticos no SBRJ, SBGL, SBSP e SBGR, conforme apresentando em síntese no Anexo 1, também foi realizada uma comparação entre esses quatro aeroportos. Essa comparação foi realizada com base nos dados referentes ao período de 2006 até 2016, por representarem uma série histórica dos últimos dez anos com menor descontinuidade de dados. Entretanto, o SBSP não dispunha de dados sobre os eventos analisados para os anos de 2007 e 2008 e, por isso, esses dois anos foram excluídos da análise para os demais aeroportos.

Os valores utilizados na comparação entre os aeroportos foram obtidos a partir das médias mensais de cada ano (únicos valores disponíveis na base de dados adotada pelo presente estudo), ou seja, primeiro foi realizada uma média dos valores mensais para cada ano e, em seguida, foi realizada uma média com as médias dos anos do período considerado, sendo obtida uma média com esses valores obtidos para cada ano. Deve-se considerar que as medições são realizadas de forma individualizada em cada aeroporto, com instrumentos e, eventualmente, frequências próprias, o que pode influenciar na variabilidade dos resultados. Como pode ser visto na Tabela 18, o SBRJ é o aeroporto que apresentou a maior temperatura média (24,27°C) nos últimos anos, enquanto o SBGR apresentou a menor temperatura média (19,39°C).

Tabela 18 — Temperatura média nos aeroportos analisados

		Temperatura		
Posição	Aeroporto	°C	Desvio Padrão	Mediana
1	SBRJ	24,27	0,49	24,22
2	SBGL	24,23	0,29	24,19
3	SBSP	20,24	0,45	20,00
4	SBGR	19,39	0,38	19,27

Além dos anos de 2007 e 2008, outros anos foram retirados da análise da visibilidade horizontal, pois alguns aeroportos não apresentam a série completa sobre esse evento, ou seja, não possuem dados para todos os meses de determinado ano. Sendo assim, a média foi realizada com base nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, que são os anos para os quais os aeroportos possuem a série completa. Além disso, o SBSP não foi introduzido nesta análise porque não possui uma série completa sobre esse evento no período utilizado para análise (2006-2016). Como pode ser visto na Tabela 19, o SBRJ foi o Aeroporto que apresentou a maior visibilidade, seguido pelo SBGR e o SBGL, que foi o aeroporto que apresentou a menor visibilidade entre os três analisados.

Tabela 19 — Visibilidade Horizontal média nos aeroportos analisados

Visibilidade Horizontal				
Posição	Aeroporto	Dam*	Desvio Padrão	Mediana
1	SBRJ	1.506,32	81,68	1.443
2	SBGR	1.137,13	91,80	1.183
3	SBGL	1.027,89	303,13	1.165
4	SBSP	*	*	*

*Dam (decâmetro) = 10m

Conforme a Tabela 20, o Aeroporto de Congonhas apresentou nos últimos anos uma precipitação média mensal de 123,36 mm, sendo o aeroporto com o maior valor médio para esse evento. Com uma precipitação média de 83,09 mm, o Santos Dumont foi o aeroporto com o menor valor para a precipitação média.

Tabela 20 — Precipitação média nos aeroportos analisados

Precipitação				
Posição	Aeroporto	mm	Desvio Padrão	Mediana
1	SBSP	123,36	26,27	129
2	SBGR	103,87	28,76	109
3	SBGL	90,61	28,00	77
4	SBRJ	83,09	31,81	76

A partir da Tabela 21, observa-se que o SBGL foi o aeroporto que apresentou o maior vento máximo médio (29,13 kt), seguido pelo aeroporto de Guarulhos (22,81 kt). Além disso, com uma diferença de apenas 0,6 kt para o terceiro colocado (SBSP), o SBRJ foi o aeroporto que apresentou o menor valor médio para o vento máximo.

Tabela 21 — Vento Máximo média nos aeroportos analisados

Vento Máximo				
Posição	Aeroporto	Kt*	Desvio Padrão	Mediana
1	SBGL	29,13	1,15	24
2	SBGR	22,81	1,59	22
3	SBSP	21,92	1,98	21
4	SBRJ	21,32	1,15	20

*1Kt (nó) = 1,852 km/h

Para o evento chuva leve, foi analisada a frequência com que esse evento ocorreu em cada aeroporto. Sendo assim, como pode ser visto na Tabela 22, observa-se que o SBGL foi o aeroporto em que esse evento ocorreu com uma maior frequência, apresentando um valor médio mensal de

39,06 vezes. Já no SBRJ, esse evento ocorreu com uma menor frequência, quando comparado com os outros três, com média 37 vezes por mês.

Tabela 22 — Frequência média da ocorrência de Chuva Leve nos aeroportos analisados

Chuva Leve				
Posição	Aeroporto	Frequência	Desvio Padrão	Mediana
1	SBGL	39,06	9,09	41
2	SBSP	37,85	6,45	37
3	SBGR	37,75	6,48	41
4	SBRJ	37,00	5,93	39

Quanto à chuva moderada, Tabela 23, observa-se que, no Aeroporto de Guarulhos, esse evento ocorreu mais vezes do que nos outros aeroportos, apresentando uma frequência média mensal de 6,38, seguido pelo Aeroporto de Congonhas, com 5,82. Os aeroportos do Rio de Janeiro (SBRJ e SBGL) foram os aeroportos em que esse evento ocorreu menos vezes, e a diferença entre a frequência dos dois aeroportos é de apenas 0,05.

Tabela 23 — Frequência média da ocorrência de Chuva Moderada nos aeroportos analisados

Chuva Moderada				
Posição	Aeroporto	Frequência	Desvio Padrão	Mediana
1	SBGR	6,38	2,75	6
2	SBSP	5,82	2,07	4
3	SBGL	4,15	1,50	3
4	SBRJ	4,10	1,03	4

O SBSP foi o aeroporto que apresentou uma maior ocorrência de chuva forte nos últimos anos, de modo que o valor encontrado é 2,66 maior do que o valor encontrado para segundo colocado, o SBGL. Além disso, como pode ser visto na Tabela 24, a frequência do SBSP é 3,54 vezes maior do que que a frequência do Aeroporto de Guarulhos, que é onde esse evento ocorreu menos vezes.

Tabela 24 — Frequência média da ocorrência de Chuva Forte nos aeroportos analisados

Chuva Forte				
Posição	Aeroporto	Frequência	Desvio Padrão	Mediana
1	SBSP	1,81	0,89	1
2	SBGL	0,68	0,49	0,5
3	SBRJ	0,62	0,44	0,4
4	SBGR	0,51	0,33	0,5

Além do vento chuva forte, o SBSP também foi o aeroporto que obteve a maior frequência para o evento pancada de chuva. Como pode ser visto na Tabela 25, o SBRJ e o SBGR apresentam a mesma frequência para este evento, enquanto que o SBGL foi o aeroporto com a menor frequência média.

Tabela 25 — Frequência média da ocorrência de Pancada de Chuva nos aeroportos analisados

Pancada de Chuva				
Posição	Aeroporto	Frequência	Desvio Padrão	Mediana
1	SBSP	0,33	0,21	0,3
2	SBRJ	0,08	0,09	0,1
2	SBGR	0,08	0,08	0,1
3	SBGL	0,03	0,05	0,0

Apesar de ser o aeroporto com a menor ocorrência de pancadas de chuva nos últimos anos, o SBGL foi o aeroporto em que mais se observou o evento névoa seca nos últimos anos. Enquanto isso, o SBRJ apresentou menos da metade de ocorrências que o SBGL, conforme a Tabela 26. Entretanto, apesar de apresentar a menor frequência média, o SBRJ apresenta um mediana maior que o SBSP que ficou em terceiro lugar e igual ao do SBGR que ficou em segundo lugar.

Tabela 26 — Frequência média da ocorrência de Névoa Seca nos aeroportos analisados

Névoa Seca				
Posição	Aeroporto	Frequência	Desvio Padrão	Mediana
1	SBGL	210,86	83,81	189
2	SBGR	119,06	31,87	118
3	SBSP	101,17	32,38	82
4	SBRJ	90,05	10,90	118

Apresentando uma frequência quase duas vezes maior do que a do aeroporto com o menor número de ocorrências (SBRJ), o Aeroporto de Guarulhos foi o que obteve o maior número de ocorrências de névoa úmida nos últimos anos (Tabela 27).

Tabela 27 — Frequência média da ocorrência de Névoa Úmida nos aeroportos analisados

Névoa Úmida				
Posição	Aeroporto	Frequência	Desvio Padrão	Mediana
1	SBGR	378,18	45,86	361
2	SBSP	245,21	95,67	212
3	SBGL	212,86	59,54	213
4	SBRJ	200,04	35,79	361

Por fim, foi analisada a frequência em que os nevoeiros ocorreram nos quatro aeroportos estudados. O Aeroporto de Guarulhos foi o que que mais apresentou esse evento, com uma frequência média de 20 vezes por mês. Como pode ser visto na Tabela 28, esse valor é bastante elevado quando comparado com o SBGL, o SBRJ e o SBSP, que apresentam 3,43, 1,69 e 1,51, respectivamente.

Tabela 28 — Frequência média da ocorrência Nevoeiro nos aeroportos analisados

Nevoeiro				
Posição	Aeroporto	Frequência	Desvio Padrão	Mediana
1	SBGR	20,18	6,03	18
2	SBGL	3,43	1,42	3
3	SBRJ	1,69	1,01	1
4	SBSP	1,51	0,73	1

As figuras 16, 17, 18 e 19 apresentam os respectivos aeroportos, incluindo informações sobre rajadas, direção e velocidade dos ventos. Os gráficos mostram a frequência e a velocidade do vento que sopra de cada direção (em graus). Na medida em que se move para fora da escala radial, a frequência associada com o vento vindo daquela direção aumenta. O norte dos gráficos está alinhado ao norte de cada aeroporto, de modo que se torna possível projetar direção do vento sobre o sistema de pistas, identificando se configuram ventos de proa, calda ou cruzados. De acordo com recomendação da *Flight Safety Foundation* (AEROMAGAZINE, 2013), o vento de cauda não deve ser superior a 10 nós (para uma pista sem contaminação com água, por exemplo) e zero (para uma pista contaminada) para um pouso padrão. Já a OACI (2009), estabelece limites de ventos cruzados de acordo com tamanho da pista, sendo: menores de 1200 m – 10 nós; entre 1200 e 1500 m – 13 nós; e acima 1500 m – 20 nós.

No caso dos aeroportos estudados, as respectivas cabeceiras das pistas (ou lados) possuem condições para pousos e decolagens. Entretanto, como sabido, a definição de qual procedimento será adotado em determinado período será feita com base na direção e na velocidade dos ventos, os quais devem ser considerados quando da construção das pistas (ASHFORD, MUMAYIZ e WRIGHT, 2011).

Com relação ao Aeroporto Santos Dumont, representado na Figura 16 e que possui pistas paralelas, os gráficos de direção e velocidade dos ventos mostraram, no geral, maior incidência no sentido sul e direção do sistema de pistas, sentido cabeceira 20. Exceção foi observada para faixa 1 a 5 nós, que apresentou maior distribuição na cabeceira 02. Quanto às rajadas, observa-se que a faixa de 10 a 20 nós é a com a maior frequência de incidência cruzada. De qualquer modo, em menor ou maior grau, todas as faixas apresentaram ângulo de incidência que pode resultar em algum componente de vento sobre a aeronave.

No Aeroporto do Galeão, representando na Figura 17 e que possui duas pistas em V aberto, as rajadas, com exceção daquelas entre as faixas de 10 a 20 nós, estão em direção próxima ao sistema de pistas 10-28. Ao contrário, o sistema 15-33 esteve exposto às mesas rajadas em sentindo cruzado. Com relação à direção dos ventos, no geral, eles apresentaram maior incidência cruzada nos sistemas 10-28 até a faixa de 20 nós. De 20 nós acima, o mesmo ocorreu, mas com relação ao sistema 15-33.

No caso do Aeroporto de Congonhas, representado na Figura 18 e que possui pistas paralelas, as rajadas, com exceção da faixa de 1 a 15 nós, incidem com maior frequência em direção a cabeceira 35 da pista principal. Ao contrário, a faixa de 16 a 30 nós ocorre com maior frequência em direção à cabeceira 17. Em relação à direção e à velocidade dos ventos, o comportamento geral é de incidência no sentido cabeceira 17. Maior variação da distribuição da incidência foi observada na faixa de velocidade de 41 nós ou mais, que também apresentou direção cruzada.

Já o Aeroporto de Guarulhos, apresentado na Figura 19 e que possui pistas paralelas, apresentou maior incidência de rajadas e ventos com menor ou maior grau em direção cruzada ao sistema de pistas. Entretanto, para a faixa de vento entre 21 e 30 nós, houve maior incidência no sentido da cabeceira 09.

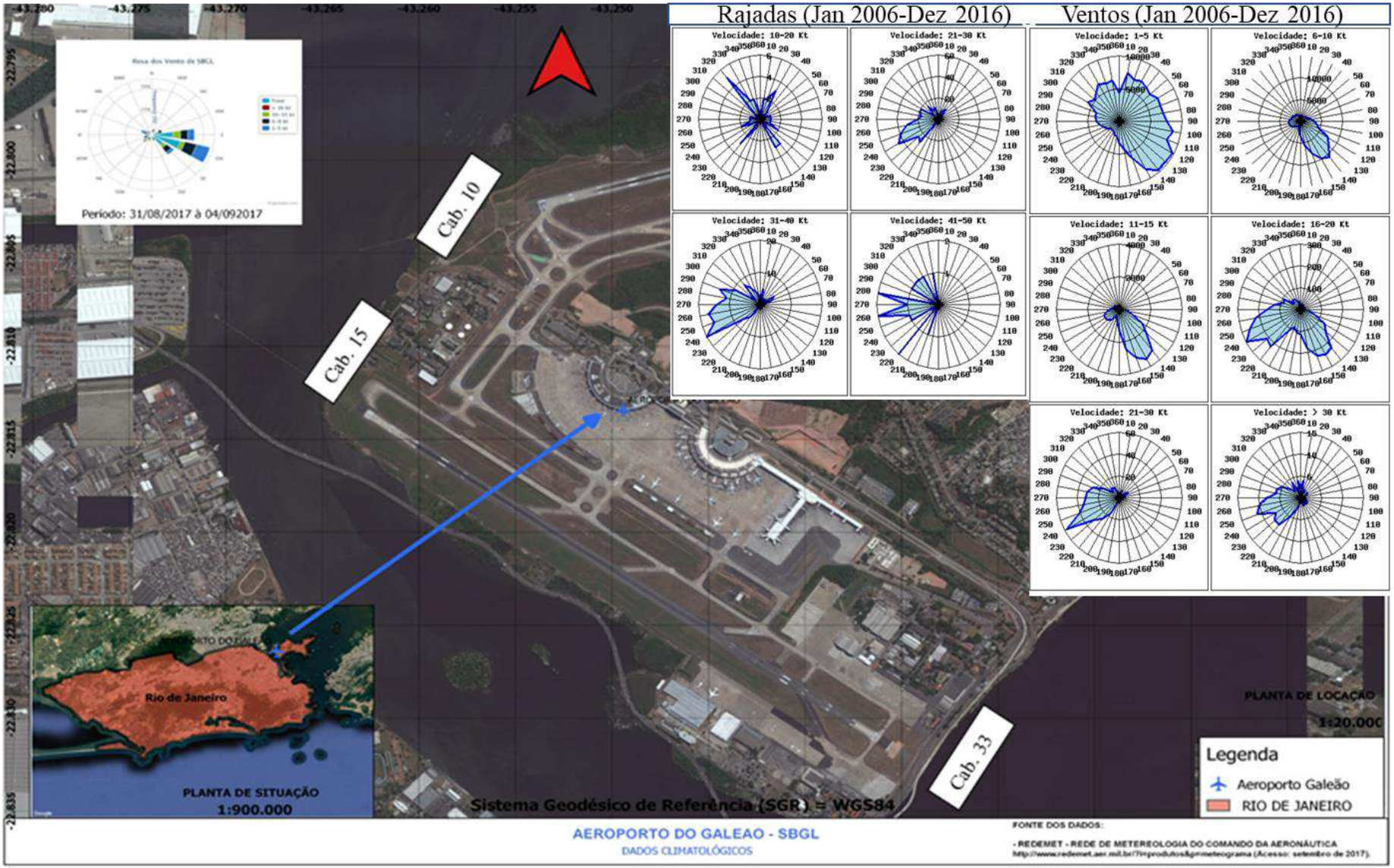


Figura 16 — Direção, velocidade de ventos em SBGL

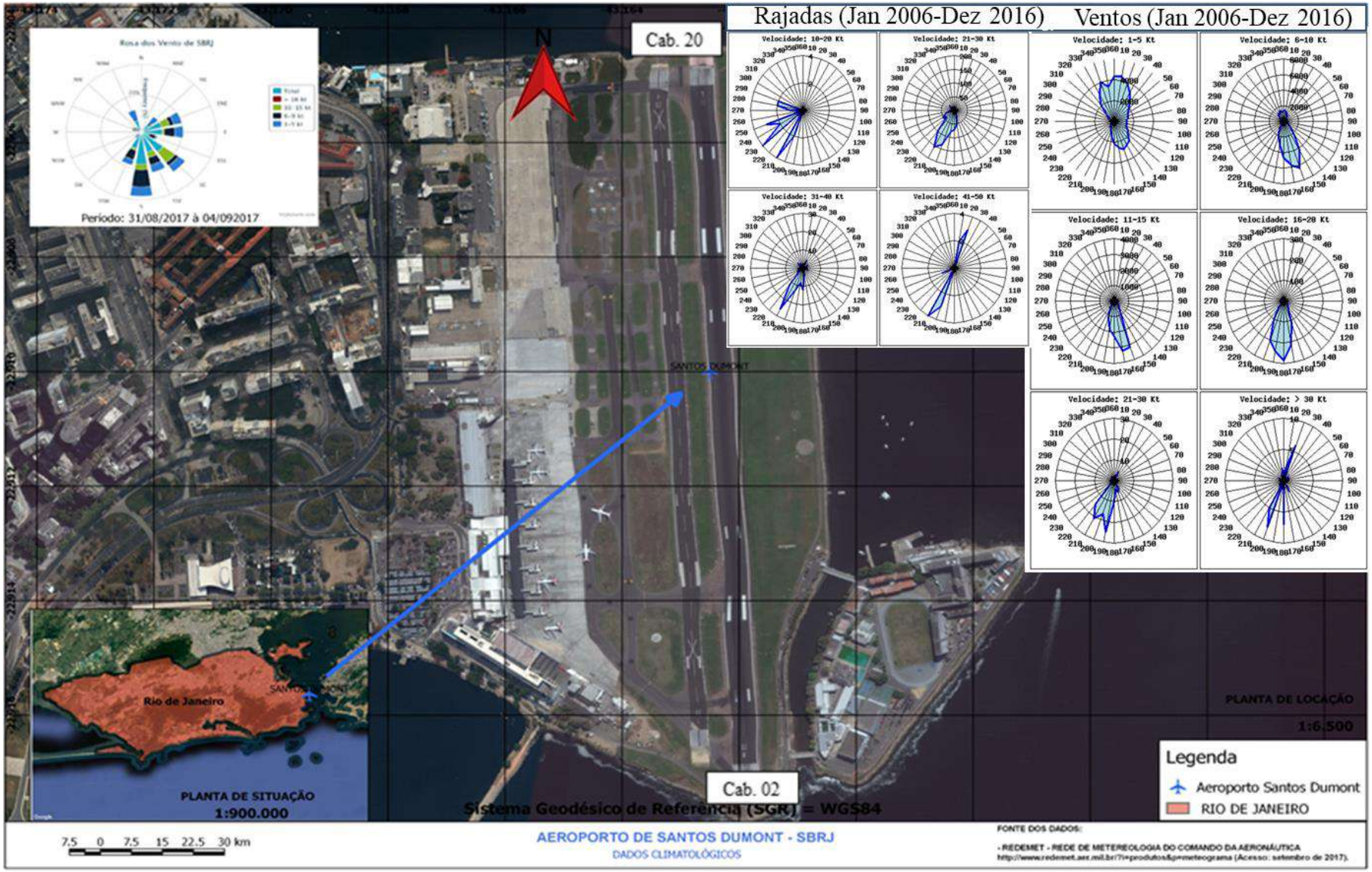


Figura 17 — Direção, velocidade de ventos em SBRJ

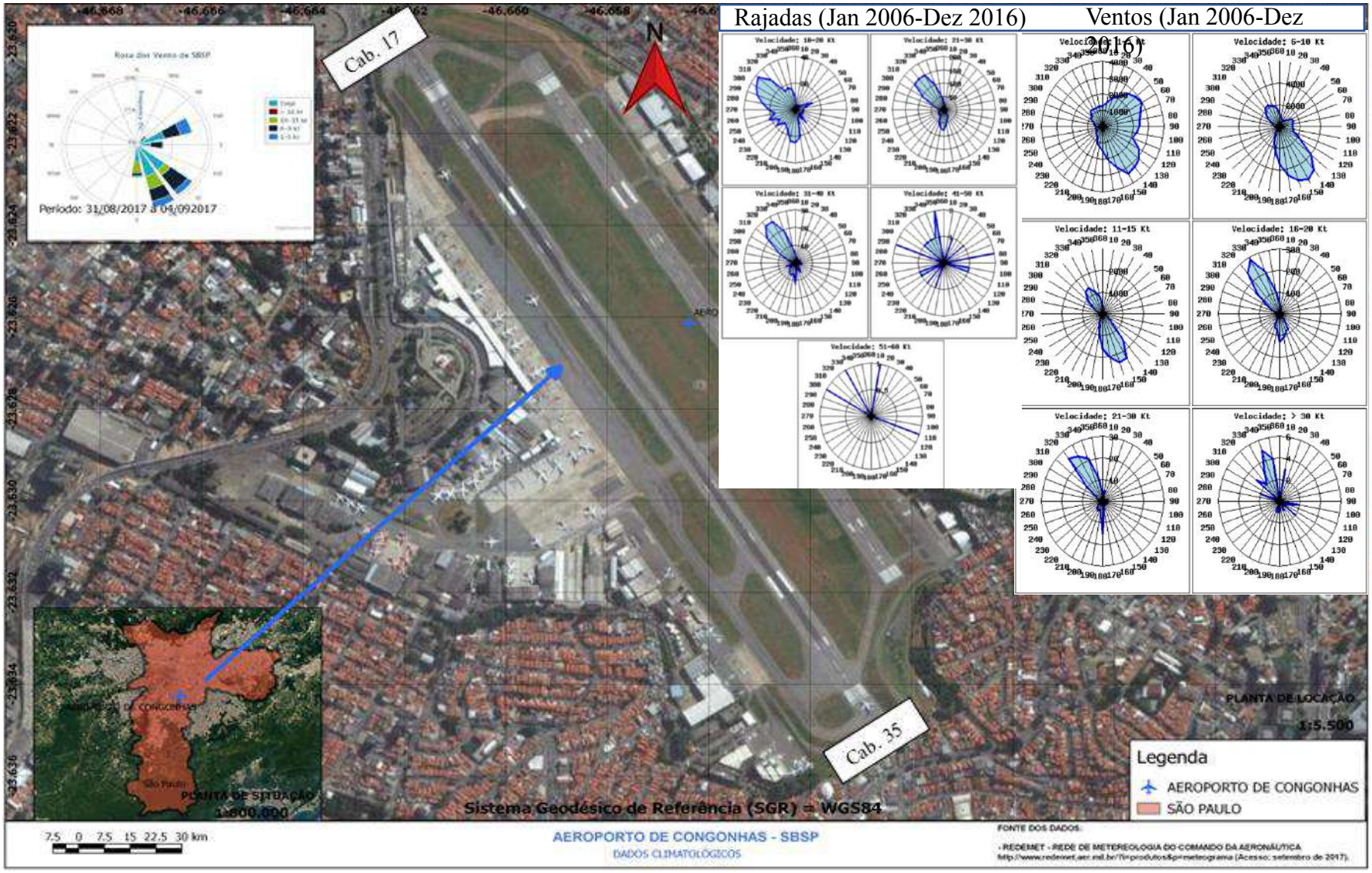


Figura 18 — Direção, velocidade de ventos em SBSP

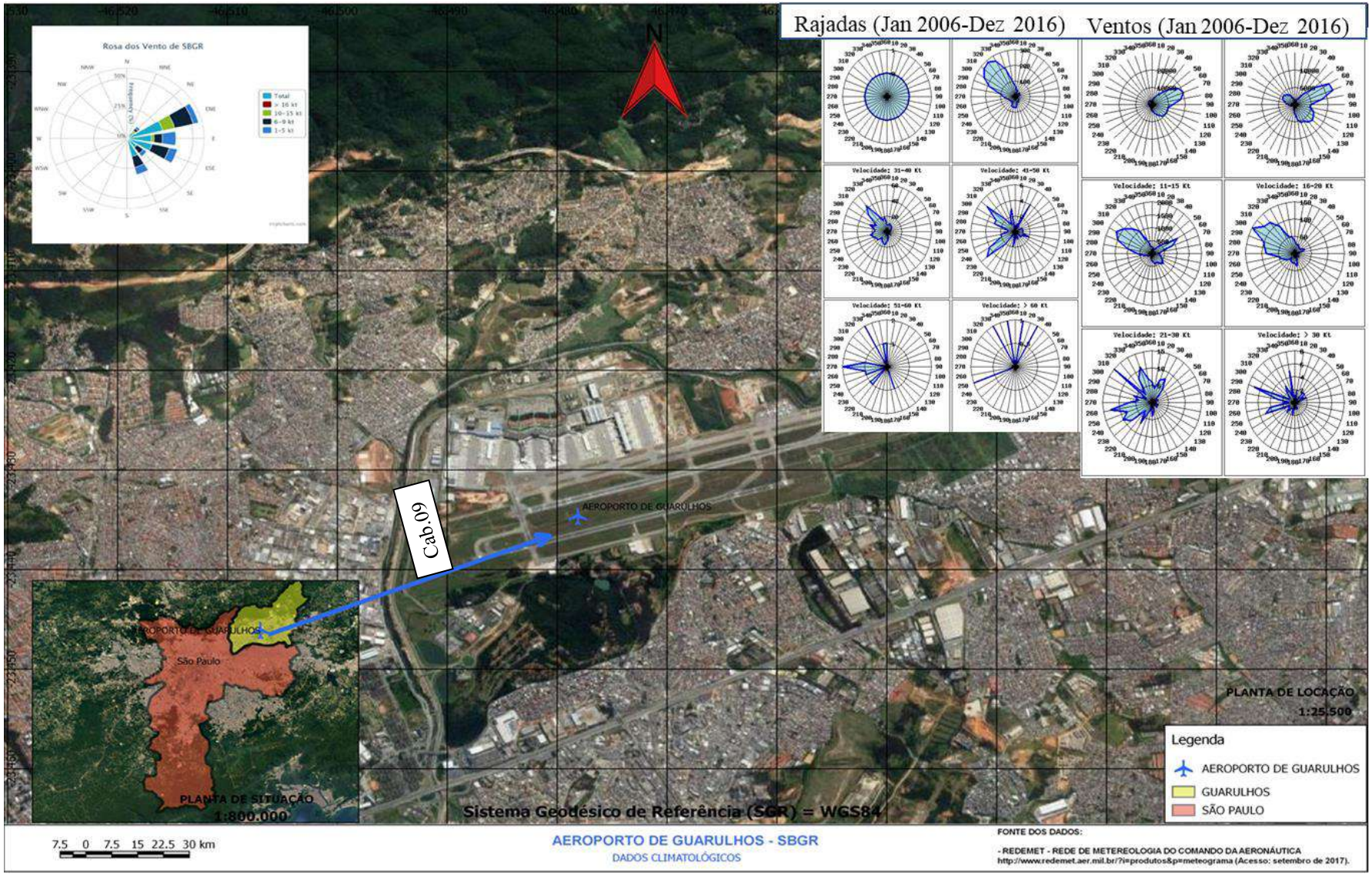


Figura 19 — Direção, velocidade de ventos em SBGR

4.2.3 Caracterização dos Cancelamentos

Para caracterizar os pousos cancelados por razões meteorológicas nos aeroportos avaliados, foram levantados os registros entre 2006 e 2016 a partir da série histórica de dados de Voo Regular da Anac (2017). Segundo a Anac (op. cit.), devido a problemas ocorridos na base do sistema em 02/11/2013, os dados disponibilizados nesta data não possuem confiabilidade e, em razão das alterações ocorridas nos sistemas de autorização de voo no período da Copa do Mundo, os dados de atrasos e cancelamentos dos meses de junho e julho/2014 foram auditados e ainda serão publicados, sendo estes desconsiderados no presente estudo.

Para uma primeira caracterização, foi elaborado um histograma (Figura 20) com o resultado da soma dos cancelamentos mensais para cada ano por aeroporto. Como pode ser verificado na referida figura, o SBRJ (Santos Dumont) foi, em média, o aeroporto com maior número de pousos cancelados entre 2006 e 2016, registrando 727, e com tendência de crescimento (vide linha de tendência). Em segundo, aparece o SBSP, com 659, merecendo destacar os 2.123 cancelamentos registrados em 2007. Como abordado mais adiante, nem todos os dados estão disponíveis para o aeroporto nesse período, ao menos na base de dados utilizada, de modo que uma avaliação mais detalhada sobre as prováveis causas fica prejudicada. Não obstante, especula-se que, além das prováveis interferências da meteorologia à época, medidas preventivas e mais restritivas de segurança operacional podem ter sido adotas, uma vez que, em julho de 2007, ocorreu o fatídico acidente com o voo TAM 3054. A terceira posição foi ocupada por SBGR, cuja média de pousos cancelados foi de 254 no período considerado. Em quarto e último aparece o Aeroporto do Galeão, SBGL, cuja média foi de 74 cancelamentos.

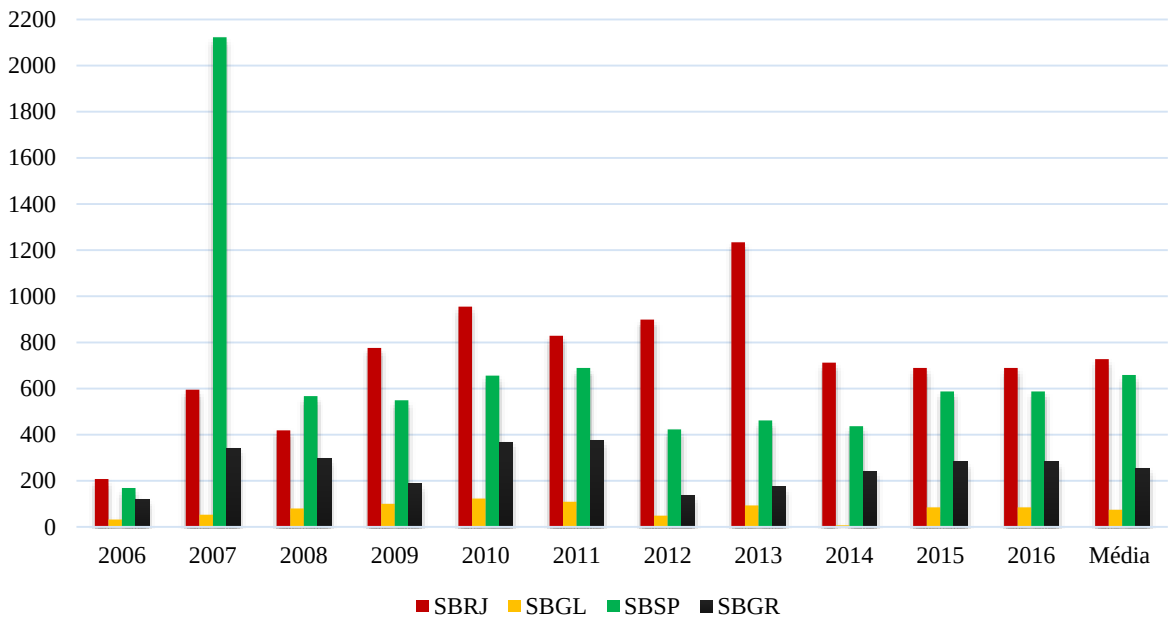


Figura 20 — Total de pousos cancelados meteorologia por aeroporto
Fonte: Anac (2017)

Para investigar quais parâmetros meteorológicos influenciam ou melhor explicam o cancelamento de pousos nos respectivos aeroportos, SBRJ, SBGL, SBSP e SBGR, foi realizada uma análise de regressão dos dados de cancelamentos e respectivos parâmetros (i.e., chuva forte, chuva leve, chuva moderada, névoa seca, névoa úmida, nevoeiro, pancadas de chuva, quantidade de precipitação, temperatura medida, intensidade do vento e grau de visibilidade) disponíveis entre 2006 e 2016, conforme a seguir apresentado.

Foram realizadas duas formas de regressão para cada aeroporto, uma considerando cada parâmetro e cancelamento no respectivo ano, e outra, também com cada parâmetro, mas considerando o período completo da série de dados (2006-2016).

4.2.3.1 Santos Dumont

Na Tabela "Santos Dumont_Anual", do Anexo 2, são apresentados os resultados dos modelos para os parâmetros climáticos dos anos de 2006 até 2016. Como pode ser observado, o parâmetro chuva forte se mostrou significativo para os cancelamentos apenas em 2006, não podendo ser considerado um parâmetro que explique bem os cancelamentos.

Já para o parâmetro chuva leve, os anos significativos foram 2012 e 2014, com os valores de seus R^2, respectivamente, 0,5 e 0,3. Para a chuva moderada, essa frequência aumenta. Os anos significativos foram 2007, 2009, 2015 e 2016. O parâmetro névoa seca não apresentou significância em nenhum ano na ocorrência de cancelamento de voos; porém, os anos 2012, 2013,

2014 e 2016, para a variável névoa úmida, possuem seus R^2 iguais a 0,2; 0,5; 0,7; e 0,5, respectivamente.

O parâmetro nevoeiro apresentou dois anos significativos, 2011 e 2016. Além dele, o parâmetro pancadas de chuva foi significativo em 2007, quantidade de precipitação em 2009 e visibilidade nos anos 2008, 2012 e 2013. Os parâmetros temperatura e intensidade de vento não foram significativos em nenhum dos anos.

Pela Tabela da planilha "Santos Dumont_Geral", nota-se, ao longo dos 11 anos de série histórica, que, para o Aeroporto Santos Dumont, os modelos significativos são das respectivas variáveis: vento, precipitação, chuva forte, chuva leve, chuva moderada e névoa úmida (todas com o p-valor do coeficiente inferior a 0,05, que é o nível de significância). Para a variável chuva forte, percebe-se que houve uma correlação espúria devido à pequena quantidade de frequências observadas, e o R^2 de seu modelo foi 1, ratificando a ocorrência de uma relação matemática, mas irreal. Com relação aos pressupostos do modelo, não foi encontrada normalidade nem homocedasticidade dos resíduos.

4.2.3.2 Galeão

Para o Aeroporto Galeão, foram executados os mesmos procedimentos aplicados ao SBRJ. Como pode ser observado na Tabela Galeão_Anual, do Anexo 2, o parâmetro chuva forte não apresentou influência significativa em nenhum dos anos. Para chuva leve, o ano de 2014 foi significativo e apresentou R^2 de 0,79. Chuva moderada se mostrou significativa apenas no ano de 2013.

Assim como no aeroporto Santos Dumont, o parâmetro névoa seca não foi significativo em nenhum dos anos, diferentemente de névoa úmida, que se mostrou significativo para os cancelamentos em 2007 e 2008.

Para os anos de 2007, 2010 e 2015, o nevoeiro se mostrou significativo. Entretanto, para os parâmetros precipitação e temperatura, não foram obtidos resultados que indicassem influência significativa em nenhum dos modelos para os anos considerados. Já as variáveis explicativas vento e visibilidade possuem um ano significativo cada uma, os quais são, respectivamente 2008 e 2007.

A Tabela "Galeao_Geral", do Anexo 2, demonstra que, excluindo pancada de chuva e nevoeiro, todas as outras variáveis explicativas foram significativas ao nível de 5%. Os melhores modelos foram os dos parâmetros temperatura, precipitação e chuva moderada e névoa úmida. Vale lembrar novamente da relação espúria da variável chuva forte. Mais uma vez, não se observou normalidade e homocedasticidade nos modelos com variáveis significativas.

4.2.3.3 Guarulhos

Foram adotados os mesmos procedimentos anteriormente aplicados ao Galeão e Santos Dumont. Analisando a planilha Guarulhos_Anual, é possível verificar que os parâmetros vento máximo, névoa úmida e precipitação, não foram significativos em nenhum dos anos. Já os parâmetros chuva forte, chuva leve, chuva moderada, névoa seca, temperatura e visibilidade se mostraram significativos em não mais do que quatro dos onze anos considerados. O parâmetro Nevoeiro foi significativo em 8 dos 11 anos de da amostra, mostrando ser razoavelmente explicativo dos cancelamentos.

Analisando os resultados da planilha Guarulhos_Geral, observa-se que o único parâmetro que apresentou significância para o modelo foi o nevoeiro, ratificando os resultados anuais. Quando verificados os pressupostos de normalidade e de homocedasticidade, nenhuma das variáveis seguiu esses pressupostos.

4.2.3.4 Congonhas

Para analisar o cancelamento de voos do Aeroporto de Congonhas, foram construídos modelos de regressão, da mesma maneira que foi feito para os três aeroportos anteriores.

É possível observar na planilha Congonhas_Anual, do Anexo 2, que, dos onze parâmetros, apenas 5 são significantes em algum dos anos, sendo eles: chuva forte, chuva leve, vento máximo, precipitação e névoa seca. O parâmetro que se mostrou mais relevante foi chuva forte. Nesse sentido, admite-se que nenhum dos parâmetros pode explicar muito bem os cancelamentos.

Pela regressão geral, conforme a Tabela Congonhas_Geral, do Anexo 2, 4 dos 11 parâmetros explicativos apresentaram influência significativa no número de cancelamentos, sendo eles: chuva forte, visibilidade, vento e temperatura. Nesse sentido, apesar de que, quando feita a análise individual, parâmetro por ano, não foi indicado nenhum resultado significativo, quando considerando o período completo da séria histórica, esses quatro parâmetros se mostraram significativos para os cancelamentos.

4.2.3.5 Análise Comparativa entre os Aeroportos

Já que os resultados das regressões simples não foram satisfatórios para explicar os cancelamentos, foi realizada uma regressão múltipla, onde foram selecionadas as principais

variáveis significativas e criada uma variável *dummy* para entender o comportamento dessas variáveis para cada um dos 4 aeroportos selecionados.

Para construir o modelo, além da variável para indicar cada um dos aeroportos (tomando como base o Aeroporto de Congonhas), foram consideradas as variáveis mais significativas de maneira geral nas regressões anteriores, que foram: Nevoeiro, Temperatura e Precipitação.

Tabela 29 — Resultado da regressão múltipla

Variável	Estimativa	p-valor	Resultado
Intercepto	82,5997	<0,00001	Significante
Nevoeiro	0,7879	<0,00001	Significante
Temperatura	-2,7109	<0,00001	Significante
Precipitação	0,1495	<0,00001	Significante
AeroGaleão	-27,359	<0,00001	Significante
AeroGuarulhos	-37,4038	<0,00001	Significante
AeroSantos Dumont	27,9952	<0,00001	Significante

A partir da tabela acima (29), é possível perceber que as variáveis escolhidas para a construção do modelo foram significativas (Nevoeiro, Temperatura, Precipitação e as 3 variáveis *dummy* que envolvem os quatro aeroportos). Todas essas variáveis possuem influência significativa para explicar o número de cancelamentos de pousos entre os anos de 2006 e 2016, obtendo um R^2 de 0,3377. Analisando os pressupostos desse modelo, observa-se que o modelo rejeita as hipóteses de normalidade e de homocedasticidade dos resíduos, ambos os p-valores inferiores a 5% (p-valor <0,00001).

Como as variáveis dos aeroportos foram significativas, é possível distinguir quais aeroportos são mais afetados ou menos afetados. Ou seja, como o aeroporto base foi Congonhas, aqueles aeroportos que apresentaram um coeficiente negativo indicam a diminuição da quantidade de cancelamento, enquanto coeficientes positivos indicam o aumentam o número de cancelamentos mais do que Congonhas. Assim, considerando os valores dos coeficientes e a sequência do melhor para o pior, mantendo as demais variáveis (i.e., nevoeiro, temperatura e precipitação) constantes, chega-se à seguinte sequência: Guarulhos, Galeão, Congonhas e Santos Dumont. Essa sequência corrobora as taxas de cancelamentos que serão exploradas.

4.2.3.6 Conclusão parcial

De forma geral, os parâmetros meteorológicos não foram significativos para os modelos de análise simples ou demonstraram não explicar muito bem os cancelamentos de voos. Isso pode

estar relacionado ao período da série temporal considerada no estudo. Não obstante, a regressão múltipla realizada permitiu obter resultados que indicam que os parâmetros nevoeiro, temperatura e precipitação foram relativamente significativos para os cancelamentos e, com base nos coeficientes obtidos para cada aeroporto, identificar quais foram mais ou menos impactados em termos de cancelamento.

Como apresentado mais adiante, no item 4.2.4.3, embora os cancelamentos estejam agrupados por mês, é possível que um único dia seja responsável por mais da metade dos cancelamentos ocorridos em determinado mês. Dessa forma, quando se consideram os valores médios, não se capta a influência real desse dia e dos parâmetros de registrados. Um modelo mais robusto de regressão deverá considerar os dias de maior ocorrência de cancelamentos, as respectivas faixas horárias e os parâmetros meteorológicos. Assim, em que pese os resultados das regeressões não terem sido satisfatórios, sua realização permanece como uma das tarefas do presente método de análise.

4.2.4 Proposição de Indicador de Impacto Metereológico

Para avaliar o impacto relativo das condições metereológicas adversas em determinado aeroporto, foi concebido um indicador (14) que considera a taxa média dos últimos 5 anos de pousos programados e pousos cancelados por meteorologia, aplicada ao ano que se pretende avaliar.

$$IM = \frac{NCM}{NVP} \tag{14}$$

Em que:
IM – Impacto médio,
NCM – Número de cancelamentos meteorológicos; e
NVP – Número de voos programados.

Esse indicador é uma adaptação de uma referência de controle estatístico de processos inicialmente proposta por Shewhart (1924), onde a variação é considerada natural quando ocorre três desvios acima ou abaixo da média. Na hipótese de ultrapassagem desses limites, uma intervenção deve ser adotada (GALVANI, 2010). Essa proposição de controle foi incorporada na metodologia Seis Sigma de qualidade, que foi introduzida no início dos anos 1980 pela Motorola, em razão de sua produção em massa e dos riscos dos produtos japoneses ao mercado americano (HASSAN, 2013). De maneira geral, o objetivo da metodologia é melhorar a qualidade e prevenir

defeitos, que podem ser descritos em termos de desvio ou erro de processo que leva à diminuição da qualidade (GALVANI, 2010).

Como sabido, o desvio padrão é uma medida de dispersão estatística, indicando o quanto de variação ou "dispersão" existe em relação à média (ou ao valor esperado). Assim, um baixo desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média, conforme pode ser observado na Figura 21.

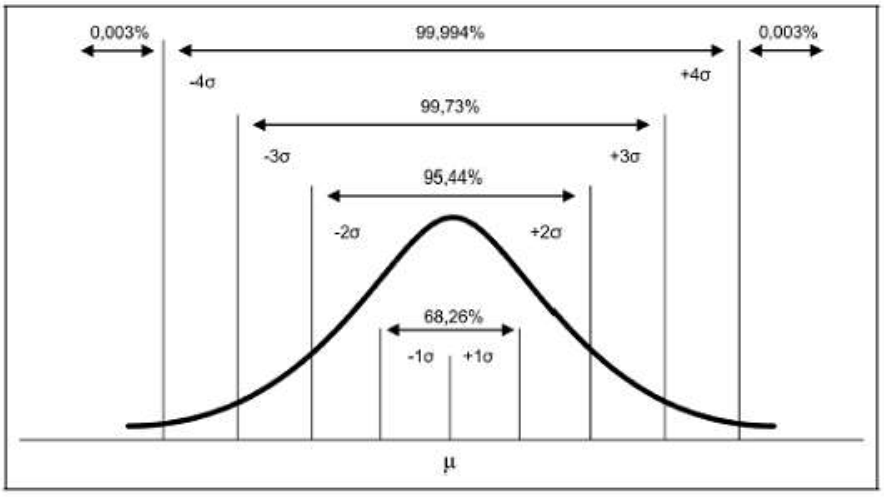


Figura 21 — Representação gráfica da distribuição normal com média μ e o desvio padrão σ

No presente caso, para fins de avaliar a redução ou o aumento relativo dos impactos das condições meteorológicas nas operações aeroportuárias em temos de cancelamentos de voos do ano de 2016, foi adotada a média da razão do total de cancelamentos meteorológicos pelo total de cancelamentos.

Foi considerado dentro da normalidade ou impacto esperado quando o índice do período de análise for menor ou igual à média do índice dos últimos cinco períodos anteriores, conforme demonstrado nas tabelas (30-37) a seguir.

Tabela 30 — Relação de voos cancelados por meteorologia e voos programados

Santos Dumont	Voos Cancelados por Meteorologia (1)					Voos Programados (2)					Taxa (1)/(2)							Distância da normalidade			
																		Esperado	Aceitável	Moderado	Severo
Mês/Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	Média	DP	Média	Média+1Dp	Média+2Dp	Média+3Dp
Janeiro	31	137	174	16	11	4919	4953	5197	4864	5131	0,0063	0,0277	0,0335	0,0033	0,0021	0,0146	0,0133	0,0146	0,0278	0,0411	0,0544
Fevereiro	10	55	50	37	23	4451	4597	4661	4307	4636	0,0022	0,0120	0,0107	0,0086	0,0050	0,0077	0,0036	0,0077	0,0113	0,0149	0,0185
Março	49	64	85	74	58	4823	4967	4763	4757	5020	0,0102	0,0129	0,0178	0,0156	0,0116	0,0136	0,0028	0,0136	0,0164	0,0191	0,0219
Abril	27	91	65	188	47	4597	4787	4661	4667	4867	0,0059	0,0190	0,0139	0,0403	0,0097	0,0178	0,0121	0,0178	0,0298	0,0419	0,0540
Maio	155	92	192	124	65	4884	5011	4885	4851	4947	0,0317	0,0184	0,0393	0,0256	0,0131	0,0256	0,0093	0,0256	0,0349	0,0442	0,0535
Junho	66	ND	214	ND	151	4827	ND	4596	ND	4862	0,0137	ND	0,0466	ND	0,0311	0,0304	0,0134	0,0304	0,0439	0,0573	0,0707
Julho	129	116	161	ND	22	4935	4989	4848	ND	5014	0,0261	0,0233	0,0332	ND	0,0044	0,0217	0,0107	0,0217	0,0324	0,0431	0,0537
Agosto	66	23	20	106	17	4931	5033	4798	5023	4897	0,0134	0,0046	0,0042	0,0211	0,0035	0,0093	0,0069	0,0093	0,0162	0,0232	0,0301
Setembro	23	116	51	14	84	4654	4712	4658	4924	4783	0,0049	0,0246	0,0109	0,0028	0,0176	0,0122	0,0081	0,0122	0,0202	0,0283	0,0364
Outubro	112	26	63	55	31	4750	4920	5260	5137	4852	0,0236	0,0053	0,0120	0,0107	0,0064	0,0116	0,0065	0,0116	0,0181	0,0246	0,0311
Novembro	111	128	50	72	75	4686	4896	4495	4867	4773	0,0237	0,0261	0,0111	0,0148	0,0157	0,0183	0,0057	0,0183	0,0240	0,0296	0,0353
Dezembro	50	51	109	26	105	5033	5001	4814	5147	5013	0,0099	0,0102	0,0226	0,0051	0,0209	0,0138	0,0068	0,0138	0,0206	0,0274	0,0343
Média	69	82	103	71	57	4791	4897	4803	4854	4900	0,0143	0,0167	0,0213	0,0148	0,0117	0,0158	0,0032				
DP	43	37	60	50	38	155	128	210	222	124	0,0092	0,0079	0,0130	0,0111	0,0082	0,0099	0,0083				

Tabela 31 — Análise de impacto relativo SBRJ

Santos Dumont	Voos Cancelados por Meteorologia (1)	Voos Programados (2)	Taxa (1)/(2)
Mês/Ano	2016		
Janeiro	188	4970	0,0378
Fevereiro	63	4672	0,0135
Março	45	4817	0,0093
Abril	6	4600	0,0013
Maio	37	4414	0,0084
Junho	80	4213	0,0190
Julho	17	4236	0,0040
Agosto	25	4313	0,0058
Setembro	33	4156	0,0079
Outubro	12	4264	0,0028
Novembro	24	4031	0,0060
Dezembro	13	4252	0,0031
Média	45	4412	0,0099
DP	48	284	0,0097

Analisando a Tabela 31, pode-se observar que o impacto relativo dos cancelamentos observados no ano de 2016 para o Aeroporto Santos Dumont, segundo os critérios adotados, foi moderado nos meses de janeiro e fevereiro, coincidido com o verão. Nos demais meses, de março a dezembro, o impacto ficou dentro do esperado ou normal.

Tabela 32 — Relação de voos cancelados por meteorologia e voos programados

SBGL	Voos Cancelados por Meteorologia (1)					Voos Programados (2)					Taxa (1)/(2)							Distância da normalidade			
																		Esperado	Aceitável	Moderado	Severo
Mês/Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	Média	DP	Média	Média+1Dp	Média+2Dp	Média+3Dp
Janeiro	5	3	6	1	0	5655	7077	6755	6141	6553	0,0009	0,0004	0,0009	0,0002	0,0000	0,0005	0,0004	0,0005	0,0008	0,0012	0,0016
Fevereiro	1	3	5	1	18	5137	6600	6132	5464	6011	0,0002	0,0005	0,0008	0,0002	0,0030	0,0009	0,0011	0,0009	0,0020	0,0030	0,0041
Março	2	10	15	2	16	5782	6997	6466	6044	6333	0,0003	0,0014	0,0023	0,0003	0,0025	0,0014	0,0009	0,0014	0,0023	0,0033	0,0042
Abril	1	1	9	0	0	5557	6727	6013	5870	6118	0,0002	0,0001	0,0015	0,0000	0,0000	0,0004	0,0006	0,0004	0,0009	0,0015	0,0021
Maio	3	1	1	0	4	5753	6934	6140	6021	6253	0,0005	0,0001	0,0002	0,0000	0,0006	0,0003	0,0002	0,0003	0,0005	0,0008	0,0010
Junho	17	ND	2	ND	39	5707	ND	6033	ND	6197	0,0030	ND	0,0003	ND	0,0063	0,0032	0,0024	0,0032	0,0056	0,0081	0,0105
Julho	19	9	20	ND	2	5783	7137	6454	ND	6585	0,0033	0,0013	0,0031	ND	0,0003	0,0020	0,0013	0,0020	0,0032	0,0045	0,0057
Agosto	24	3	23	0	0	6202	6794	5984	6064	6225	0,0039	0,0004	0,0038	0,0000	0,0000	0,0016	0,0018	0,0016	0,0035	0,0053	0,0071
Setembro	3	11	0	2	0	6052	6287	5644	5768	5973	0,0005	0,0017	0,0000	0,0003	0,0000	0,0005	0,0006	0,0005	0,0012	0,0018	0,0025
Outubro	5	2	5	1	1	6470	6419	6620	6108	5783	0,0008	0,0003	0,0008	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0004	0,0007	0,0010	0,0013
Novembro	26	3	0	0	1	6446	6434	5511	6168	5499	0,0040	0,0005	0,0000	0,0000	0,0002	0,0009	0,0016	0,0009	0,0025	0,0041	0,0056
Dezembro	3	3	7	0	4	6663	6574	6153	6547	6118	0,0005	0,0005	0,0011	0,0000	0,0007	0,0005	0,0004	0,0005	0,0009	0,0013	0,0016
Média	9	4	8	1	7	5934	6725	6159	6020	6137	0,0015	0,0007	0,0012	0,0001	0,0011	0,0009	0,0005				
DP	9	3	7	1	11	407	262	340	256	279	0,0015	0,0005	0,0012	0,0001	0,0018	0,0010	0,0010				

Tabela 33 — Análise de impacto relativo SBGL

SBGL	Voos Cancelados por Meteorologia (1)	Voos Programados (2)	Taxa (1)/(2)
Mês/Ano	2016		
Janeiro	1	6451	0,0002
Fevereiro	19	5855	0,0032
Março	2	5783	0,0003
Abril	0	5621	0,0000
Maio	0	5210	0,0000
Junho	22	5102	0,0043
Julho	0	5528	0,0000
Agosto	0	5947	0,0000
Setembro	0	4988	0,0000
Outubro	0	5115	0,0000
Novembro	3	4992	0,0006
Dezembro	5	5287	0,0009
Média	4	5490	0,0008
DP	7	436	0,0014

Analisando a Tabela 33, pode-se observar o que impacto relativo dos cancelamentos observados no ano de 2016 para ao Aeroporto do Galeão, segundo os critérios adotados, foi severo apenas no mês de fevereiro, coincidido com o verão. Para os demais meses, o impacto foi classificado como esperado ou aceitável. Para efeito comparativo, o impacto de fevereiro, classificado como severo para os padrões do Aeroporto, é classificado como normal para o SBRJ.

Tabela 34 — Relação de voos cancelados por meteorologia e voos programados

SBSP	Voos Cancelados por Meteorologia (1)					Voos Programados (2)					Taxa (1)/(2)							Distância da normalidade			
																		Esperado	Aceitável	Moderado	Severo
Mês/Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	Média	DP	Média	Média+1Dp	Média+2Dp	Média+3Dp
Janeiro	212	77	53	127	125	7497	7077	7500	7467	7939	0,0283	0,0109	0,0071	0,0170	0,0157	0,0158	0,0072	0,0158	0,0230	0,0302	0,0373
Fevereiro	119	64	124	54	83	6699	6600	6902	6634	7142	0,0178	0,0097	0,0180	0,0081	0,0116	0,0130	0,0041	0,0130	0,0171	0,0212	0,0253
Março	10	35	42	60	38	7432	6997	7360	7277	7909	0,0013	0,0050	0,0057	0,0082	0,0048	0,0050	0,0022	0,0050	0,0072	0,0094	0,0117
Abril	36	66	0	25	9	7141	6727	7159	7106	7667	0,0050	0,0098	0,0000	0,0035	0,0012	0,0039	0,0034	0,0039	0,0073	0,0108	0,0142
Maio	6	2	9	38	29	7388	6934	7457	7351	7724	0,0008	0,0003	0,0012	0,0052	0,0038	0,0022	0,0019	0,0022	0,0041	0,0060	0,0079
Junho	152	ND	72	ND	31	7229	ND	7114	ND	7613	0,0210	ND	0,0101	ND	0,0041	0,0117	0,0070	0,0117	0,0188	0,0258	0,0328
Julho	1	30	42	ND	104	7358	7137	7496	ND	7947	0,0001	0,0042	0,0056	ND	0,0131	0,0058	0,0047	0,0058	0,0104	0,0151	0,0198
Agosto	17	2	17	5	10	7394	6794	7324	7257	7724	0,0023	0,0003	0,0023	0,0007	0,0013	0,0014	0,0008	0,0014	0,0022	0,0030	0,0039
Setembro	0	31	2	15	64	7166	6287	7100	7091	7650	0,0000	0,0049	0,0003	0,0021	0,0084	0,0031	0,0031	0,0031	0,0063	0,0094	0,0126
Outubro	47	13	47	0	9	7354	6419	8468	7852	7856	0,0064	0,0020	0,0056	0,0000	0,0011	0,0030	0,0025	0,0030	0,0055	0,0080	0,0105
Novembro	19	44	14	54	60	7142	6434	6864	7428	7556	0,0027	0,0068	0,0020	0,0073	0,0079	0,0053	0,0025	0,0053	0,0078	0,0103	0,0128
Dezembro	70	59	40	59	25	7360	6574	7390	8018	7961	0,0095	0,0090	0,0054	0,0074	0,0031	0,0069	0,0024	0,0069	0,0092	0,0116	0,0139
Média	57	38	39	44	49	7263	6725	7345	7348	7724	0,0079	0,0057	0,0053	0,0060	0,0063	0,0062	0,0009				
DP	63	24	32	33	36	196	262	382	353	213	0,0090	0,0037	0,0048	0,0047	0,0048	0,0054	0,0035				

Tabela 35 — Análise de Impacto relativo SBSP

SBSP	Voos Cancelados por Meteorologia (1)	Voos Programados (2)	Taxa (1)/(2)
Mês/Ano	2016		
Janeiro	22	7939	0,0028
Fevereiro	114	7508	0,0152
Março	64	7782	0,0082
Abril	1	7722	0,0001
Maio	49	7847	0,0062
Junho	110	7651	0,0144
Julho	7	7878	0,0009
Agosto	17	8010	0,0021
Setembro	5	7565	0,0007
Outubro	16	7729	0,0021
Novembro	44	7598	0,0058
Dezembro	44	7954	0,0055
Média	41	7765	0,0053
DP	37	157	0,0049

Analisando a Tabela 35, pode-se observar que o impacto relativo dos cancelamentos observados no ano de 2016 para ao Aeroporto de Congonhas, segundo os critérios adotados, foi severo em maio, coincidindo com fim do outono e início do inverno. Houve impacto moderado em março e quatro registros classificados como aceitáveis nos meses de fevereiro, junho, agosto e novembro. Para os demais meses não houve impacto ou ficou dentro do esperado. Para efeito comparativo, a exemplo do realizado para o SBGL, o impacto do mês de maio, classificado como severo para os padrões do Aeroporto (SBSP), é classificado como normal para o SBRJ.

Tabela 36 — Relação de voos cancelados por meteorologia e voos programados

SBGR	Voos Cancelados por Meteorologia (1)					Voos Programados (2)					Taxa (1)/(2)							Distancia da normalidade			
																		Esperado	Aceitável	Moderado	Severo
Mês/Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	Média	DP	Média	Média+1Dp	Média+2Dp	Média+3Dp
Janeiro	56	24	0	68	42	11786	11977	12025	13481	13803	0,0048	0,0020	0,0000	0,0050	0,0030	0,0030	0,0019	0,0030	0,0048	0,0067	0,0085
Fevereiro	49	22	3	54	50	10271	11087	11005	11723	12110	0,0048	0,0020	0,0003	0,0046	0,0041	0,0032	0,0018	0,0032	0,0049	0,0067	0,0084
Março	3	14	17	22	21	11529	11609	11863	13018	13275	0,0003	0,0012	0,0014	0,0017	0,0016	0,0012	0,0005	0,0012	0,0017	0,0023	0,0028
Abril	1	3	26	25	6	11091	11225	11445	12602	12737	0,0001	0,0003	0,0023	0,0020	0,0005	0,0010	0,0009	0,0010	0,0019	0,0029	0,0038
Maio	16	2	11	29	12	11328	11640	11997	12984	12986	0,0014	0,0002	0,0009	0,0022	0,0009	0,0011	0,0007	0,0011	0,0018	0,0025	0,0032
Junho	169	ND	51	ND	39	11317	ND	11751	ND	12881	0,0149	ND	0,0043	ND	0,0030	0,0074	0,0053	0,0074	0,0128	0,0181	0,0234
Julho	17	4	10	ND	26	11745	11689	12524	ND	13708	0,0014	0,0003	0,0008	ND	0,0019	0,0011	0,0006	0,0011	0,0017	0,0023	0,0029
Agosto	9	11	4	1	5	11578	11456	12187	13264	13073	0,0008	0,0010	0,0003	0,0001	0,0004	0,0005	0,0003	0,0005	0,0008	0,0011	0,0015
Setembro	12	23	4	10	38	11020	11010	11823	12773	12837	0,0011	0,0021	0,0003	0,0008	0,0030	0,0015	0,0009	0,0015	0,0024	0,0033	0,0043
Outubro	32	14	11	10	3	11737	11499	13644	13269	13179	0,0027	0,0012	0,0008	0,0008	0,0002	0,0011	0,0009	0,0011	0,0020	0,0028	0,0037
Novembro	6	9	7	7	22	11478	11158	11736	12821	12645	0,0005	0,0008	0,0006	0,0005	0,0017	0,0008	0,0005	0,0008	0,0013	0,0018	0,0022
Dezembro	6	12	30	14	18	11957	11670	13116	13576	13472	0,0005	0,0010	0,0023	0,0010	0,0013	0,0012	0,0006	0,0012	0,0018	0,0024	0,0030
Média	31	13	15	24	24	11403	11456	12093	12951	13059	0,0028	0,0011	0,0012	0,0019	0,0018	0,0018	0,0006				
DP	43	7	14	19	15	418	275	658	482	436	0,0040	0,0007	0,0012	0,0016	0,0012	0,0017	0,0012				

Tabela 37 — Análise de Impacto relativo SBGR

SBGR	Voos Cancelados por Meteorologia (1)	Voos Programados (2)	Taxa (1)/(2)
Mês/Ano	2016		
Janeiro	22	13699	0,0016
Fevereiro	15	12158	0,0012
Março	11	12101	0,0009
Abril	1	11748	0,0001
Maio	7	11129	0,0006
Junho	82	10740	0,0076
Julho	2	11415	0,0002
Agosto	14	11162	0,0013
Setembro	6	10442	0,0006
Outubro	17	10909	0,0016
Novembro	14	10455	0,0013
Dezembro	18	11357	0,0016
Média	17	11443	0,0015
DP	20	869	0,0019

Analisando a Tabela 37, pode-se observar o que impacto relativo dos cancelamentos observados no ano de 2016 para ao Aeroporto de Guarulhos, segundo os critérios adotados, foi classificado com aceitável nos meses de junho, agosto, outubro, novembro e dezembro. Para os demais meses, não houve impacto ou este ficou dentro do esperado.

4.2.4.1 Validação do indicador segundo distribuição normal

O Teste de Shapiro e Wilk (1965) é utilizado para verificar a aderência de uma variável quantitativa ao modelo da Distribuição Normal, sendo mais assertivo quando a amostra é menor do que 30 (TORMAN et al., 2012). A suposição de normalidade é importante para a determinação do teste a ser utilizado.

O início do procedimento do Teste de Shapiro e Wilk ocorre com a definição das hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \text{A variável segue a distribuição Normal} \\ H_1: \text{A variável não segue a distribuição Normal} \end{cases}$$

Em seguida, a amostra é ordenada de forma crescente, para a obtenção das estatísticas de ordem:

$$\min\{X_1, \dots, X_n\} = X^{(1)} \leq X^{(2)} \leq \cdots \leq X^{(n)} = \max\{X_1, \dots, X_n\}$$

A estatística de teste é definida por:

$$W = \frac{1}{D}\left[\sum_{i=1}^{k} a_i\left(X^{(n-1+1)} - X^{(i)}\right)\right]^2 \tag{15}$$

Em que:
K é aproximadamente $\frac{n}{2}$;
X^i é a estatística de ordem i; e
$D = \sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2$ e $\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{x} X_i$

Pode-se tomar a decisão por meio do valor crítico já tabelado ou pelo p-valor, calculado com auxílio de *software*. Caso o p-valor seja menor do que o nível de significância adotado, a hipótese nula é rejeitada.

Para verificar se a normalidade assintótica é válida, foram considerados os anos de 2011 até 2016. Admitindo-se um nível de significância de 5%, foram obtidos os resultados mensais apresentados a seguir na Tabela 38:

Tabela 38 — Teste de normalidade por mês

Aero	Mês	Estatística	P-valor	Resultado
SBRJ	Janeiro	0,8342	0,1167	Normal
SBRJ	Fevereiro	0,9432	0,685	Normal
SBRJ	Março	0,9423	0,6779	Normal
SBRJ	Abril	0,8877	0,3061	Normal
SBRJ	Maio	0,9731	0,9124	Normal
SBRJ	Junho	0,947	0,6972	Normal
SBRJ	Julho	0,8612	0,2324	Normal
SBRJ	Agosto	0,7903	0,048	Não Normal
SBRJ	Setembro	0,9335	0,6072	Normal
SBRJ	Outubro	0,8842	0,289	Normal
SBRJ	Novembro	0,9559	0,7879	Normal
SBRJ	Dezembro	0,8863	0,2994	Normal
SBGL	Janeiro	0,8151	0,1069	Normal
SBGL	Fevereiro	0,7709	0,0317	Não Normal
SBGL	Março	0,805	0,0651	Normal
SBGL	Abril	0,7312	0,0254	Não Normal
SBGL	Maio	0,8963	0,3898	Normal
SBGL	Junho	0,9938	0,976	Normal
SBGL	Julho	0,8653	0,2477	Normal
SBGL	Agosto	0,7812	0,0725	Normal
SBGL	Setembro	0,7895	0,0664	Normal
SBGL	Outubro	0,8568	0,1784	Normal
SBGL	Novembro	0,6849	0,0066	Não Normal
SBGL	Dezembro	0,8896	0,3549	Normal
SBSP	Janeiro	0,9648	0,8558	Normal
SBSP	Fevereiro	0,9034	0,3943	Normal
SBSP	Março	0,9036	0,3955	Normal
SBSP	Abril	0,8785	0,2622	Normal
SBSP	Maio	0,8953	0,3467	Normal
SBSP	Junho	0,9993	0,9982	Normal
SBSP	Julho	0,8899	0,3567	Normal
SBSP	Agosto	0,8673	0,2157	Normal
SBSP	Setembro	0,8482	0,1523	Normal
SBSP	Outubro	0,8903	0,3198	Normal
SBSP	Novembro	0,8666	0,2132	Normal
SBSP	Dezembro	0,9468	0,7146	Normal
SBGR	Janeiro	0,9472	0,7177	Normal
SBGR	Fevereiro	0,8813	0,2749	Normal
SBGR	Março	0,9055	0,4074	Normal
SBGR	Abril	0,7723	0,0326	Não Normal
SBGR	Maio	0,9509	0,7476	Normal
SBGR	Junho	0,894	0,4018	Normal
SBGR	Julho	0,9325	0,6138	Normal
SBGR	Agosto	0,9602	0,8212	Normal
SBGR	Setembro	0,889	0,3128	Normal

SBGR	Outubro	0,9296	0,5768	Normal
SBGR	Novembro	0,8299	0,1073	Normal
SBGR	Dezembro	0,9629	0,842	Normal

A partir da Tabela 38, é possível observar que poucos meses apresentaram não normalidade para o nível de significância considerado. O aeroporto que teve maior ausência de normalidade foi o Galeão, com 3 meses (fevereiro, abril e novembro). No entanto, isso não é algo que destoa do esperado, uma vez que a amostra é reduzida e, mesmo assim, foram obtidos resultados que não rejeitam a hipótese de normalidade.

Para completar a análise, foi realizado o mesmo teste para cada ano completo. Os resultados demonstrados foram ainda melhores, conforme a Tabela 39.

Tabela 39 — Teste de normalidade por ano

Aero	Ano	Estatística	p-valor	Resultado
SBRJ	2011	0,7534	0,1167	Normal
SBRJ	2012	0,7474	0,685	Normal
SBRJ	2013	0,6792	0,6779	Normal
SBRJ	2014	0,731	0,3061	Normal
SBRJ	2015	0,779	0,9124	Normal
SBRJ	2016	0,6493	0,6972	Normal
SBGL	2011	0,7534	0,1167	Normal
SBGL	2012	0,7474	0,685	Normal
SBGL	2013	0,6792	0,6779	Normal
SBGL	2014	0,731	0,3061	Normal
SBGL	2015	0,779	0,9124	Normal
SBGL	2016	0,6493	0,6972	Normal
SBSP	2011	0,7534	0,1167	Normal
SBSP	2012	0,7474	0,685	Normal
SBSP	2013	0,6792	0,6779	Normal
SBSP	2014	0,731	0,3061	Normal
SBSP	2015	0,779	0,9124	Normal
SBSP	2016	0,6493	0,6972	Normal
SBGR	2011	0,7534	0,1167	Normal
SBGR	2012	0,7474	0,685	Normal
SBGR	2013	0,6792	0,6779	Normal
SBGR	2014	0,731	0,3061	Normal
SBGR	2015	0,779	0,9124	Normal
SBGR	2016	0,6493	0,6972	Normal

Com base no exposto, é possível observar que não houve evidências importantes que rejeitem a hipótese de normalidade em nenhum dos anos para cada aeroporto. Assim, mesmo com

a pequena base de dados, é possível concluir que usar o indicador proposto não acarreta distorções significativas, uma vez que é uma medida de risco com pressupostos quase totalmente satisfeitos. Além disso, na ausência de uma alternativa mais robusta, é uma medida que auxilia na avaliação, já que detecta anomalias. Conforme a base de dados aumente ao longo do tempo, o indicador deve se tornar mais confiável e consolidar sua aplicação prática.

4.2.4.2 Ranking dos Aeroportos Segundo a Taxa de Cancelamentos

A partir dos resultados obtidos nas tabelas 30, 32, 34 e 36, foi possível realizar uma comparação da taxa média dos últimos cinco anos (2011-2016) de cada aeroporto. A comparação é demonstrada na Tabela 40, que, por meio das cores, diferenciam os valores médios registrados, sendo o vermelho para o maior valor, amarelo para o segundo, verde para o terceiro e azul para o quarto, no respectivo mês de referência. Em seguida, com base na frequência de ocorrência desses valores, é estabelecido um *ranking*.

Tabela 40 — Relação de voos cancelados por meteorologia e voos programados

Frequência de Ocorrência de Maiores Valores					***Ranking* de Frequência**			
Mês	SBRJ	SBGL	SBSP	SBGR	1º	2º	3º	4º
Janeiro	0,0146	0,0005	0,0158	0,0030	SBSP	SBRJ	SBGR	SBGL
Fevereiro	0,0077	0,0009	0,0130	0,0032	SBSP	SBRJ	SBGR	SBGL
Março	0,0136	0,0014	0,0050	0,0012	SBRJ	SBSP	SBGL	SBGR
Abril	0,0178	0,0004	0,0039	0,0010	SBRJ	SBSP	SBGR	SBGL
Maio	0,0256	0,0003	0,0022	0,0011	SBRJ	SBSP	SBGR	SBGL
Junho	0,0304	0,0032	0,0117	0,0074	SBRJ	SBSP	SBGR	SBGL
Julho	0,0217	0,0020	0,0058	0,0011	SBRJ	SBSP	SBGL	SBGR
Agosto	0,0093	0,0016	0,0014	0,0005	SBRJ	SBGL	SBSP	SBGR
Setembro	0,0122	0,0005	0,0031	0,0015	SBRJ	SBSP	SBGR	SBGL
Outubro	0,0116	0,0004	0,0030	0,0011	SBRJ	SBSP	SBGR	SBGL
Novembro	0,0183	0,0009	0,0053	0,0008	SBRJ	SBSP	SBGL	SBGR
Dezembro	0,0138	0,0005	0,0069	0,0012	SBRJ	SBSP	SBGR	SBGL

A coluna “Frequência de Ocorrência de Maiores Valores” refere-se à média das taxas de 5 anos (2011-2015).

Analisando a Tabela 40, verifica-se que o Aeroporto Santos Dumont (SBRJ) apresentou maior frequência de taxas de cancelamento elevadas nos meses considerados. No total, o aeroporto registrou dez dos doze maiores valores (de março a dezembro), sendo, portanto, o mais impactado pela meteorologia, segundo o critério de análise adotado. Já o Aeroporto de Congonhas (SBSP) apresentou maior frequência para os segundos maiores valores observados. Como pode ser

observado na segunda coluna do *ranking*, sua frequência foi maior, nove no total. Também cabe comentar que esse aeroporto apresentou maiores valores nos meses de janeiro e fevereiro, superando, inclusive, o SBRJ. Por esses motivos, SPSP ocupou a segunda posição de aeroporto mais impactado pela meteorologia. A terceira posição foi ocupada pelo Aeroporto de Guarulhos, com oito registros na coluna três do *ranking*. Em quarto, e em última posição, ficou o Aeroporto do Galeão, com nove registros. Nesse sentido, em termos de frequência de maior impacto meteorológico segundo a taxa considerada (pousos cancelados/pousos programados), tem a seguinte ordem decrescente: 1º SBRJ; 2º SBSP; 3º SBGR e 4º SBGL.

4.2.4.3 Analisando os Impactos Moderados ou Severos do Indicador

Para aprofundar a investigação dos impactos classificados como moderados ou severos resultantes dos indicadores para o ano de 2016 nos respectivos aeroportos (Tabelas 31, 33, 35 e 37), foi realizado o levantamento dos cancelamentos meteorológicos em maior detalhe, levando em consideração o(s) dia(s) de maior cancelamento e a respectiva faixa horária. Em seguida, foram levantadas informações meteorológicas a partir dos códigos *Metar – Meteorological Aerodrome Report*.

O objetivo é mais de apresentar o estado do tempo naquela data e demonstrar a possibilidade de maior profundidade investigativa, que, embora não adotada em sua integralidade no presente estudo, é plenamente viável. Pode-se, por exemplo, usar dados horários e diários em vez de meses e anos, como aqui considerados.

4.2.4.3.1 Aeroporto Santos Dumont

O SBRJ apresentou impacto moderado nos meses de janeiro e fevereiro de 2016. Para verificar a distribuição desses cancelamentos, realizou-se levantamento diário de cancelamentos registrados nos respectivos meses, conforme apresentado na Figura 22.

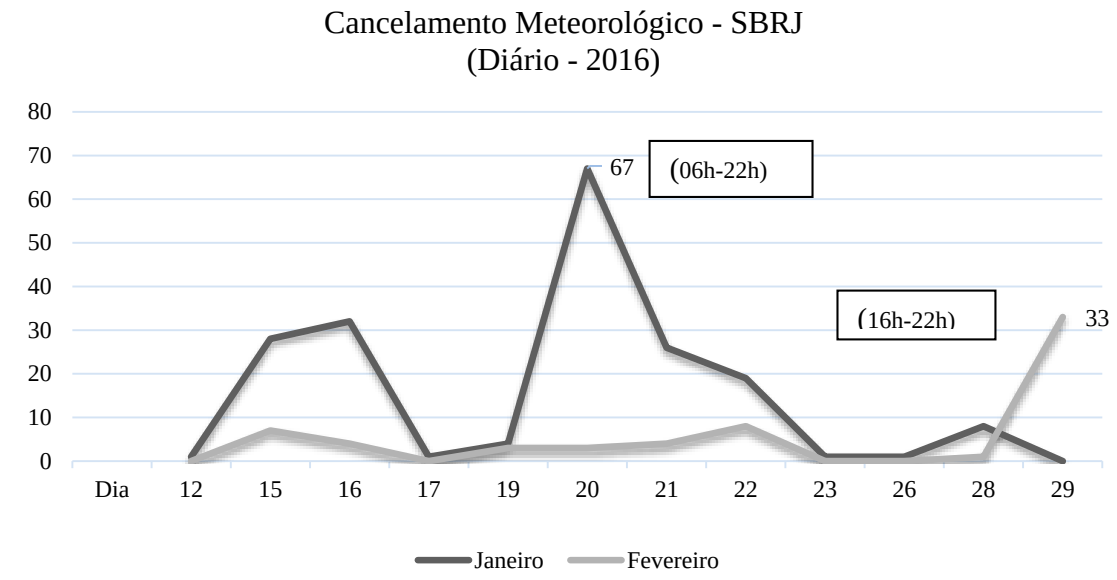


Figura 22 — Cancelamento Meteorológico com Impacto Moderado - SBRJ

Com base na Figura 22, verifica-se que os dias 20/01 e 29/02 foram os dias de maiores cancelamentos, quando comparados aos demais dias dos respectivos meses. Logo, esses representam os dias que mais contribuíram em termos absolutos para que a taxa mensal desses meses (i.e., janeiro e fevereiro, 2016) fossem superiores à média esperada, causando impactos moderados segundo as premissas adotadas.

Para refinar ainda mais a análise e identificar o comportamento dos cancelamentos ao longo dos dias (20/01 e 20/02), traçou-se o perfil horário conforme apresentado nas figuras 23 e 25.

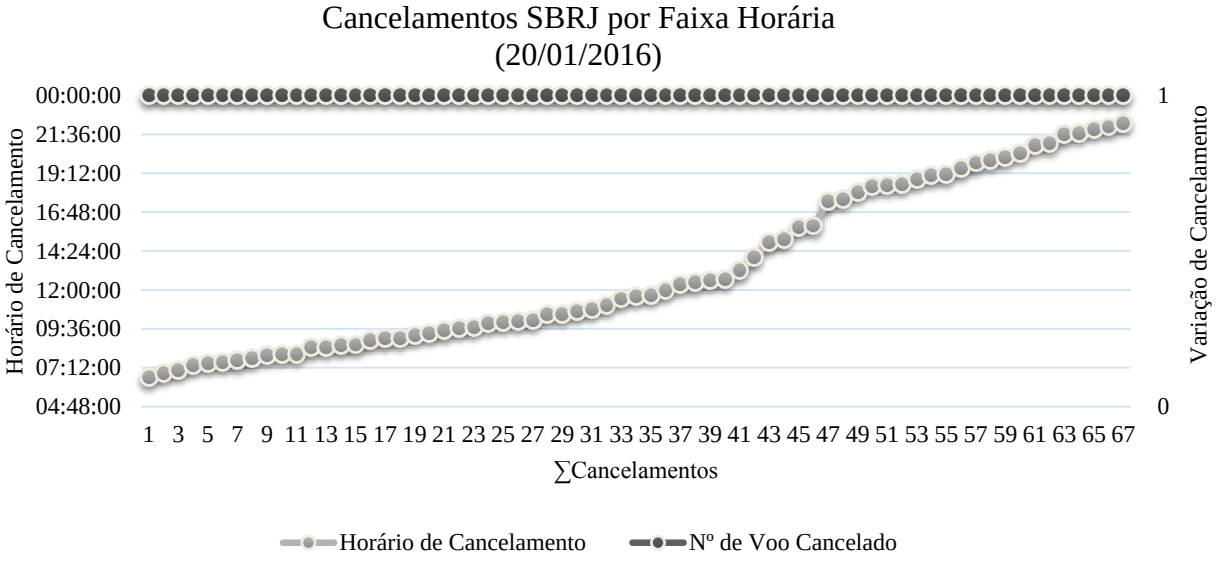


Figura 23 — Cancelamentos SBRJ por Faixa Horária (20/01/2016)

Para esse dia, 20.01.16, o total de pousos programados foi de 172. Quando aplicada a razão, cancelamentos meteorológicos/total de voos programados, obtém-se a taxa de 0, 3895. Comparado ao esperado para o mês (0,0146), apenas a título de exemplificação, conforme a Tabela 31, constata-se que o impacto se enquadraria como muito mais do que severo, demonstrando ser esse dia altamente influente no resultado do mês.

Analisando-se a Figura 23, é possível verificar que os cancelamentos ocorreram ao longo do dia, tendo maior concentração entre 7h e 12h, acumulando o total de 35 nesse faixa horária. Isso provavelmente está associado à maior programação de voos nesse horário, como também ao maior impacto meteorológico, o qual será discutido adiante.

Como comentado inicialmente, para melhor verificar os cancelamentos — mas sem a pretensão de analisar as causas das condições meteorológicas que podem tê-los provocado —, foram levantados os códigos Metar compreendendo a faixa horária de 06h a 23h, os quais constam do Anexo 3, Tabela 54. A codificação Metar e a sua interpretação estão descritas na ICA 105-16 e ICA 105-13 (BRASIL, 2017a, 2017b).

Com base neles (Anexo 3, Tabela 54), pode-se verificar um dia praticamente chuvoso e de baixa a média nebulosidade, muito provavelmente com nuvens estratiformes e cúmulos. A primeira causa chuviscos, e a segunda é típica de verão, o que ocasiona chuvas leves a moderadas. Tomando-se como exemplo um dos códigos Metar que apresentou uma das menores visibilidades, registrado às 15:00 UTC (equivalente a 13:00h no horário de verão de Brasília), tem-se, conforme a Figura 24, que o tempo estava encoberto, muito nublado, com presença de neblina e relativa baixa visibilidade, parâmetros que impactam diretamente a condição de pouso, ainda mais em aeroportos como o SBRJ, que não apresenta instrumentos de precisão (ILS).

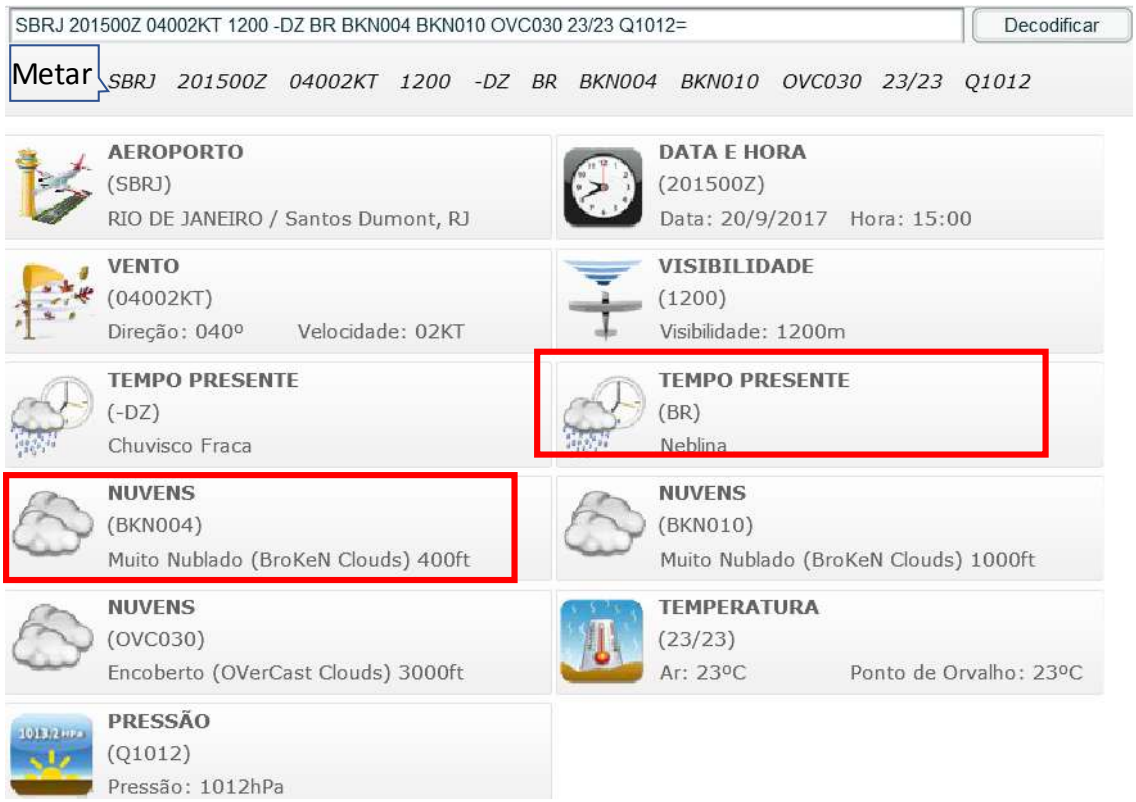


Figura 24 — Decodificação Metar SBRJ às 15:00 UTC de 20/02/16.
Fonte: REDEMET (2017) e Efly (2017)

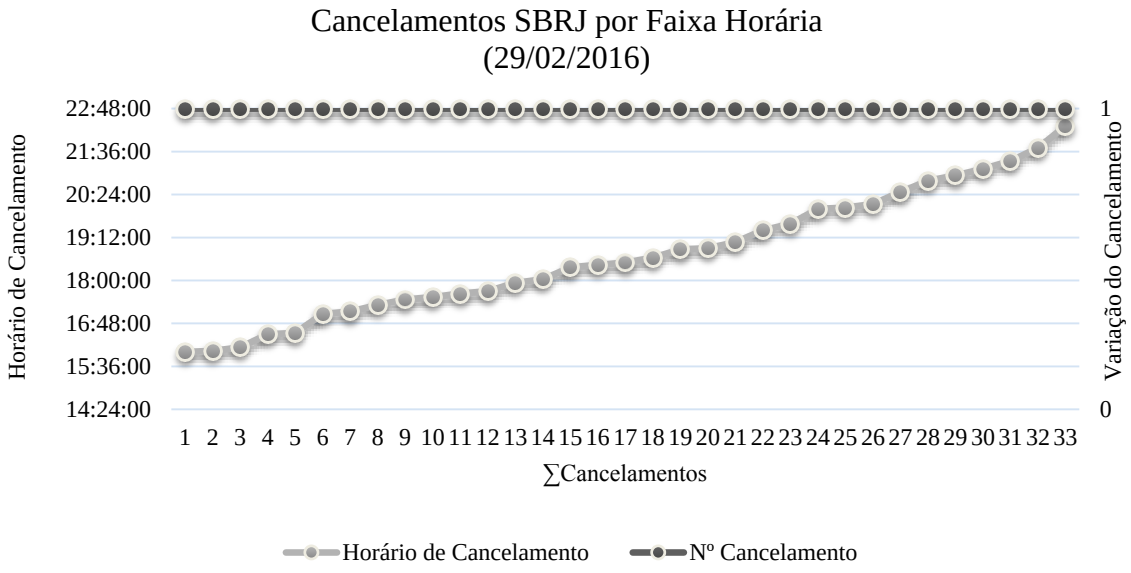


Figura 25 — Cancelamentos SBRJ por Faixa Horária (29/02/2016)

Para esse dia, 29/02/16, o total de pousos programados foi de 179. Quando aplicada a razão, cancelamentos meteorológicos/total de voos programados, obtém-se a taxa de 0,1843. Comparada ao esperado para o mês (0,0077), apenas a título de exemplificação, conforme a Tabela 31, constata-se que o impacto se enquadraria como severo.

Analisando-se a Figura 25, é possível verificar que os cancelamentos ocorreram à tarde e à noite, tendo maior concentração entre 16h e 19h, acumulando o total de 21 nesse faixa horária. Isso provavelmente está associado à maior programação de voos nesse horário, como também ao maior impacto meteorológico, o qual também será discutido a seguir. A exemplo do realizado anteriormente, foram levantados os informes Metar (v. Anexo 3, Metar SBRJ 29/02/2016) para a faixa de horário de cancelamentos. Tomando um dos Metar que apresentou uma das menores visibilidades, registrado às 19:00 UTC (equivalente a 16:00h no horário de Brasília), tem-se, conforme a Figura 26, chuva forte, muitas nuvens e neblina. Todos esses eventos afetam negativamente as condições operacionais.

Figura 26 — Decodificação Metar SBRJ às 15:00 UTC de 20/02/16
Fonte: REDEMET (2017) e Efly (2017)

4.2.4.3.2 Aeroporto Galeão

O SBGL apresentou impacto severo em fevereiro de 2016. Para verificar a distribuição desses cancelamentos, realizou-se levantamento diário de cancelamentos registrados no respectivo mês, conforme a Figura 27.

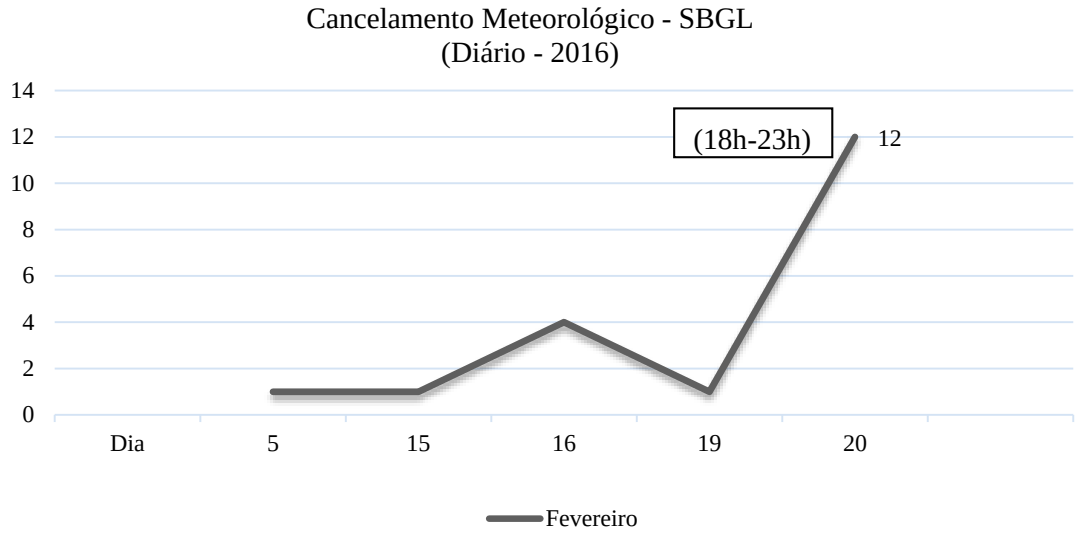


Figura 27 — Cancelamento Meteorológico com Impacto Severo - SBGL - (Diário - 2016)

Para refinar ainda mais a análise e identificar o comportamento dos cancelamentos ao longo dos dias (09/03 e 04/05), conforme já realizado para os SBRJ, traçou-se o perfil horário, conforme apresentado na Figura 28.

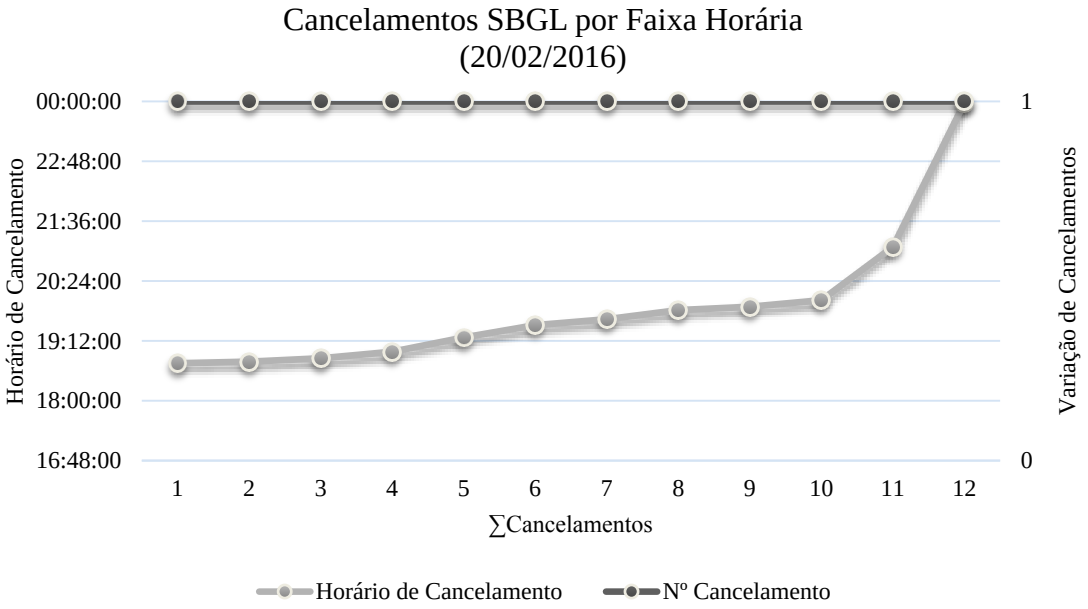


Figura 28 — Cancelamentos SBGL por Faixa Horária (20/02/2016)

Para esse dia, 20/02/16, o total de pousos programados foi de 195. Quando aplicada a razão, cancelamentos meteorológicos/total de voos programados, obtém-se a taxa de 0,0615. Comparada ao esperado para o mês (0,0009), apenas a título de exemplificação, conforme a Tabela 33, constata-se que o impacto se enquadraria como severo.

Analisando a Figura 28, é possível verificar que os cancelamentos ocorrem ao longo dia, tendo maior concentração entre 18h e 20h, acumulando o total de 10 nessa faixa horária. Isso provavelmente decorre do período noturno associado às condições meteorológicas. A exemplo do realizado para o SBRJ, foram levantados os informes Metar (Anexo 3, Metar SBGL 20/02/16) para a faixa de horário de cancelamentos. Tomando um dos Metar que apresentou uma das menores visibilidades, registrado às 21:00 UTC (equivalente a 17:00h no horário de Brasília), tem-se, conforme a Figura 29, rajadas de ventos e nuvens abaixo de 1000 pés.

Figura 29 — Decodificação Metar SBGL às 21:00 UTC de 20/02/16
Fonte: REDEMET (2017) e Efly (2017)

4.2.4.3.3 Aeroporto de Congonhas

O SBSP apresentou impacto moderado em março e severo em maio de 2016. Para verificar a distribuição desses cancelamentos, realizou-se levantamento diário de cancelamentos registrados nos respectivos meses, conforme a Figura 30.

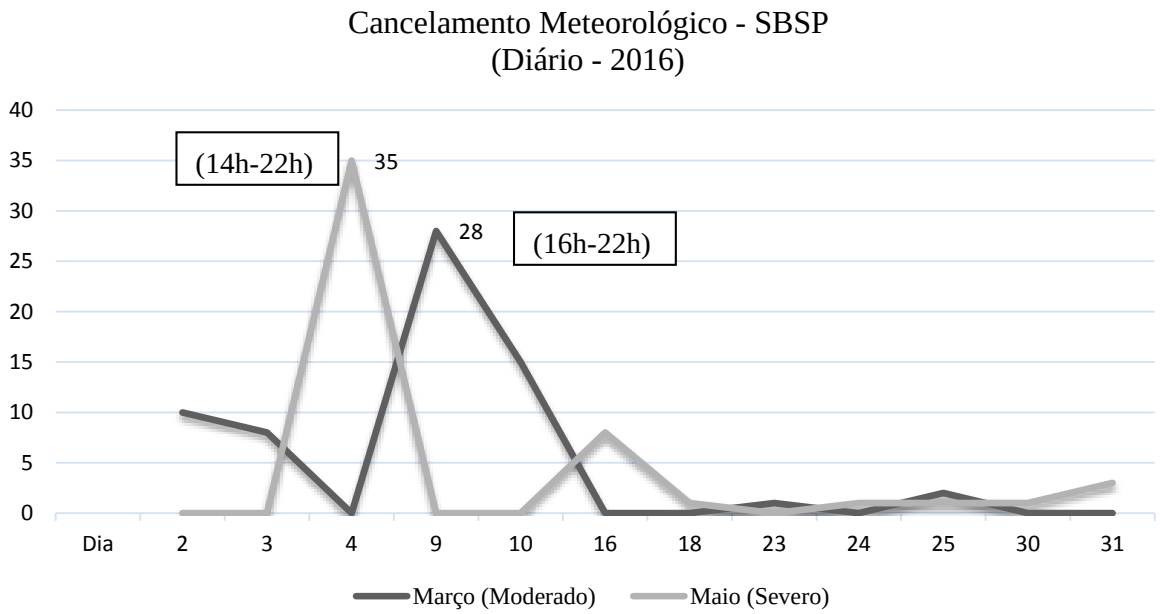


Figura 30 — Cancelamento Meteorológico com Impacto Moderado e Severo - SBSP (Diário - 2016)

Para refinar ainda mais a análise e identificar o comportamento dos cancelamentos ao longo dos dias (09/03 e 04/05), conforme já realizado para os outros aeroportos, traçou-se o perfil horário conforme apresentado nas figuras 31 e 33.

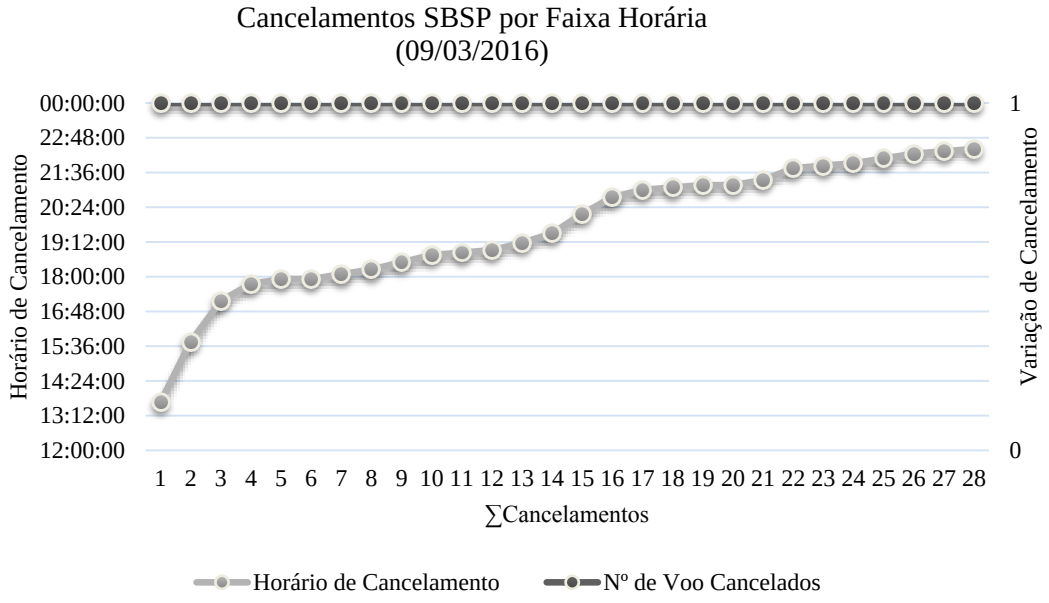


Figura 31 — Cancelamentos SBSP por Faixa Horária (09/03/2016)

Para esse dia, o total de pousos programados foi de 272. Quando aplicada a razão, cancelamentos meteorológicos/total de voos programados, obtém-se a taxa de 0,1029. Comparada

ao esperado para o mês (0,0050), apenas a título de exemplificação, conforme a Tabela 35, constata-se que o impacto se enquadraria como severo.

Analisando a Figura 31, é possível verificar que os cancelamentos ocorreram à tarde e à noite, tendo maior concentração entre 13h e 23h, acumulando o total de 28 nesse faixa horária.

A exemplo do realizado anteriormente para o SBGL, foram levantados os informes Metar (v. Anexo 3, Tabela 57) para a faixa de horário de cancelamentos. Tomando um dos Metar que apresentou uma das menores visibilidades, registrado às 21:00 UTC (equivalente a 18:00 no horário de Brasília), tem-se, conforme a Figura 32, rajadas de ventos, baixa visibilidade, chuva forte e alertas. Todos esses eventos afetam negativamente as condições operacionais.

Figura 32 — Decodificação Metar SBSP às 21:00 UTC de 20/02/16
Fonte: REDEMET (2017) e Efly (2017)

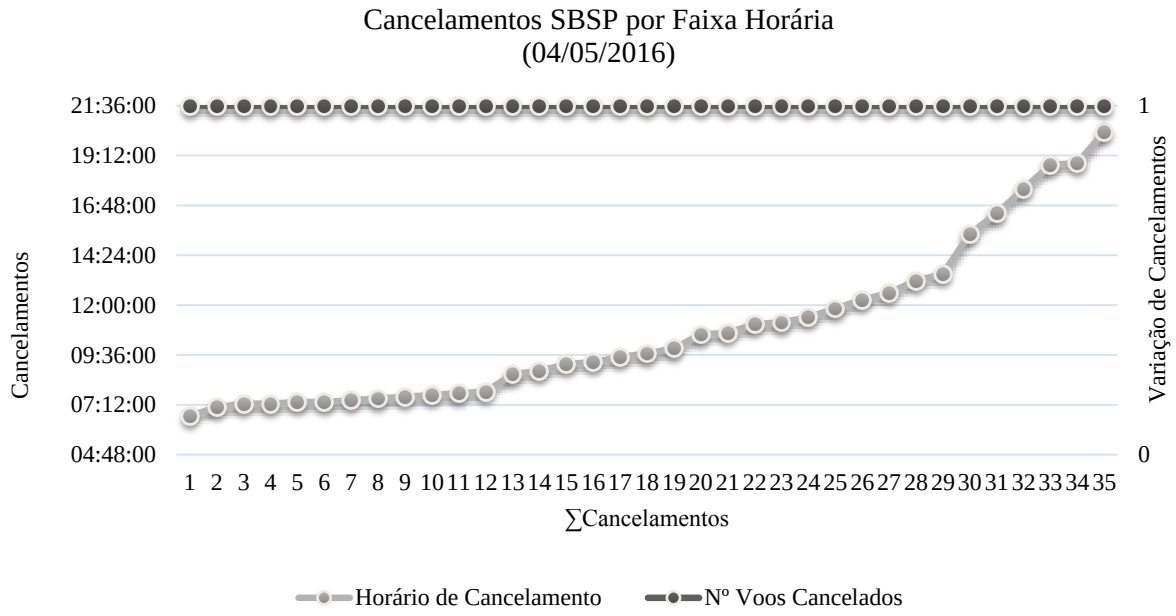


Figura 33 — Cancelamentos SBSP por Faixa Horária (04/05/2016).

Para esse dia, o total de pousos programados foi de 395. Quando aplicada a razão, cancelamentos meteorológicos/total de voos programados, obtém-se a taxa de 0,0886. Comparada ao esperado para o mês (0,0022), apenas a título de exemplificação, conforme a Tabela 35, constata-se que o impacto se enquadraria como severo.

Analisando a Figura 33, é possível verificar que os cancelamentos ocorreram à tarde e à noite, tendo maior concentração entre 07h e 20h, acumulando o total de 35 nesse faixa horária.

A exemplo do realizado anteriormente para o dia 20/02/16, foram levantados informes Metar (v. Anexo 3, Figura 58) para a faixa de horário de cancelamentos. Tomando um dos Metar que apresentou uma das menores visibilidades, registrado às 11:00 UTC (equivalente a 08:00 no horário de Brasília), tem-se, conforme a Figura 34, neblina e nuvens. Aparentemente, foram esses fatores que ocasionaram impactos, os quais podem ser melhor avaliados no conjunto dos Metar e das imagens de satélite obtidas para esse dia e faixa horária, conforme apresentado no Anexo 4 (figuras 67 e 68).

Figura 34 — Decodificação Metar SBSP às 11:00 UTC de 04/05/16
Fonte: REDEMET (2017) e Efly (2017)

4.2.5 Estimativa das Perdas de Arrecadação Tarifária

Para estimar as possíveis perdas de receitas decorrentes dos cancelamentos de pousos provocados pela meteorologia nos dois aeroportos mais impactados, SBRJ e SBSP, conforme o item 4.2.4.2, foram calculados os valores por tipo de aeronave de acordo a tarifa praticada. A composição tarifária de cobrança considera diferentes serviços, sendo decomposta em tarifas: de embarque, de conexão, de pouso, de permanência, de armazenagem e de capatazia da carga importada e a ser exportada (INFRAERO, 2014c). Para o presente estudo, foi considerada somente a tarifa de pouso, calculada a partir da equação (16), cuja aplicação é demonstrada na Tabela 41. A Tarifa de Pouso é fixada em função da categoria do aeroporto e da natureza do voo (i.e., doméstico ou internacional). Ela remunera os custos dos serviços e das facilidades proporcionados às operações de pouso, rolagem e permanência da aeronave em até três horas após o pouso.

$$TPt = TPu x PMD \quad (16)$$

Em que:
TPt = Tarifa de pouso total;
TPu = Tarifa de pouso unitária; e
PMD = Peso máximo de decolagem.

Tabela 41 — Receitas não auferidas por tipo de aeronave

Aeronave	Peso	SBRJ		SBSP	
Modelo	Ton	Cancelamentos	Perdas (R$)	Cancelamentos	Perdas (R$)
A318	68	96	R$ 51.958,12	34	R$ 19.012,25
A319	75,5	1303	R$ 796.003,30	698	R$ 423.811,13
A320	78,4	0	R$ 0,00	518	R$ 325.614,50
AT42-300	16,7	23	R$ 3.269,19	0	R$ 0,00
AT42-500	18,6	55	R$ 8.357,54	0	R$ 0,00
AT72	21,5	38	R$ 6.471,50	0	R$ 0,00
B773 300	56,4	57	R$ 27.550,84	1	R$ 483,35
B737-700	60	360	R$ 174.420,00	373	R$ 180.055,20
B737-800	70	1147	R$ 648.867,10	710	R$ 398.404,30
E170	35,9	42	R$ 12.717,58	0	R$ 0,00
E190	51,8	505	R$ 210.040,71	1	R$ 391,09
E195	52,2	379	R$ 158.202,54	57	R$ 23.340,19
F100	43	16	R$ 5.799,41	6	R$ 2.118,61
L410	6,6	4	R$ 226,25	2	R$ 110,15
Outros	-	52	-	2	-
Total		4077	R$ 2.103.884,07	2402	R$ 1.373.340,77

A Tabela 41 apresenta os dados considerados e as receitas que cada aeroporto deixou de arrecadar por pousos cancelados por condições meteorológicas segundo o tipo de aeronave.[3] A partir dela, é possível contabilizar que, juntos, os aeroportos deixaram de arrecadar, entre 2012 e 2016, R$ 3.477.224,34. O Santos Dumont, como demonstrado, foi o mais prejudicado, deixando de arrecadar R$ 2.103.884,07. Esse montante poder ser considerando como mínimo, já que outras tarifas e receitas comerciais, obtidas com o consumo de bens e serviços dos passageiros, não foram incluídas. É importante comentar que a receita considerada foi bruta, embora seja sabido que alguns custos incidem e são deduzidos, como os de manutenção da infraestrutura. Porém, partes desses custos permanecem, havendo pouso ou não, uma vez que as condições operacionais de segurança e manutenção da infraestrutura devem ser mantidas em qualquer um dos cenários, com ou sem pouso.

[3] Para elaborar essa tabela, foi calculado e aplicado o *mix* médio de aeronaves obtido junto à Infraero para cada aeroporto ao longo dos cincos anos (2012-2016, não havendo dados acessíveis do *mix* de 2011) e multiplicado pelos cancelamentos meteorológicos registrados no mesmo período, obtendo-se uma estimativa por tipo de aeronaves. A partir disso, aplicou-se a fórmula para quantificar os valores monetários dos pousos não realizados em cada ano. Feito isso, aplicou-se o índice correção IGP-M para a inflação, trazendo todos os valores para o mesmo período, (01/08/2017), o que permitiu a comparação.

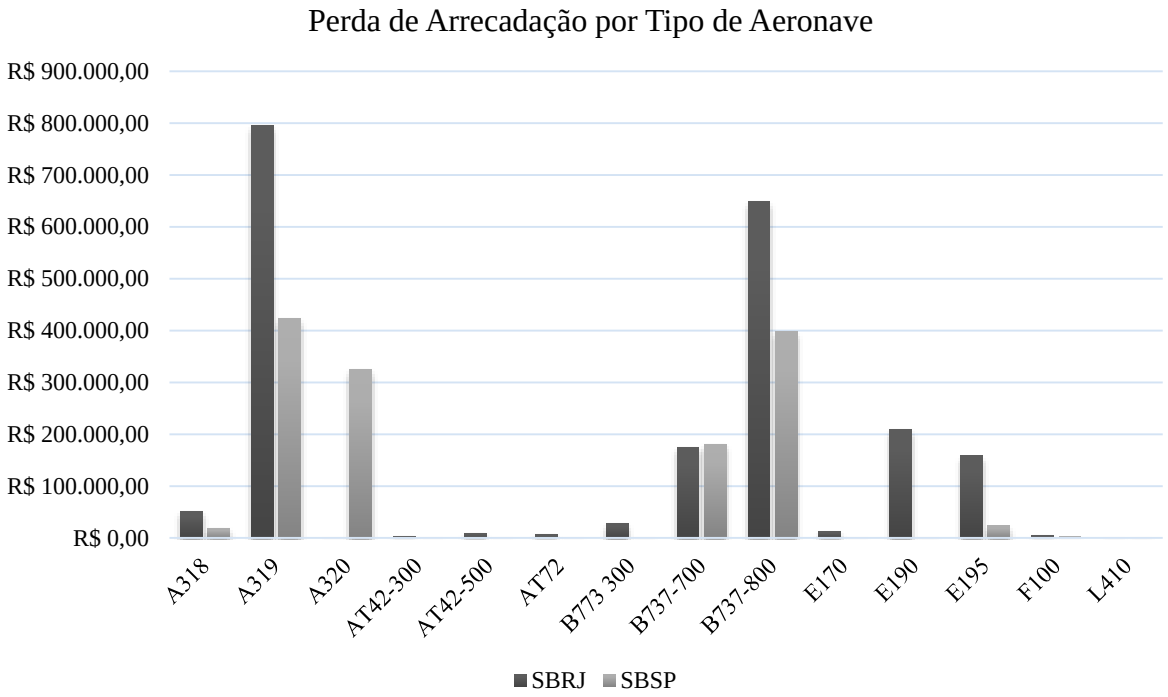


Figura 35 — Estimativa de perdas de arrecadação por tipo de aeronaves

Na Figura 35, é demonstrado que, em ambos os aeroportos, as principais aeronaves envolvidas nos cancelamentos e que, consequentemente, ocasionaram a maior perda de arrecadação foram o A319 e o B737-800. Em ambos os casos, as aeronaves são consideradas operacionalmente críticas, sendo que, para o SBRJ, são necessárias adequações no equipamento e a adoção de procedimentos específicos para que possam operar no aeroporto. Isso significa que, em uma provável intensificação de extremos climáticos, serão elas as mais impactadas. Além disso, com a provável elevação da temperatura média e consequente redução de performance das turbinas, a manutenção da categoria de referência de aeronave poderá demandar o aumento do comprimento de pista (COFFEL et al., 2017). E isso é ainda é mais sensível no Aeroporto Santos Dumont, que possui pistas relativamente curtas. Assim, as possíveis ações que poderão aumentar a resiliência de um aeroporto podem ser aplicadas em procedimentos e infraestrutura. As primeiras podem ser, por exemplo, procedimentos de navegação aérea. A segunda, por sua vez, a instalação de *instrument landing system* (ILS), a ampliação ou o aumento do número de pistas (FAA, 1983).

4.3 CONCEPÇÃO DE SISTEMA PARA INFERIR SOBRE A RESILIÊNCIA DOS AEROPORTOS

Para estimar a resiliência dos aeroportos, optou-se pela concepção de um sistema baseado na lógica *fuzzy*, cuja síntese é apresentada no Anexo 5, seguindo o método proposto por Mamdani

(1975) no ambiente Matlab (2016). A adoção desse tipo de sistema de inferência em análises aplicadas para operações aéreas e aeroportos é praticada por diferentes autores e tipos de abordagem. Pacheco et al. (2014), por exemplo, aplicaram a metodologia da lógica *fuzzy* em dois aeroportos do Rio de Janeiro com o intuito de medir os riscos de acidentes. Para isso, os autores levaram em consideração as percepções de uma amostra de pilotos que operam nesses aeroportos. Como resultado, observou-se que as percepções dos pilotos estão relacionadas aos tipos de acidentes mais prováveis. Além disso, os autores apontam os riscos que devem ser priorizados pelo aeroporto e as companhias aéreas.

Com o intuito de avaliar a segurança de uma pista de um aeroporto, Kierzkowski e Kisiel (2017) desenvolveram um modelo com aplicação da lógica *fuzzy*. A partir do modelo, foi possível avaliar o sistema (i.e., pista) por meio da sua capacidade, eficiência e nível de serviços. Os autores concluíram que o modelo proposto permite obter tanto uma estrutura física quanto de processos adequada a um nível de segurança.

Dozic e Kalic (2015) desenvolveram um modelo para o planejamento da frota que aborda o tamanho da frota e os problemas de composição da frota para as companhias aéreas que operam em rotas de curta distância e de transporte médio. O modelo apresenta três etapas e, em cada uma dessas etapas, é aplicada uma abordagem. A lógica *fuzzy* é utilizada na primeira etapa, a composição aproximada da frota. Sendo assim, esse método é utilizado para determinar o melhor *mix* de aeronaves (i.e., pequeno ou médio porte) para servir as rotas, levando em consideração a demanda de passageiros e as distâncias.

Davidajuh e Try (2015) desenvolveram um aplicativo de *software* com base na lógica *fuzzy* para identificar potenciais terroristas em aeroportos. Esse *software* insere o comportamento de uma pessoa e produz o grau de desconfiança. Além disso, esse aplicativo possui uma interface gráfica de usuário que auxilia os funcionários do aeroporto a identificar potenciais alvos de problemas. Após responder algumas perguntas de múltipla escolha sobre o comportamento do passageiro, o aplicativo irá informar se as autoridades dos aeroportos devem ou não inspecionar o passageiro.

Kiyildi e Karasahin (2008) analisaram a capacidade de um aeroporto internacional por meio da lógica *fuzzy*. Para isso, os autores analisaram uma unidade de *check-in* do aeroporto. Como resultado, o modelo proposto pelos autores prevê o tempo funcional, dependendo do número de passageiros e da bagagem, que afeta a capacidade. Sendo assim, os autores concluem que o número necessário de guichês para fornecer um atendimento adequado pode ser calculado.

Miao et al. (2012) desenvolveram um modelo de lógica *fuzzy* para lidar com a imprecisão da predição de um modelo operacional do Aeroporto de Perth e com as incertezas associadas entre

as predições de neblina e as ocorrências de nevoeiro. Esse modelo foi comparado com outros dois e constatou-se que ele apresentou um melhor desempenho do que um método objetivo; porém, apresentou resultados inferiores ao método baseado na avaliação subjetiva do previsor.

Por meio de um estudo de caso no Aeroporto Internacional de Taiwan, Taoyuan, Feng e Chung (2013) identificaram os itens de riscos em aeroportos. Posteriormente, com base na lógica *fuzzy*, os autores priorizaram os riscos do aeroporto, descobriram a importância dos fatores de decisão e também o valor limiar da matriz de avaliação de riscos.

Com o objetivo de reduzir a exposição da população próxima ao aeroporto ao ruído, Prats et al. (2007) apresentam uma estratégia para projetar trajetórias de decolagem ou aterrisagem em um determinado aeroporto e para um modelo específico de aeronave. Para isso, os autores se basearam na lógica *fuzzy* e na otimização lexical multi-objetiva. Como resultado, os autores apresentam a solução para um cenário hipotético com quatro diferentes localizações sensíveis ao ruído.

Com base na lógica *fuzzy*, Fwa et al. (2004) desenvolveram um sistema de avaliação da condição do pavimento do aeroporto e das necessidades de manutenção. Para isso, os autores realizaram um estudo de caso no Aeroporto de Cingapura. Diferente do sistema anterior, o sistema proposto não depende de regras de classificação discretas, mas relaciona as condições do pavimento diretamente com as necessidades de manutenção. Sendo assim, o *software* utilizado no gerenciamento da manutenção analisa os dados de condições do pavimento e calcula um nível de necessidade de manutenção.

Rahim e Malaek (2011) utilizam a lógica *fuzzy* para apresentar uma nova abordagem do *terrain following flight* (TF). O controlador *fuzzy* apresentado pelos autores decide onde e como a aeronave precisa mudar sua altitude. Após a realização de diversos estudos de casos, os autores concluem que o método apresenta uma maior eficácia do que os demais disponíveis.

Asklany et al. (2011) utilizaram a lógica *fuzzy* para desenvolver modelos de predição de eventos pluviométricos. Utilizando cinco parâmetros e dados históricos de dois aeroportos, os autores desenvolveram um modelo para cada estação.

4.3.1 Subsistemas

Os subsistemas e variáveis consideradas foram aquelas julgadas mais representativas, suficientes e com possibilidade de obtenção de dados. Em que pese a listagem abaixo incluir diferentes subsistemas e variáveis possíveis, o sistema proposto considerou apenas aqueles fundamentais para a análise.

A resiliência de um subsistema (e.g., pátios e pistas) será estimada com base em componentes (e.g., pistas) que possuem interface com os aspectos meteorológicos climáticos e parâmetros definidos (e.g., comprimento), os quais serão associados a atributos definidos (e.g., pequeno, médio e grande).

4.3.1.1 Subsistema de Pistas

Como descrito anteriormente, no subitem 3.3, o comprimento, a quantidade e a configuração dos sistemas de pistas são determinantes na capacidade operacional do aeroporto. Logo, serão essas as variáveis e os atributos considerados, conforme abaixo detalhado:

Número de pistas:

- se única, então pouca (Mais crítica);
- se duas, então razoável (Crítica); e
- se três ou mais, então suficiente (Menos crítica).

Comprimento de pista:

- se menor ou igual a 1500m, então pequena (Mais crítica);
- se compreendida entre 1500m e 2200m, então média (Crítica); e
- se acima de 2200m, então grande (Menos crítica).

Configuração de pista:

- se independente, então limitada (Mais crítica);
- se cruzada, aberta em V ou paralela dependente, então modernamente limitada (Crítica); e
- se paralela independente, então não limitada (Menos crítica).

Macrotextura da pista:

- se convencional (concreto ou asfalto), então pouco aderente (Mais crítica);
- se camada porosa ou *grooving*, então modernamente aderente (Crítica); e
- se *grooving* e camada prosa, então aderente (Menos crítica).

Tipo de Pavimento:

- se asfáltico, então pouco resistente;
- se misto (asfáltico e concreto), então moderadamente resistente; e

- se concreto, então resistente.

4.3.1.2 Capacidade do Terminal

Cada projeto de terminal é concebido para uma capacidade de processamento. Quando essa capacidade está próxima de ser atingida, então se justifica a sua ampliação. Para essa variável, será admitido que, quanto maior a capacidade livre de processamento ou "folga", maior será a capacidade de absorver e reprocessar passageiros em quantidade e qualidade numa eventual degradação meteorológica dos sistemas de pouso e decolagem. Essa capacidade poderá ser obtida pela diferença entre a capacidade projetada do terminal e a capacidade processada, extraída da estatística operacional do aeroporto.

- Se *capacidade livre pequena*, então crítico.
- Se *capacidade livre média*, então pouco crítico.
- *Se a capacidade livre grande*, pouco crítico.

4.3.1.3 Acessibilidade terrestre

- Se o modo é rodoviário convencional, então pouco acessível.
- Se o modo é rodoviário BRT ou exclusivo, então medianamente acessível.
- Se o modo é baseado em trilhos (e.g., trem, metro, veículo leve sobre trilhos), então acessível.

Os termos linguísticos pouco, medinamente e acessível, associados a cada modo, representam uma qualificação atribuída. Nesse caso, assume-se que um aeroporto assistido por modo trilho, por exemplo, é mais acessível do que aquele assistido por um rodoviário.

4.3.1.4 Auxílios de Navegação

- Se (VFR) ou DME/VOR (Não-precisão), então não preciso (Mais crítico).
- Se IFR CAT I, então moderadamente preciso (Crítico).
- Se IFR CAT II ou CAT III, então preciso (Menos Crítico).

4.3.1.5 Auxílios Meteorológicos

- Se Estação Meteorológica de Superfície Classe III (EMS-3), então menor auxílio (Mais Crítico).
- Se Estação Meteorológica de Superfície Classe II (EMS-2), então médio auxílio (Crítico).
- Se Estação Meteorológica de Superfície Classe I (EMS-1), então bom auxílio (Menos crítico).

4.3.1.6 Infraestrutura elétrica e hídrica

Para esse subsistema, serão adotadas variáveis que denotem redundância.

Elétrica:

- se uma única fonte de alimentação, então baixa redundância;
- se duas fontes de alimentação, então média redundância; e
- se três fontes de alimentação elétrica, então alta redundância.

Água:

- se uma única fonte alimentação, então baixa redundância;
- se duas fontes de alimentação, então média redundância; e
- se três fontes de alimentação elétrica, então redundância alta.

Tabela 42 — Síntese das variáveis e termos linguísticos

Variáveis	Termos linguísticos *
Número de pistas	Pouca
	Razoável
	Suficiente
Configuração da pista	Limitada
	Moderadamente limitada
	Não limitada
Comprimento de pista	Pequena
	Média
	Grande
Macrotextura	Pouco Aderente
	Moderadamente Aderente
	Aderente
Capacidade livre do terminal	Crítica
	Pouco crítica
	Não crítica
	Pouco

Acesso	Médio
	Adequado
Auxílio de navegação	Não preciso
	Pouco preciso
	Preciso
Auxílio meteorológicos	Pouco auxílio
	Médio auxílio
	Bom auxílio
Redundância de infra. Elétrica	Baixa
	Média
	Grande
Redundância de infra. Hídrica	Baixa
	Média
	Grande

* Termo linguístico define uma expressão qualitativa das variáveis consideradas para análise de resiliência, conforme pode verificado na Tabela 43 e ANEXO 5.

4.4 ÍNDICE DE RESILIÊNCIA DOS AEROPORTOS

Como descrito na etapa 2 do item 4.1, a avaliação da resiliência dos aeroportos foi realizada por meio de um sistema de inferência *fuzzy* construído no ambiente Matlab (versão Student R2016a), usando o Fuzzy Logic Toolbox.

A construção de um Fuzzy Inference System (FIS) no toolbox do Matlab se estrutura conforme apresentado na Figura 36, onde:

- o editor de função de pertinência (Membership Function Editor) define as formas de todas as funções associadas a cada variável;
- o editor de regras (Rule Editor) para editar a lista de regras define o comportamento do sistema;
- o visualizador de regras (Rule Viewer) serve como um diagnóstico para ver, por exemplo, quais regras estão ativas ou como as formas das funções de pertinência de cada variável influencia os resultados. Ele mostra um cálculo por vez e com grande detalhe, permitindo uma espécie de microvisão do sistema de inferência difusa; e
- o visor de superfície (Surface Editor) para visualizar a dependência de uma das saídas em uma ou duas das entradas —ou seja, gera e traça um mapa de superfície de saída para o sistema — possibilita uma visão tridimensional muito útil em casos

com duas (ou mais) entradas e uma saída, sendo possível executar rotações e visualizar a resposta sob diferentes ângulos.

Para efeito da construção do sistema, foram definidas as seguintes premissas:

- adoção de funções de pertinência triangulares (função trimf) e trapezoidais (trapf), que são simples e funcionais; e
- reduzido número de entradas, pois, sendo muito grande ou tendo um grande número de funções antecessoras, tonar-se difícil analisar o FIS usando as outras ferramentas.

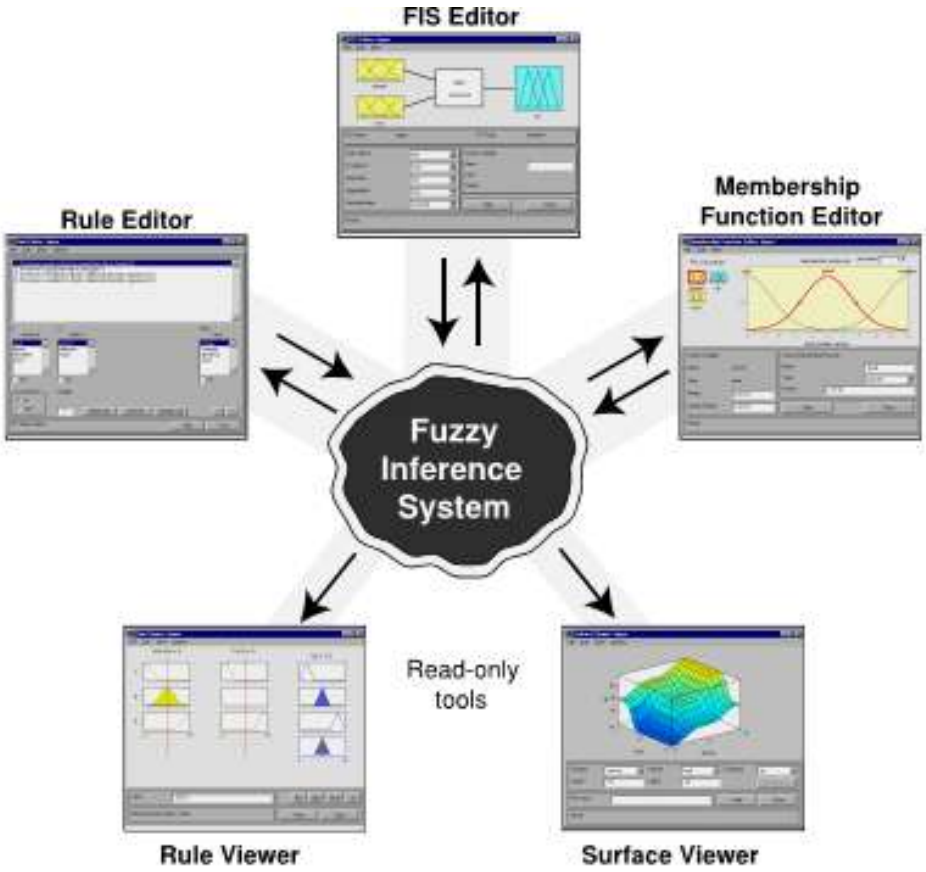


Figura 36 — Representação do sistema de inferência *fuzzy*
Fonte: MathWorks (2016)

4.4.1 Desenvolvendo o Sistema de Inferência

Inicialmente se tinha percepção de ordem prática sobre a operação do sistema aeroporto, incluindo as relações entre os subsistemas. A partir desses subsistemas, extraíram-se parâmetros (ou variáveis) e definiram-se os termos linguísticos e as respectivas pertinências, conforme a

Tabela 43. Em seguida, foram definidas as regras de inferência associadas às saídas (i.e., *output*) do sistema.

A partir da construção da representação dos sistemas no ambiente Matlab (toolbox fuzzy), diversos inputs foram realizados e as respostas obtidas foram analisadas e confrontadas com realidade operacional do aeroporto. Esse procedimento foi repetido até que fosse obtido o valor *crisp* (ou resposta) que melhor representasse o conjunto *fuzzy* e a realidade.

Para a construção do sistema, foram selecionadas seis variáveis consideradas representativas e essenciais para a análise, as quais foram associadas de acordo com seus atributos ou termos linguísticos, conforme apresentado na Tabela 43. Os dados de entrada, tipos de função (i.e., triangular ou trapezoidal), regras de inferência, método de desfuzzificação e respectivas telas do sistema desenvolvido são apresentados no Anexo 6 e respectivas figuras.

Tabela 43 — Variáveis escolhidas e seus atributos

Variáveis	Termos linguísticos	Referência Real	Números *Fuzzy**
Comprimento de pista	Pequena	Até 1.5 km	[-1.2 1.2 1.5]
	Média	Até 2.2 km	[-1 1.5 2.2]
	Grande	2.2 km ou mais	[-1 2.2 4 4]
Macrotextura	Pouco Aderente	Pav. Convencional	[-1 1.4 2]
	Moderadamente Aderente	*Grooving* ou camada porosa	[-1 1.5 2.5]
	Aderente	*Grooving* e camada porosa	[-1 1.6 4 4]
Número de pistas	Pouco	Até 1	[-1 1 2]
	Razoável	Até 2	[-0.5 2 3]
	Suficiente	3 ou mais	[-0.5 3 4 4]
Configuração da pista	Limitada	Única	[-1 1 2]
	Moderadamente limitada	Cruzada/V Aberto/Paralela	[-1 1.5 2.5]
	Não limitada	Paralela Independente	[-1 2.5 4 4]
Auxílios de navegação	Não preciso	DME/VOR	[-1 1.7 2.2]
	Pouco preciso	ILS CAT I	[-1 2 2.5]
	Preciso	ILS CAT II e III	[-1 2.5 4 4]
Auxílios meteorológicos	Pouco auxílio	EMS 3	[-1 1.4 2]
	Médio auxílio	EMS 2	[-1 1.6 2.5]
	Bom auxílio	EMS 1	[-1 2 4 4]

*Números *fuzzy* foram gerados no toolbox do Matlab, considerando, sempre que possível, as condições reais, especialmente para as variáveis quantitativas, tais como comprimento e número de pistas (O SBGL, por exemplo, possui pista de 4km); para as variáveis qualitativas, adotaram-se números iguais ou aproximados aos reais, mas com intervalos específicos para se adequar ao sistema proposto.

4.4.1.1 Representação gráfica do sistema fuzzy

Uma vez que informações mais detalhadas do sistema de inferência são apresentadas no Anexo 7, este item traz comentários sobre os gráficos de superfície 3D resultantes dos três conjuntos de relações criadas para as variáveis, a saber: relação 1 – comprimento de pistas e macrotextura, representada na Figura 37; relação 2 – número de pistas e configuração, representada na Figura 38; e relação 3 – auxílios de navegação e meteorológicos, representada na Figura 39.

O gráfico de superfície 3D representa como uma variável resposta se relaciona com duas variáveis preditoras, sendo útil para a investigação de valores respostas correspondentes aos dados de entrada (xy). Ele (gráfico de superfície) possui os seguintes elementos:

- preditores (ou entradas) nos eixos x e y; e
- uma superfície contínua que representa os valores de resposta no eixo-z, sendo que os picos e vales correspondem a combinações de x e y que produzem regiões máximas ou mínimas.

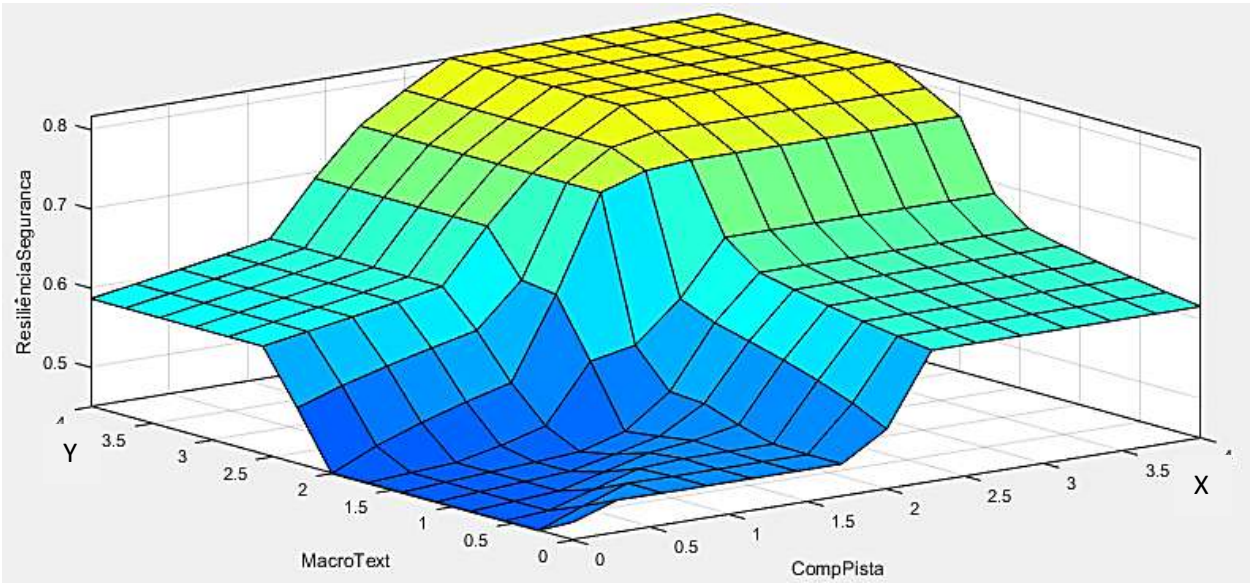


Figura 37 — Relação comprimento da pista e macrotextura

A Figura 37 representa gráfico de contorno da relação entre comprimento de pistas e a macrotextura, bem como o índice resiliência dos resultados possíveis. Quando o comprimento da pista é pequeno, menor que 1,5 km, e a macrotextura pouco aderente, menor que 1,4, o índice de resiliência é baixo e a superfície se localiza no vale (azul escuro). À medida que o comprimento da pista aumenta e a macrotextura fica mais aderente, o índice de resiliência aumenta. O platô

amarelo representa a superfície que dispõe do maior índice de resiliência. As rampas e diferenças de níveis representam a transição de uma função para outra. No caso da Figura 37, de forma a exemplificar, é possível ver transições a partir dos comprimentos aproximados de 2 km e 2,5 km. Nota-se que o eixo x (comprimento) possui borda um pouco elevada em relação ao eixo y (macrotextura), demonstrando ser esse parâmetro preponderante. Isso está aderente à realidade, uma vez que, entre uma pista curta com macrotextura muito aderente e outra longa com macrotextura aderente, é preferível a última.

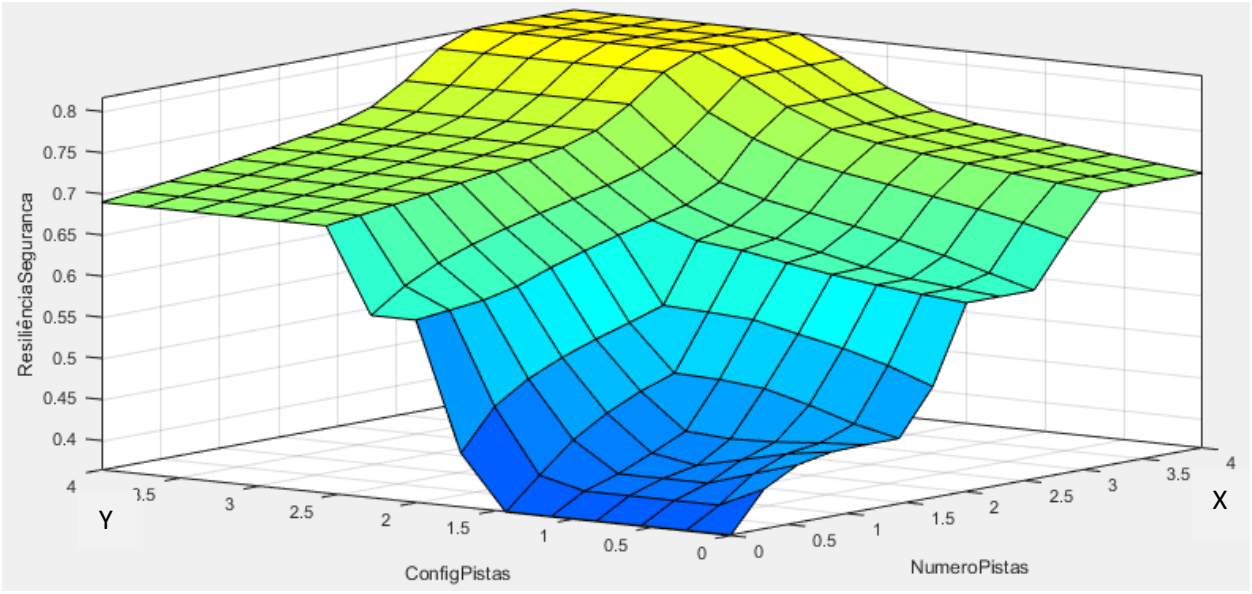


Figura 38 — Relação número de pistas e configuração

Já a Figura 38 representa gráfico de contorno da relação entre número e configuração de pistas, bem como o índice resiliência dos resultados possíveis. Quando o numero de pistas é pouco, até 1, a configuração é limitada (única), 1, o índice de resiliência é baixo e a superfície se localiza no vale (azul escuro). À medida que o número de pista aumenta e a configuração passa para paralela dependente, cruzada ou V em aberto, chegando em paralela independente (valor 2.5 no eixo y), o índice de resiliência aumenta. O platô amarelo representa a superfície que dispõe do maior índice de resiliência para a relação. Assim como no gráfico anterior, as rampas e as diferenças de níveis representam a transição de uma função para outra. No caso da Figura 38, de forma a exemplificar, é possível ver transições a partir do numero de pistas 2 (eixo x), onde ocorre um “salto”. Isso tem sentido prático, uma vez que um aeroporto que dispõe de duas pistas é superior ao que dispõe de uma, já que a redundância amplia a capacidade e a condição de manutenção operacional, quer seja pelo uso sequencial ou simultâneo de ambas, quer seja pela utilização de uma em razão da manutenção da outra.

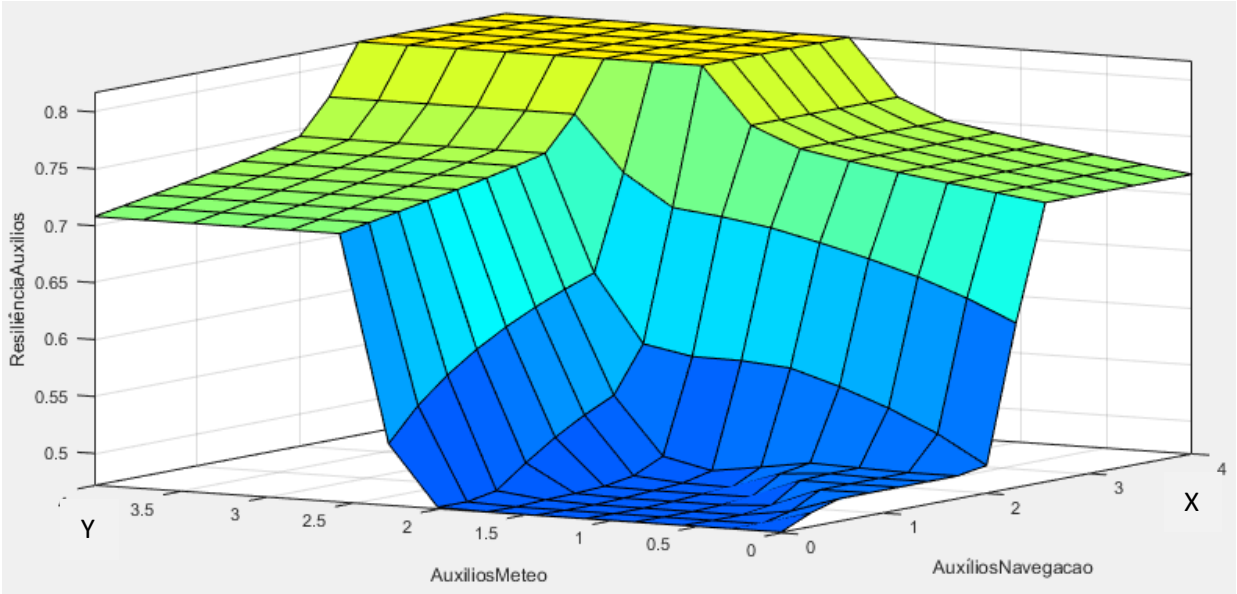


Figura 39 — Relação auxílios de navegação e meteorológicos

A exemplo das anteriores, a Figura 39 representa o gráfico de contorno da relação entre auxílios de navegação e meteorológicos, bem como o índice resiliência dos resultados possíveis. Quando o auxílio de navegação é não preciso, até aproximadamente 1,7 (eixo x), e o auxílio meteorológico é menor, aproximadamente 1,4, o índice de resiliência é baixo e a superfície se localiza no vale (azul escuro). À medida que o auxílio de navegação se torna mais preciso e os meteorológicos melhores, o índice de resiliência aumenta. O platô amarelo representa a superfície que dispõe do maior índice de resiliência. As rampas e as diferenças de níveis mais uma vez representam a transição de uma função para outra. No caso da Figura 39, verificam-se transições próximos aos valores 2 e 2.5 em ambos os eixos.

4.4.2 Resultados

Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 44, onde é possível verificar os índices alcançados pelos aeroportos segundo as relações e regras definidas.

Tabela 44 — Índices de resiliência dos aeroportos

Nº	Relação	SBRJ	SBGL	SBSP	SBGR	Máximo* Valor
1	Comprimento e Macrotextura	0,513	0,653	0,584	0,653	0,817
2	Número e Configuração Pista	0,632	0,632	0,632	0,632	0,817
3	Auxílios de navegação e Meteorológico.	0,477	0,817	0,573	0,817	0,817

* A coluna valor máximo apresenta o máximo valor resposta possível para cada relação ou modelo.

Analisando a Tabela 44, é possível verificar que o o aeroporto Santos Dumont (SBRJ), apresentou o menor índice (0,513) para a relação 1 (Comprimento e Macrotextura), seguido por Congonhas (SBSP, 0,584), Guarulhos (SBGR, 0,653) e Galeão (SBGL, 0,653), sendo que estes dois últimos apresentaram o mesmo índice. Isso se deve ao fato do comprimento de pistas e tipo de macrotextura de ambos serem semelhantes segundo os critérios do sistema. No caso do Santos Dumont, já se esperava um menor resultado, dado que se trata do aeroporto com menor pista. Congonhas, por sua vez, possui a terceira maior pista entre os quatro e ainda macrotextura moderadamente aderente, composta por *grooving*, sendo factível o segundo maior índice.

Sobre a relação 2 (número e configuração pista), todos os aeroportos apresentaram o mesmo índice, de 0,632, o que está coerente com a realidade, já que todos os aeroportos possuem duas pistas e com configuração dependente. Ou seja, para operar uma, exige-se a não operação da outra de forma simultânea.

Para a relação 3 (auxílios de navegação e meteorológicos), mais uma vez o Aeroporto Santos Dumont apresentou menor índice (0,477), sendo acompanhado por Congonhas (0,573), Guarulhos (0,817) e Galeão (0,817). No caso destes dois últimos, ambos apresentam ILS CAT 2 e Estações EMS 1, consideradas referências máximas no sistema. Em que pese SBGR dispor de ILS CAT III, o sistema, por assunção adotada, coloca ambos (CAT II e III) na mesma classe. Entretanto, é plenamente possível realizar essa distinção, caso assim se queira. Quanto ao Santos Dumont, o menor índice se dá sobretudo pela falta de precisão nos auxílios de navegação (no mínimo ILS CAT I). Congonhas, por dispor de ILS CAT I, e a mesma categoria de auxílio meteorológico do Santos Dumont, EMS 2, necessariamente apresentou índice maior do que SBRJ.

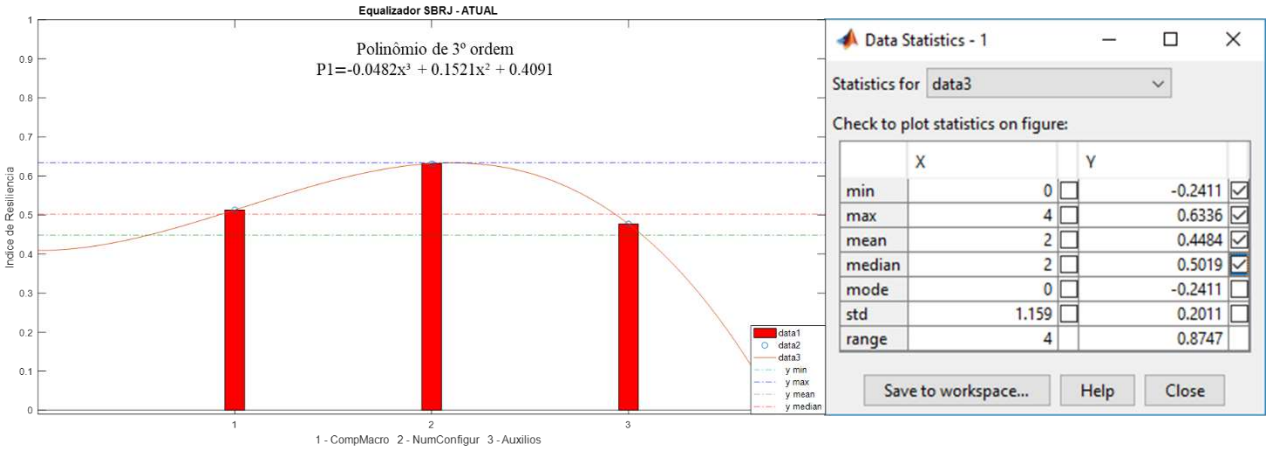
4.4.2.1 Representação gráfica

Para representar graficamente (curvas) os resultados obtidos (Tabela 44) em forma de um equalizador, admitindo ser o número de dados (ou resultados) relativamente reduzido (três para cada aeroporto), e de forma a obter um valor médio dos índices calculados, foram geradas curvas ajustadas de 3ª ordem, conforme demonstrado a partir da Figura 40.

O ajuste de curvas objetivou encontrar uma função que melhor se ajustasse ao conjunto de pontos ou índices obtidos para cada relação no plano xy, sendo que para o eixo y foram empregados os respectivos valores dos índices de resiliência de cada aeroporto e para o eixo x, cuja função foi mais de "localizar" espacialmente os valores do eixo y, foram atribuídos valores numéricos (os mesmos) para todos os aeroportos. Para tanto, foi utilizada uma função polinomial, frequentemente empregada na modelagem e soluções de problemas de engenharia (GILAT, 2012).

A essa função, por ser considerada contínua, aplica-se o Teorema do Valor Intermediário, admitindo-se, portanto, que, entre cada um dos índices calculados no respectivo plano, existe um ponto intermediário. Uma vez ajustada, a função pôde ser utilizada como modelo matemático representativo dos dados (GILAT, op. cit.).

Na presente aplicação, foi utilizada a função polyval e polyfit do Matlab, por meio de *script* pré-configurado no ambiente Matlab, conforme apresentando no Anexo 8.



*O eixo Y indica os respectivos índices resiliência obtidos no sistema fuzzy. O eixo x indica valores ou amostras (1, 2 e 3) atribuídos, sendo adotado os mesmos valores para todos aeroportos. Ver Anexo 8.

Figura 40 — Curva de resiliência do Aeroporto Santos Dumont

A função cujo gráfico é mostrado na Figura 40 é suave e contínua, apresenta uma leve curvatura descendente e se comporta no infinito como uma reta, como o esperado para um polinômio de grau ímpar. O máximo local da função é atingido próximo ao intercepto do índice que representa a relação número e configuração de pista. A média resultante dos valores da curva é 0,4484.

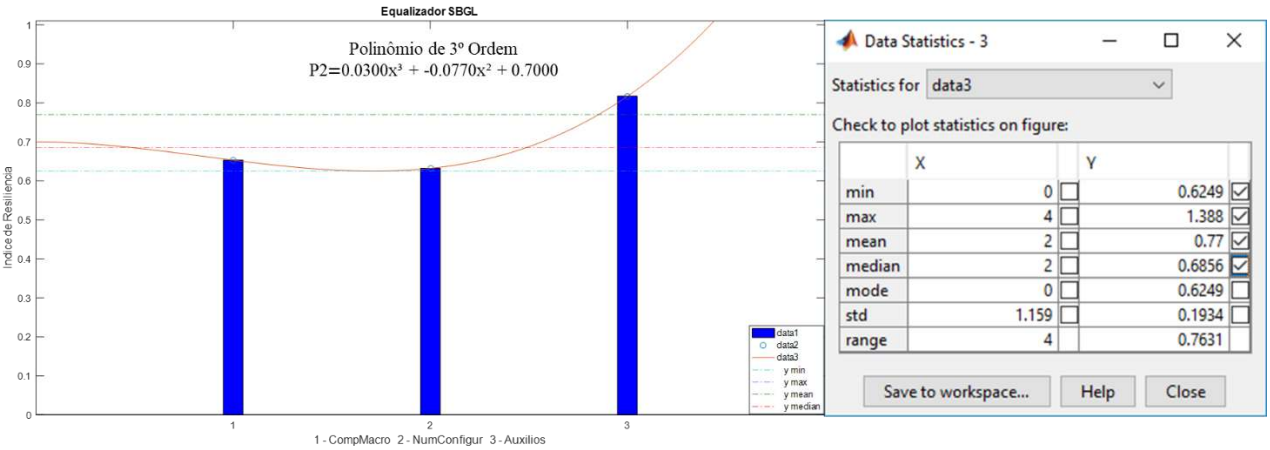


Figura 41 — Curva de resiliência do Aeroporto do Galeão

A função cujo gráfico é mostrado na Figura 41 é suave e contínua, apresenta uma leve curvatura ascendente. O mínimo local da função é atingido próximo ao intercepto do índice que representa a relação número e configuração de pista. A média resultante dos valores da curva é 0,77.

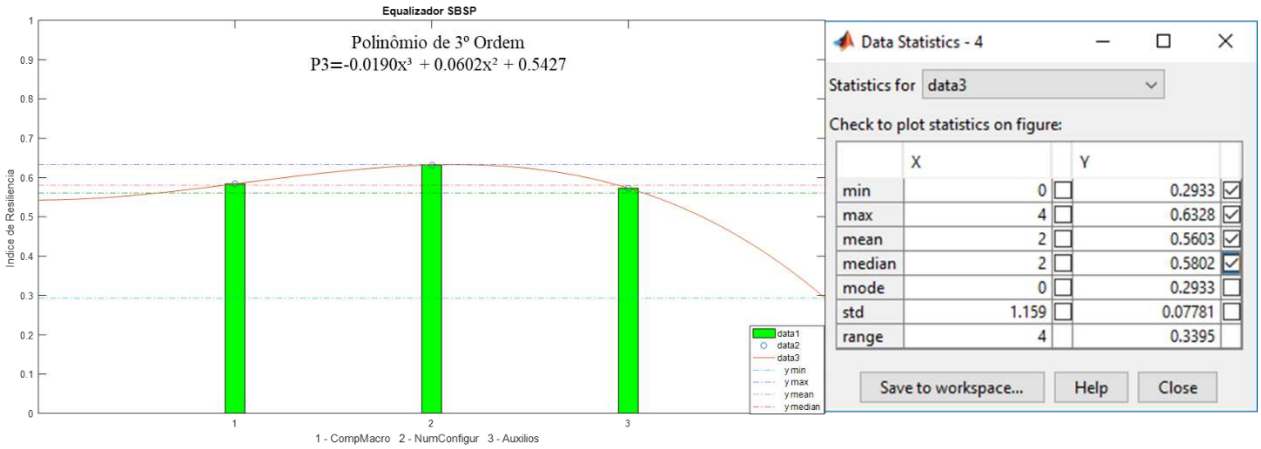


Figura 42 — Curva de resiliência do Aeroporto de Congonhas

A função cujo gráfico é mostrado na Figura 42 é suave e contínua, apresenta uma leve curvatura descendente, a exemplo do SBRJ. O máximo local da função é atingido próximo ao intercepto do índice que representa a relação número e configuração de pista. A média resultante dos valores da curva é 0,5603.

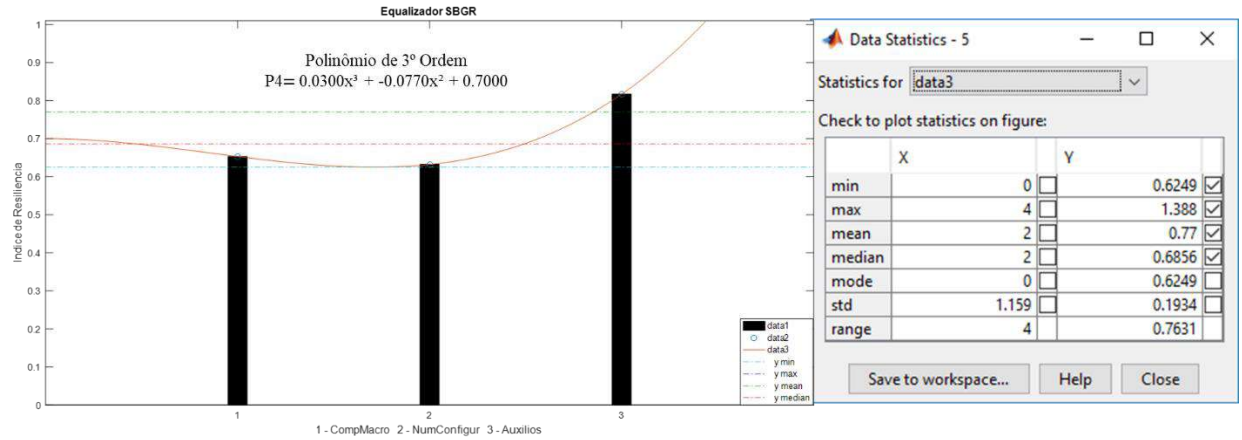


Figura 43 — Curva de resiliência do Aeroporto de Guarulhos

A função cujo gráfico é mostrado na Figura 43 é suave e contínua, apresenta uma leve curvatura ascendente, a exemplo do SBGL. O mínimo local da função é atingido no intercepto do

índice que representa a relação número e configuração de pista. A média resultante dos valores da curva é 0,77.

4.4.3 Conclusão Parcial

De maneira geral, os resultados obtidos a partir dos sistemas de inferência desenvolvidos se mostraram coerentes com a realidade ou com o esperado, quando realizada uma abordagem empírica. Nesse sentido, conclui-se que os mesmos sistemas, por terem sidos calibrados e testados com valores reais dos quatro aeroportos, representam uma boa ferramenta de análise possível de ser extrapolada para outros aeroportos que se enquadrem nos limites de referência estabelecidos. Não obstante, ajustes e mais testes podem ser feitos com diferentes valores reais, de modo a torná-los mais robustos e assertivos.

As curvas geradas permitiram, além de demonstrar graficamente o comportamento da resiliência dos aeroportos, obter resultados que representam, entre outras coisas, o índice médio de resiliência de cada aeroporto, que representa um valor médio das resiliências calculadas. Pode ser adotado como indicador e por meio dele, é possível ranquear os aeroportos de forma crescente (do menos resiliente para o mais resiliente), onde: 1º – Aeroporto Santos Dumont, com o Índice de Resiliência Médio (IRM) de 0,4484; 2º – Congonhas, com IRM de 0,5603; e 3º – Guarulhos e Galeão, com o mesmo IRM de 0,77.

5. PROPOSIÇÕES PARA AUMENTO DE RESILIÊNCIA DO AEROPORTO SANTOS DUMONT

Para fins de avaliar o impacto de intervenções no aeroporto Santos Dumont, que, pelo sistema de inferência elaborado, se mostrou mais crítico ou menos resiliente em termos de infraestrutura, foram realizadas algumas proposições com o objetivo de promover o aumento da resiliência. Nesse sentido, foram consideras intervenções no sistema de pistas, as quais consideraram a implantação de nova macrotextura (antiskid) e a ampliação da pista principal. Também foram consideradas intervenções nos auxílios de navegação, com a implantação da ILS CAT I, e nos auxílios meteorológicos, com a implantação de estação categoria 1 (EMS 1). Além disso, foram avaliadas outras alternativas que poderão trazer ganhos para o aeroporto frente a condições adversas.

5.1 SUBSISTEMA DE PISTAS

5.1.1 Implantação de Antiskid

O Antiskid é um tratamento especial das superfícies de pistas para aeródromos que proporciona um nível de atrito máximo, independentemente de a pista estar seca ou molhada. Essa tecnologia é a única que trata simultaneamente a macrotextura (i.e., drenagem d'água) e a microtextura (i.e., atrito) (DZETA, 2017). Este tratamento tipo Chip Seal é aprovado e recomendado pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) e pela *Federal Aviation Adminsitration* (FAA) e tem como objetivo aumentar a resistência à derrapagem de aeronaves em aeródromos (INFRAERO, 2017).

Desde 1956, esse método já foi aplicado em mais de 130 aeroportos civis e militares, resultando em mais de 30 milhões de m^2 do Antiskid aplicados até hoje no mundo (POSSEHL, 2017). Devido à sua rugosidade, 3 vezes maior do que o estabelecido pela Norma Brasileira, esse tratamento reduz o risco de aquaplanagem com a sua alta capacidade de drenagem multidirecional. Sendo assim, esse tratamento garante aumento das condições de drenagem e atrito, proporcionando maior estabilidade das aeronaves no pouso e na decolagem em situações com chuvas e ventos laterais (DZETA, 2017).

Esse procedimento caracteriza-se pela aplicação de uma lâmina fina na superfície da pista, sendo composta por uma emulsão polimerizada de composto betuminoso com resinas à base de epóxi e um agregado de partículas de basalto com granulometria entre 1,5 e 3,5 mm (INFRAERO, 2017). O procedimento de aplicação é realizado por meio de uma máquina de colocação de resina que é posteriormente revestida com uma mistura de areia de basalto. Em seguida, após varrer o excesso de areia, é realizada a pulverização de outra camada protetora de ligação no topo, para melhorar a qualidade da superfície (POSSEHL, 2017).

Além de melhorar as condições de rolamento, aumentar o atrito e a durabilidade, esse tratamento protege as pistas de substâncias como óleo, querosene, gasolina, fluido hidráulico, solventes e outros, bem como pode resguardar os pavimentos asfálticos contra efeitos negativos advindos de raio ultravioleta e da oxidação térmica (INFRAERO, 2017).

Apesar de apresentar grandes benefícios, a tecnologia Antiskid possui um elevado custo de aplicação. Como pode ser visto na Figura 44, o metro quadrado dessa tecnologia custa 120 euros. Sendo assim, considerando apenas as pistas principais desses aeroportos, este projeto custaria mais de 45 milhões de reais.

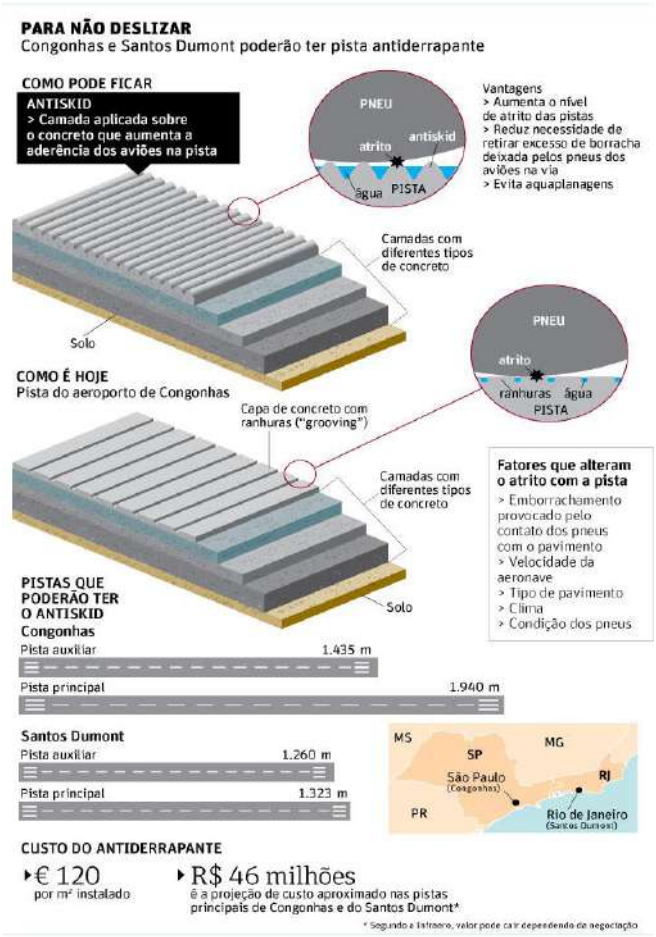


Figura 44 — Proposição de aplicação de antiskid
Fonte: Gallo (2013)

As principais vantagens econômicas dessa tecnologia são: maior segurança e eficiência das operações, menores custos operacionais e de manutenção e rápido retorno do capital investido. Além disso, não há interrupção na operação dos aeroportos durante a aplicação, uma vez que o antiskid pode ser aplicado em turnos noturnos, liberando as pistas para operação no turno da manhã (DZETA, 2017). Entretanto, além do alto custo, o procedimento possui algumas desvantagens, tais como baixo *know-how* das empresas brasileiras, indisponibilidade de material e equipamentos para a execução com tecnologia nacional, carência de regulamentação por parte da Agência Reguladora e desgaste dos pneus das aeronaves (INFRAERO, 2017).

5.1.2 Ampliação da Pista

A ampliação aqui considerada refere-se ao aumento do comprimento da pista para 1.5 km, em detrimento dos 1.323 km atuais, conforme ilustrado nas figuras 45 e 46. Em que pese haver viabilidade construtiva e solução de engenharia, eventuais restrições ambientais podem ser um fator limitador a essa proposição. E isso porque haverá necessidade de aterramento da Baía da

Guanabara e cobertura do espelho d'agua, ainda que admitida que área a ser ocupada é pouco expressiva, quando considerada a dimensão da existente.

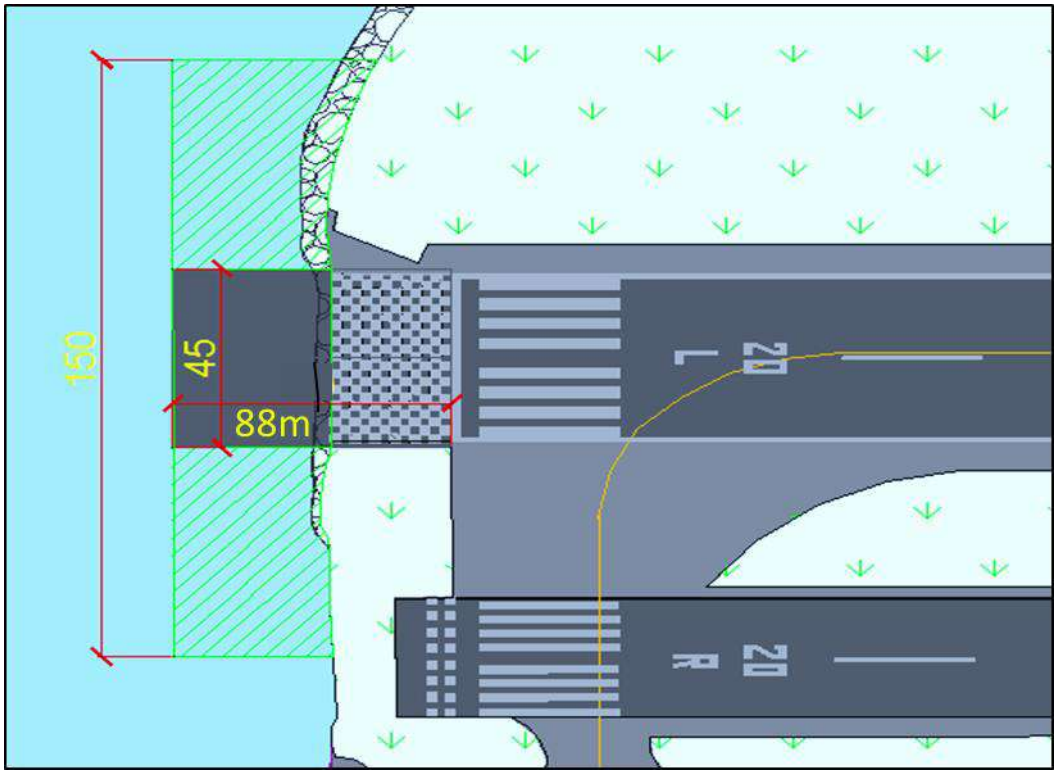


Figura 45 — Ampliação da pista SBRJ cab. 20

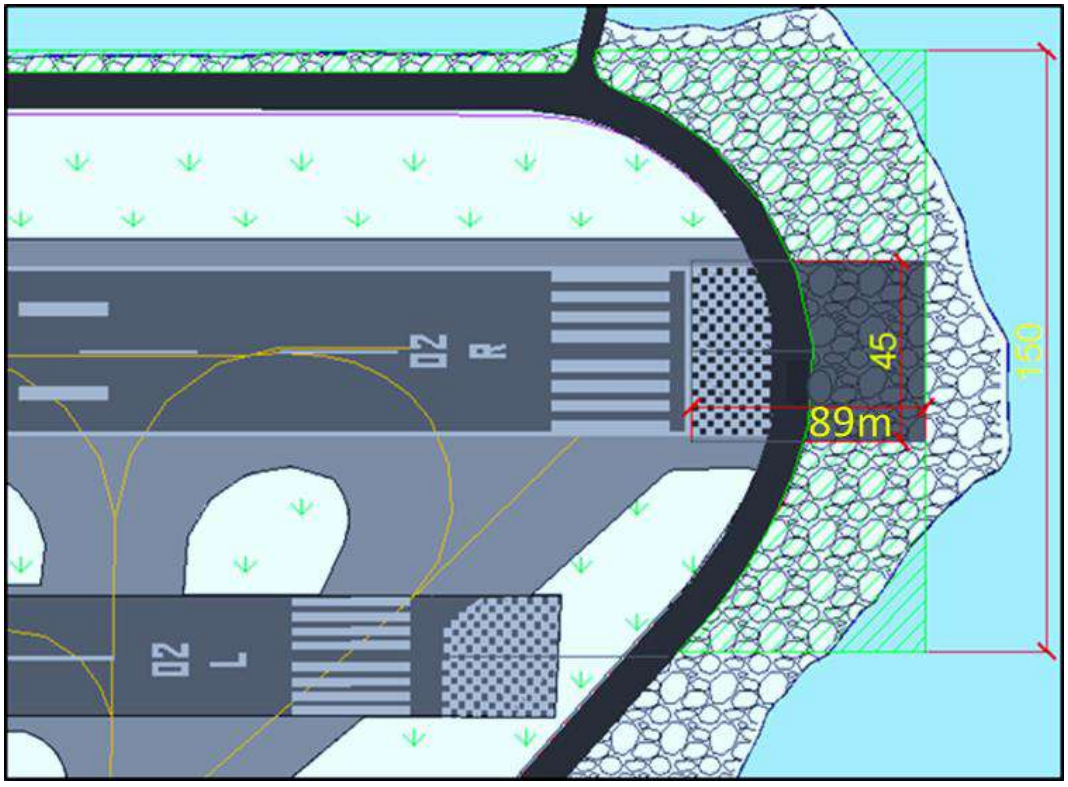


Figura 46 — Ampliação da pista SBRJ cab. 02

5.2 SUBSISTEMA DE AUXÍLIOS

5.2.1 Auxílios de Navegação

Essa hipótese considera a implantação de ILS CAT I como forma de aumentar o índice de resiliência para esse parâmetro. Para verificar preliminarmente a viabilidade física de implantação da solução, foram confrontadas as principais instruções normativas aplicadas às condições locais do aeroporto. Para tanto, foram considerados ou admitidos para a análise: a) a Portaria nº 957/GC3, de 9 de julho de 2015, Arts. 57, 58, 59 e 60, que tratam da Zonas de Proteção de Auxílio à Navegação Aérea do Sistema de Pouso por Instrumento ILS; b) a instalação de ILS com performance categoria I (ILS CAT I); c) a instalação dos Subsistemas GP (Transmissor de Rampa de Planeio), LOC (Localizador) e MARKER (Marcador), que são os componentes eletrônicos mínimos para ativação do ILS CAT I, conforme ICA 100-16 (BRASIL, 2013a); d) a altura do GP = 3 m, PZPANA SBVT (BRASIL, 2015b), e que o gradiente na transição é de 14,3 %, conforme Art. 15 da Portaria nº 957/GC3/2015; f) a altura do LOC = 3m, PZPANA SBVT (BRASIL, 2015b), e que o gradiente de aproximação e decolagem é de 2 %, conforme Arts. 13 e 14 da Portaria nº 957/GC3/2015; e g) que a cota da base das estruturas e antenas dos Subsistemas (GP, LOC e MARKER) são as mesmas da base da Faixa Preparada e da Faixa de Pista.

5.2.2 Auxílios Meteorológicos

Implantação de EMS 1, como descrito no subitem 2.5.1.1, ilustrado pela Figura 47 e representando pela Figura 48 abaixo.

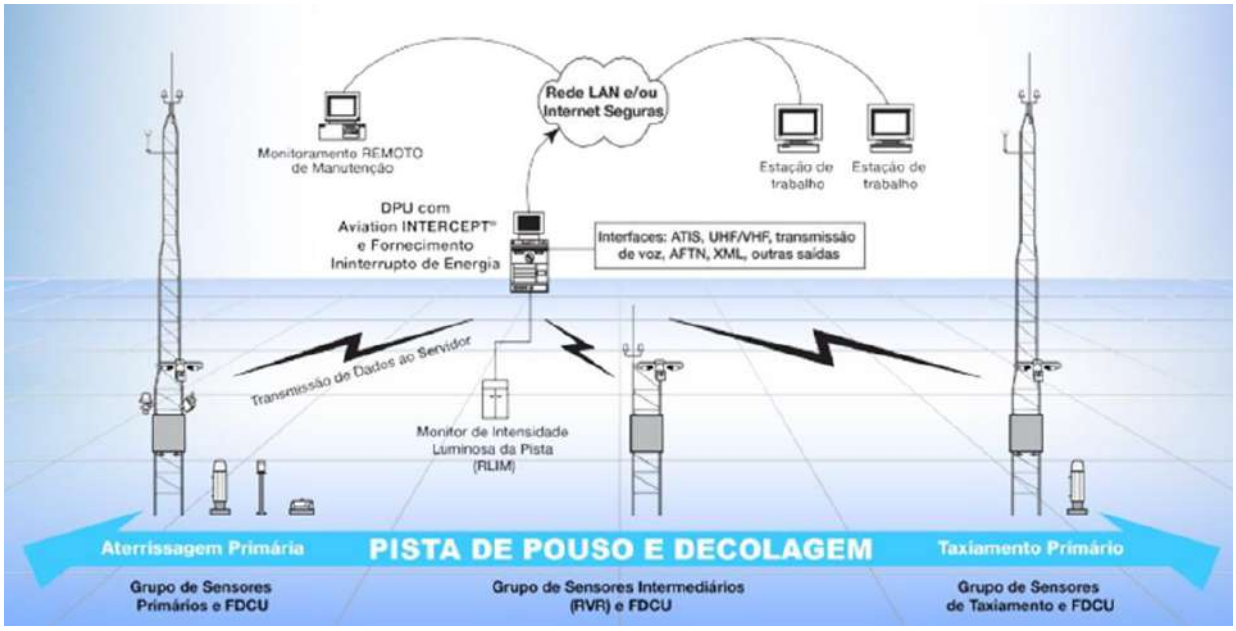


Figura 47 — Ilustração de estação meteorológica de superfície
Fonte: Coastal Environmental Systems (2017)

Figura 48 — Estação meteorológica de superfície em Aeroporto do Canadá
Fonte: Coastal Environmental Systems (2017)

5.3 RESULTADOS

Em que pesem as intervenções serem amplas e factíveis, para a avaliação dos impactos nos índices de resiliência atuais foram consideradas somente aquelas constantes do sistema criado. Assim, após as simulações, foram obtidos os índices da Tabela 45 (em que * refere-se ao máximo valor resposta do sistema).

Tabela 45 — Intervenções e índices de resiliência obtidos

SBRJ		Ação	Resiliência	MáximoValor*
1	Comp_Macro	Manter situação atual	0,513	0,817
1.1		Aumentar o comprimento para 1,5 km e manter macrotextura	0,521	0,817
1.2		Aumentar o comprimento para 1,8 km e manter macrotextura	0,547	0,817
1.3		Manter comprimento e implantar antiskid	0,648	0,817
1.4		Aumentar o comprimento para 1.5 km e implantar antiskid	0,737	0,817
1.5		Aumentar o comprimento para 1.8 km e implantar antiskid	0,758	0,817
2	Auxílios	Manter situação atual	0,477	0,817
2.1		Implantar de EMS 1	0,541	0,817
2.2		Implantar de ILS CAT I	0,573	0,817
2.2		Implantação de ILS CAT I e EMS 1	0,582	0,817

Os índices obtidos nas simulações realizadas, cujos resultados são apresentados na Tabela 45, demonstram que as intervenções consideradas alteram de forma positiva os padrões (ou índices) atuais do Aeroporto Santos Dumont.

5.3.1 Representação Gráfica – Curva de Resiliência

Escolhendo duas combinações de intervenções no Santos Dumont, itens 1.3,1.4 e 2.2 da Tabela 45, é possível gerar novas curvas de resiliência e as respectivas funções, as quais são apresentadas pelas figuras 49 e 50.

5.3.1.1 Combinação 1: Implantação de Antiskid ILS CAT I e EMS 1

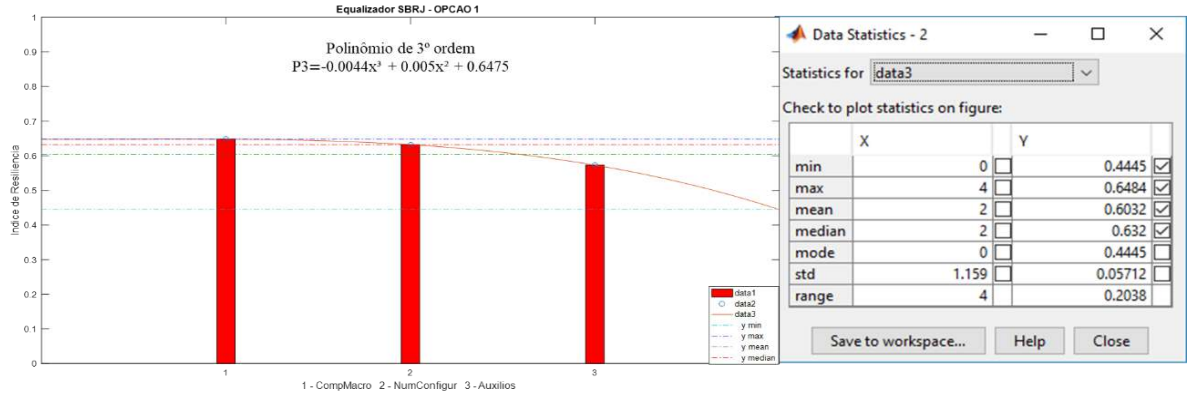


Figura 49 — Curva de resiliência do Aeroporto Santos Dumont com implantação de antiskid, ILS CAT I e EMS 1

A função cujo gráfico é mostrado na Figura 49 é suave e contínua, mantendo uma leve curvatura descendente. Diferente do observado na curva original (ou sem intervenção), o máximo local da função é atingido próximo ao intercepto do índice que representa a relação comprimento e macrotextura da pista. A média resultante dos valores da curva se elevou para 0,6032, contra 0,4484 da curva original.

5.3.1.2 Combinação 2: Ampliação da Pista para 1 km, Implantação de Antiskid, ILS CAT I e EMS 1

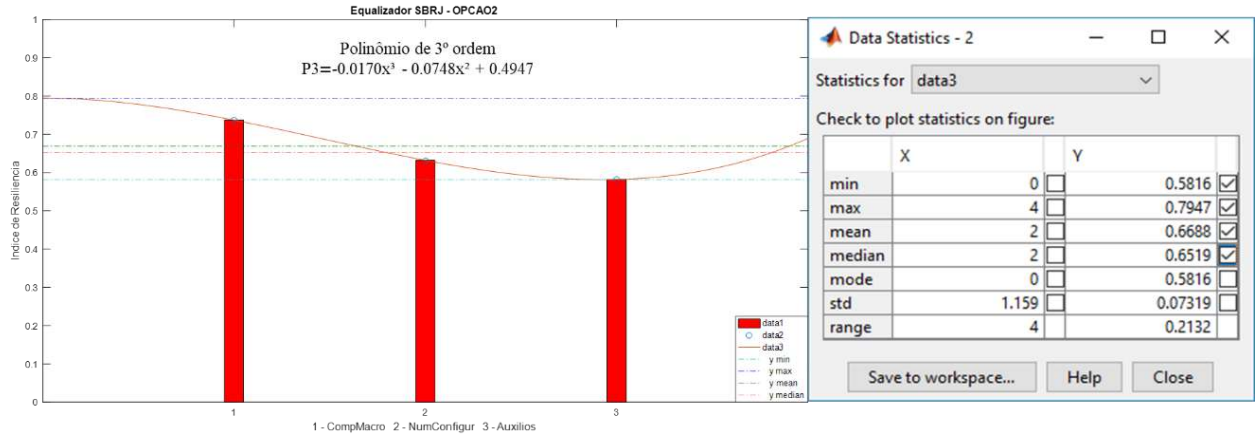


Figura 50 — Curva de resiliência do Aeroporto Santos Dumont com ampliação da pista para 1.5 km, implantação de antiskid, ILS CAT I e EMS 1

A curva da função representada na Figura 50 é suave e com curvatura ascendente, diferente de todas outras anteriormente obtidas para o aeroporto. Diferente do observado na curva original (ou sem intervenção), o máximo local da função é atingido próximo ao intercepto do índice que representa a relação comprimento e macrotextura da pista, e o mínimo próximo ao intercepto da relação auxílios de navegação e meteorológicos. A média resultante dos valores da curva se elevou para 0,6688, contra 0,4484 da curva original e 0,6032 da curva com implantação de antiskid, ILS CAT I e EMS 1.

5.3.2 Conclusão Parcial

As intervenções propostas elevaram o índice de resiliência em todas as opções, demonstrando a existência de alternativas factíveis que incrementam a resiliência do aeroporto e o adaptam melhor na hipótese de ocorrência de condições climáticas adversas. Entretanto, para auxiliar a tomada de decisão, é recomendável uma avaliação econômica dos investimentos necessários, de modo que se abre a possibilidade de desdobramentos da presente pesquisa.

6. CONCLUSÃO

Como já abordado, o transporte aéreo é um importante modo de integração e conectividade, permitindo o deslocamento de pessoas e cargas de forma eficiente, segura e com maior rapidez. Logo, por esses e outros motivos, como avanços tecnológicos e democratização do acesso, a tendência é de manutenção do seu crescimento. Por outro lado, estudo mais recentes, como os desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, sinalizam, com maior grau de certeza, o aumento da temperatura global e a maior ocorrência de eventos extremos, os quais poderão trazer impactos operacionais ao setor (aéreo). Por conseguinte, sendo os aeroportos componentes fundamentais desse sistema e, considerando que os mesmos também são equipamentos urbanos, esforços devem ser dispensados quanto a análise da sua capacidade em manter suas funcionalidades sob condições adversas.

Nesse sentido, partindo do pressuposto que não só a incidência de eventos meteorológicos adversos é fator causador de impactos operacionais, mas também a própria infraestrutura aeroportuária quando pouco resiliente a esses eventos, este estudo desenvolveu uma análise considerando a quantificação de tais impactos e a mensuração da resiliência de quatro importantes aeroportos brasileiros: Santos Dumont (RJ), Galeão (RJ), Congonhas (SP) e Guarulhos (SP).

Para tanto foram quantificados os cancelamentos por causas meteorológicas nos quatro aeroportos analisados, investigados os prováveis fenômenos responsáveis, adaptado e aplicado um indicador do impacto relativo de cancelamentos, estimadas as perdas de arrecadação tarifaria dos aeroportos com maior taxa de cancelamentos, caracterizada a infraestrutura existente, concebido e calibrado um sistema baseado na lógica *fuzzy* para inferir sobre a resiliência de cada subsistema considerado, o qual subsidiou gerar a curva, a respectiva função e o índice de resiliência de cada aeroporto. Feito isso, foi identificado e propostas medidas para o menos resiliente segundo os critérios e parâmetros definidos, e ainda mensurado o incremento no índice no caso de implementação de tais medidas.

Os resultados demonstraram que nem sempre os aeroportos mais expostos, ainda que em termos médios, a condições meteorológicas potencialmente adversas apresentaram o maior número absoluto e relativo (taxa) de cancelamentos. Isso indica que não só a exposição ou a incidência de eventos adversos é o causador de cancelamentos. Portanto, o grau do impacto operacional também será determinado pela infraestrutura existente.

Quando avaliada a resiliência da infraestrutura, que envolveu subsistemas de pistas, auxílios de navegação e meteorológicos, os resultados demonstraram que os aeroportos, embora

aparentemente semelhantes, apresentam características distintas. Assim, com base no índice calculado, foram identificados os mais (Galeão e Guarulhos) menos (Congonhas e Santos Dumont) resilientes, e propostas medidas interventivas para aquele com menor índice de resiliência. Além de ser o mais crítico ou menos resiliente, pois mesmo sendo exposto a menos adversidades, comparativamente, o Santos Dumont também apresenta maior taxa de cancelamentos, demonstrando ser o aeroporto mais impactado.

Com isso, considerando os resultados dos impactos da metereologia no período analisado, bem como o fato do eixo Rio e São Paulo comportar a mais movimentada e rentável rota doméstica do país, cuja plena capacidade depende das boas condições operacionais de ambos os aeroportos, investimentos precisam ser realizados no Santos Dumont para aproximar ou até mesmo ultrapassar o índice de resiliência de Congonhas. Por outro lado, Guarulhos e Galeão demonstraram ser os aeroportos mais resilientes, o que implica expecular que em um cenário de extremos de vulneabilidade climática podem ser eles, segundo os critérios e premissas consideradas, os mais preparados para lidar com essa situação.

Com base no anteriormente exposto, o presente estudo contribui como um procedimento ou forma de análise dos impactos operacionais em aeroportos e na inferência sobre a resiliência da infraestrutura. Embora tenham sido empregados quatro aeroportos, a análise desenvolvida pode ser plenamente extrapolada para outros aeroportos, sendo possível mensurar os impactos operacionais em termos de cancelamentos, estimar a resiliência e indicar potenciais medidas interventivas. Assim, tanto áreas operacionais, como de planejamento e engenharia são potenciais beneficiadas e podem fazer uso deste trabalho.

Como esperado, o estudo desenvolvido apresenta oportunidades de aperfeiçoamentos e ampliações, as quais poderão acarretar em desdobramentos futuros, como: a) modelagem do perfil de cancelamentos por dia e faixa horaria, relacionando os parâmetros meteorológicos registrados e as características dos voos cancelados, como tipo de aeronave e procedimento, se pouso ou decolagem. Um modelo mais específico e preciso poderá ser muito útil nas previsões meteorológicas, uma vez se tornará possível estimar os cancelamentos para cada aeroporto diante das previsões realizadas. Com isso será possível organizar a malha e decidir previamente sobre a manutenção ou não de um determinado voo, o que além de ser uma medida operacional de aumento de resiliência, trará redução de custos e transtornos aos usuários; b) inserção de mais variáveis de entrada no sistema de inferência, aumentando o número de subsistemas ou processos, o que tornará o modelo mais robusto. Não só elementos de infraestrutura poderão ser adicionados, mas também outros componentes, como número de canais de inspeção e pontes de embarque, e procedimentos,

como existência de plano para operações em condições adversas. Não menos importante e oportuno, será a expansão do sistema para outros aeroportos, o que permitirá maior quantidade e variedade de características calibradas no modelo; c) estudos climatológicos com criação de cenários sobre os possíveis padrões ou condições que cada aeroporto ou grupo de aeroportos será exposto, identificando quais serão mais críticos de acordo com o tipo de exposição (secas ou intensas precipitações, por exemplo). Quando cruzados com os resultados da resiliência dos respectivos aeroportos, será possível traçar um "mapa" de vulnerabilidade dos aeroportos brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAG (Associação Brasileira De Aviação Geral). **WINDSHEAR**. ABAG News, 2014. Disponível em: <http://www.abag.org.br/news/2014/documents/windshear.pdf>. Acesso em: 24 set. 2017.

ABDEL-ATY, M., LEE, C., BAI, Y., *et al*. "Detecting periodic patterns of arrival delay", **Journal of Air Transport Management**, v. 13, pp. 355-361, 2007.

ABDELGHANY, K. F., SHAH, S. S., RAINA, S., *et al*. "A model projecting delays during irregular operation conditions". **Journal of Air Transport Management**, v. 10, pp. 385-394, 2004.

ABEAR (Associação Brasileira das Empresas Aéreas). **Panorama 2013**. São Paulo: ABEAR, 2014. Disponível em: <http://www.abear.com.br/uploads/arquivos/dados_e_fatos_arquivos_ptbr/Panorama_2013_final.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2017.

ABRÃO JUNIOR, F., RIBEIRO, S. K. "Impactos das condições meteorológicas no padrão operacional, atrasos e cancelamentos do aeroporto Santos Dumont". **XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet**, Ouro Preto, 2015.

ABRÃO JUNIOR, F. "Como as condições meteorológicas impactam a aviação e quais medidas são adotadas para reduzir seus efeitos". **XII Rio de Transportes**, Rio de Janeiro, UFRJ, 2014.

ACRP (Airport Cooperative Research Program). **Report 147: Climate Change Adaptation Planning: Risk Assessment for Airports.** Transportation Research Board, Washington, D.C., 2015.

ACRP (Airport Cooperative Research Program). **Report 33: Airport Climate Adaptation and Resilience A Synthesis of Airport Practice.** Transportation Research Board, Washington, D.C., 2012.

ALVES, C. J. P. **Módulo 3: Geometria do Lado Aéreo**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Engenharia Civil, 2014. Disponível em: < http://www.civil.ita.br/%7Eclaudioj/M3.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2017.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Aeronaves e Código de Referência**. Publicado em 09 maio 2016 e modificado em 26 jan. 2017. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/certificacao/aeronaves-e-codigo-de-referencia>. Acesso em: 23 jul. 2017.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Base Histórica**. Publicado em 28 mar. 2016 e modificado em 01 nov. 2017. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/base-historica>. Acesso em: 15 ago. 2017.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Instrução de Aviação Civil (IAC) 121-1011:** Procedimento de Ajuste de Tração (Potência) para decolagem. Aviões Categoria Transporte. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-

e-is/iac/iac-121-1011/@@display-file/arquivo_norma/IAC121_1011.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Pista contaminada por lâmina d'água**. Publicado em 11 mar. 2016 e modificado em 31 maio 2016. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/certificacao/runway-safety/lamina-dagua>. Acesso em: 23 out. 2017.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) n° 154. **Projetos de Aeródromos**. Brasília, DF, 2012. 245p.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) n° 153. **Aeródromos Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**. Brasília, DF, 2016. 96p.

ARMSTRONG, J. "Adapting railways to provide resilience and sustainability", **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability**, v. 170, n. 4, pp. 225-234, 2017.

ASH, J.; NEWTH, D. "Optimising complex networks for resilience against cascading failure", **Physica A,** v. 380, [s. n.], pp. 673-683, 2007.

ASHFORD, N. J., MUMAYIZ, S., WRIGHT, P. H. **Airport Engineering: Planning, Design and Development of 21st Century Airports**. New Jersey, John Wiley & Sons, 2011.

ASHFORD, N., STANTON, H. P. M., MOORE, C. A. **Airport operations**. Pitman Publishing, 1984. 476p.

ASKLANY, S. *et al*. "Rainfall events prediction using rule-based fuzzy inference system", **Atmosphere Research**, v. 101, n. 1-2, pp. 228-236, 2011.

ATTOH-OKINE, N. *et al*. "Formulation of resilience index of urban infrastructure using belief functions", **IEEE Systems Journal**, v. 3, n. 2, pp. 147-153, 2009.

AYYUB, B. M. "Systems Resilience for Multihazard Enviroments: Definition, Metrics, and Valuation for Decision Making", **Risk Analysis**, v. 34, n. 2, pp. 340-355, 2014.

AYYUB, B. M. *et al*. "Prediction and impact of sea level rise on properties and infrastructure of Washington, DC", **Risk Analysis**, v. 32, n. 11, pp. 1901-1918, 2012.

BARRETT, C.; CONSTAS, M. "Toward a theory of resilience for international development applications", **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 40, pp. 14625-14639, 2014.

BIDGOOD, J. Strategies Funded to Help Boston Airport Guard against Effects of Climate Change. **The New York Times**, Boston, 04 maio 2015. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2015/05/05/us/strategies-to-help-bostons-logan-airport-guard-against-climate-change-effects-are-funded.html?mcubz=3>. Acesso em: 21 set. 2017.

BOCCHINI, P.; FRANGOPOL, D. M. Restoration of bridge networks after an earthquake: multicriteria intervention optimization. **Earthquake Spectra**, v. 28, n. 2, pp. 427- 455, 2012.

BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Presidência da República. Casa Civil, Brasília, DF, 1986. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7565.htm>. Acesso em: 21 set. 2017.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Sistema de Pouso por Instrumentos (ILS)**: ICA 100-16. 2013a. 31 pp. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/download.cfm?d=3937>. Acesso em: 21 set. 2017.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira em 2012**: FCA 58-1. Ministério da Defesa, Brasília, 2013b.

BRASIL. Portaria nº 166/GC3, de 12 de fevereiro de 2014. Aprova a reedição da NSCA 3-13, que dispõe sobre os Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da Aviação Civil conduzidas pelo Estado Brasileiro. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2014a.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Capacidade de Setor ATC**: MCA 100-17. 2014b. 28 p.

BRASIL. Portaria DECEA Nº 17/SDOP, de 26 de março de 2014. Aprova a modificação do Folheto sobre o Código Meteorológico TAF. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2014c.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira: Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos**: FCA 58-1. Ministério da Defesa, Brasília, 2014d.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Capacidade do Sistema de Pistas**: MCA 100-14. 2015a. 27 p.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Planta do Plano de Zona de Proteção de Auxílios de Navegação Aérea - PZPANA Aeródromo Eurico de Aguiar Salles, 2015b. Disponível em: <http://servicos.decea.gov.br/aga/index.cfm>. Acesso em: 15 set. 2017.

BRASIL. Portaria nº 78/DGCEA, de 23 de março de 2015. Aprova a reedição do MCA 100-14, Manual que trata da "Capacidade do Sistema de Pistas". **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2015c.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Serviços De Tráfego Aéreo**: ICA 100-37. 2016a. 208 p.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Órgão ATS Remoto de Aeródromo**: AIC 109/2016. 2016b. 6 p.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Regras do ar**: ICA 100-12. 2016c. 79 p.

BRASIL. Portaria DECEA Nº 275/DGCEA, de 19 de dezembro de 2016. Aprova a reedição da ICA 105-15, Instrução sobre a organização e a operação das Estações Meteorológicas de Superfície. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2016d. 72p.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Manual de procedimentos operacionais do Radar meteorológico**: MCA 105-13. 2017a. 19 p.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Critérios de Implantação de Órgãos Operacionais, Auxílios à Navegação Aérea e Sistemas de Apoio aos Órgãos ATS**: ICA 63-18, 2017b.

BRASIL. Portaria DECEA Nº 128/DGCEA, de 31 de julho de 2017. Aprova a reedição da Circular que trata da padronização da elaboração de procedimentos de navegação aérea. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2017c. 75p.

BRASIL. Portaria DECEA N° 86/DGCEA, de 14 de junho de 2016. Aprova a reedição da ICA 105-17, Instrução que disciplina a organização e a operação de Centros Meteorológicos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2017c. 75p

BRASIL. Portaria DECEA N° 27/DGCEA, de 20 de fevereiro de 2017. Aprova a reedição da ICA 105-16, Instrução sobre Códigos Meteorológicos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2017d 75p 252p.

BRUNEAU M.; REINHORN, A. "Exploring the concept of seismic resilience for acute care facilities", **Earthquake Spectra**, v. 23, n. 1, pp. 41–62, 2007.

BURBIDGE, R. "Adapting European airports to a changing climate". **Transportation Research Procedia**, v. 14, [s. n.], pp. 14-23, 2016.

CAA (Civil Aviation Authority). Review of Operational Resilience at Heathrow and Gatwick Workstream 3: Developing CAA Guidance Final Report July 2014. London. 85 pp. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=4294975948>.

CHI, L. P.; CAI, X. "Structural changes caused by error and attack tolerance in US airport network", **International Journal of Modern Physis B**, v. 18, n. 17-19, pp. 2394-2400, 2004.

COASTAL ENVIRONMENTAL SYSTEMS. **Aviação: AWOS – Sistemas Automatizados de Observação Meterológica**. Seattle: Coastal Environmental Systems, 2017. Disponível em: <http://www.coastalenvironmental.com/downloads/coastal_aviationbro_bp_8-15-17-web.pdf>. Acesso em: 13 out. 2017.

COFFEL, E., HORTON, R. "Climate Change and the Impact of Extreme Temperatures on Aviation", **Weather, Climate, and Society**, v. 7, n. 1, pp. 94-102, jan. 2015.

COFFEL, E., THOMPSON, T. R., HORTON, R. "The Impacts of Rising Temperatures on Aircraft Takeoff performance", **Climatic Change**, v. 144, n. 2, pp. 381-388, set. 2017.

CRAMER, W., YOHE, G.W., AUFFHAMMER, M., *et al*. Detection and attribution of observed impacts. In: FIELD, C.B., BARROS, V.R., DOKKEN, D.J., *et al*. (Eds.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 979-1037, 2014.

CUTTER, S. L. *et al.* A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, **Global Environmental Change**, v. 18, n. 4, pp. 598-606, 2008.

DAVIDAJUH, R.; TRY, S. “Developing a Software Application for Identifying Potential Terrorists at Airports Application of Predictive Profiling using Fuzzy Logic”, **Anais da Third International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation**, Kota Kinabalu, Malásia, pp. 147-152, 2015.

DIANA, T. “Can we explain airport performance? A case study of selected New York airport using a stochastic frontier model”. **Journal of Air Transport Management**, v. 16. p. 310-314, 2010.

DOZIC, S.; KALIC, M. “Three-stage airline fleet planning model”, **Journal of Air Transport Management**, v. 46, [s. n], pp. 1107-1119, 2015.

DTTAS (The Department of Transport, Tourism and Sport) **Adaptation Planning: Developing Resilience to Climate Change in the Irish Transport Sector**. 2016. Disponível em: <http://www.dttas.ie/sites/default/files/publications/public-transport/english/adaptation-planning-developing-resilience-climate-change-irish-transport-sector/20161212final-draft.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

DUNN, S.; WILKINSON, S. M. “Increasing the resilience of air traffic networks using a network graph theory approach”, **Transportation Research Part E: Logistic and Transportation Review**, v. 90, [s. n.], pp. 39-50, 2016.

DEFRA. **Adapting to cimate change**: Helping Key Sectors to Adapt to Climate Change. Government Report for the adaptation Reporting Power. Defra: London, 2012. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69518/pb13740gov-summary-adapt-reports.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

DZETA. DZETA Flughafen Services. Brasília, 2017. Disponível em: <www.dzeta.com.br/aeroportuarios/Dzeta_Brochure_120403_Web.pdf>. Acesso em: 1 out. 2017.

EFLY. **Metar**: interpretação. Disponível em: <http://www.eflyonline.com.br/metar.php>. Acesso em: 5 out. 2017.

ENJALBERT, S. *et al*. “Assessment of Transportation System Resilience”, **Human Modelling in Assisted Transportation**, v. 1, [s. n.], pp. 335–341, 2011.

EPA (Environmental Protection Agency). **Climate Change Indicators in the United States. Weather and Climate**. 2015. Disponível em: <http://www.epa.gov/climate/climatechange/science/indicators/weather-climate/index.html>. Acesso em: 14 jul. 2015.

EVANS, A., SCHÄFER, A. W. “Simulating airline operation responses to airport capacity constraints”, **Transport Policy**, v. 34, p. 5-13, 2014.

EUROCONTROL. **Adapting aviation to a changing climate**, 2017. Disponível em: <http://www.eurocontrol.int/Resilience>. Acesso em: 15 set. 2017.

FATURECHI, R.; LEVENBERG, E., MILLER-HOOKS, E. “Evaluating and optimizing resilience of airport pavement networks”, **Computers & Operations Research**, v. 43, pp. 335–348, 2014.

FAA (Federal Aviation Administration). **AC 150/5060-5 - Airport Capacity And Delay**. Washington, 1983.

FAA (Federal Aviation Administration). **Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge**. Washington: U.S. Department of Transportation, 2008. Disponível em: <https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/media/pilot_handbook.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

FAA (Federal Aviation Administration). **Advisory Circular: Airport Surface Drainage Design**. Washington: U.S. Department of Transportation, 2013. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5320_5d.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

FATURECHI, R. *et al*. “Evaluating and optimizing resilience of airport pavement networks”, **Computer & Operations Research**, v. 43, [s.n.], pp. 335-348, 2014.

FENG, C.; CHUNG, C. “Assessing the Risks of Airport Airside through the fuzzy Logic-Based Failure Modes, Effect, and Criticality Analysis”, **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2013, [s. n], pp. 1-11, 2013.

FIKSEL, J. “Sustainability and resilience: Toward a systems approach”, **Sustainability: Science, Practice, & Policy**, v. 2, n. 2, pp. 14-21, 2006.

FINLEY, T., SCHUCHARD, R. **Adapting to Climate Change: A Guide for the Transportation Industry**, 2011. Disponível em: <https://www.bsr.org/reports/BSR_Climate_Adaptation_Issue_Brief_Transportation.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

FRANCIS, R., BEKERA, B. “A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems”, **Reliability Engineering and System Safety**, v. 121, pp. 90–103, 2014.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION. **A Runway Excursion Risk Awareness Tool**, 2009. Disponível em: <https://skybrary.aero/bookshelf/books/899.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

FRANÇA, V. D. J. **Avaliação da metodologia de previsão de nevoeiro e visibilidade horizontal no Modelo ETA**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. 172 p.

FWA, T. *et al*. “Airport pavement condition rating and maintenance-needs assessment using fuzzy logic”, **Anais da Airfield Pavement Specialty Conference**, Las Vegas, pp. 29-38, 2004.

GALLO, R. Pistas de Congonhas e Santos Dumont podem ganhar capa antiderrapante. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 28 set. 2013. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/09/1348837-pistas-de-congonhas-e-santos-dummont-podem-ganhar-capa-antiderrapante.shtml>. Acesso em: 1 out. 2017.

GALVANI, L. R. **Análise comparativa da aplicação do programa seis sigma em processos de manufatura e serviços**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GARBIN, D. A.; SHORTLE, J. F. "Measuring Resilience in NetworkBased Infrastructures". In McCARTHY JA (ed). **Critical Thinking: Moving from Infrastructure Protection to Infrastructure Resiliency**. Fairfax, VA: George Mason University, 2007.

GILAT, A. **MATLAB com Aplicações em Engenharia**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 430 p.

GOES-R (Geostationary Operational Environmental Satellites). Goes History. 2017. Disponível em: <http://www.goes-r.gov/mission/history.html>. Acesso em: 23 out. 2017.

GUNDERSON, L. H. "Ecological Resilience – in theory and application", **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 31, n. 1, p. 4251-439, 2000.

GUNDERSON, L., HOLLING, C. S., PRITCHARD, L., *et al*. Resilience. In: MOONEY, H., CANADELL, J. (Eds.). **Encyclopedia of global environmental change**. Scientific Committee on Problems of the Environment; p. 530–531, 2002.

HASHIMOTO T. *et al*. "Reliability, resiliency and vulnerability for water resources system performance evaluation", **Water Resource Research**, v. 18, n. 1, pp. 14–20, 1982.

HASSAN, M. K. "Applying Lean Six Sigma for Waste Reduction in a Manufacturing Environment", **American Journal of Industrial Engineering**, v. 1, n. 2, pp. 28-35, 2013.

HENRY, D., RAMIREZ-MARQUEZ, J. E. Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. **Reliab. Eng. Syst. Saf**. n. 99, 2012. pp.114-122.

HERMAN, R. A "Perspective on the Relationship Between Engineering and Ecology". In: SCHULZE, P. (Org.). **Engineering Within Ecological Constraints**. Washington, DC: The National Academies Press, 1996. pp. 65-78.

HERRERA, F. "Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects", **Evolutionary Intelligence**, Springer, v. 1, n. 1, pp. 27–46, 2008.

HERNANDES, F., BERTON, L., CASTANHO, M. J. de P. "O problema de caminho mínimo com incertezas e restrições de tempo". **Pesquisa Operacional**, v. 29, n .2, p. 471-488, maio-ago., 2009.

HOLLING, C. S. "Resilience and Stability of Ecological Systems", **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, n. 1, pp. 1-23, 1973.

HORONJEFF, R., MCKELVEY FRANCIS, X. **Planning and design of airports**. 3. ed. Mcgraw-hill, 1983. 66 p.

HORONJEFF, R. *et al*. **Planning & Design of Airports**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2010.

IATA (International Air Transport Association). **Airport Development Reference Manual**, Montreal: International Air Transport Association, 2004. Disponível em: <

http://www.iata.org/publications/store/Pages/airport-development-reference-manual.aspx>. Acesso em: 23 out. 2017.

IATA (International Air Transport Association). **Safety Report 2013**. Montreal: International Air Transport Association, 2014. Disponível em: <http://asndata.aviation-safety.net/industry-reports/IATA-safety-report-2013.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

IATA (International Air Transport Association). **Another Strong Year for Air Travel Demand in 2016**. Montreal: International Air Transport Association, 2017. Disponível em: < http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-02-02-01.aspx>. Acesso em: 23 out. 2017.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Annex 11. Air Traffic Control Service Flight Information Service Alerting Service**. Canada: International Civil Aviation Organization, 2001. Disponível em: <mid.gov.kz/images/stories/contents/an11_en.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation: Aerodromes**. Volume I Aerodrome Design and Operations. 5ª Ed. Canada: International Civil Aviation Organization, 2009.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Doc 9365: Manual of All-Weather Operations**. 3.ed. Canada: International Civil Aviation Organization, 2013. Disponível em: <https://skybrary.aero/bookshelf/books/2983.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Doc 9981: Procedures for Air Navigation Services Aerodromes.** 1 ed. Canada: International Civil Aviation Organization, 2015. Disponível em: < https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2016/ACI/D1-01-PANSAGA.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

ILYUSHIN. **Public Joint Stock Company Ilyushin Aviation Complex**, 2013. Disponível em: <http://www.ilyushin.org/en/aircrafts/transport/1191/>. Acesso em: 23 set. 2017.

INMET (Instituto Nacional De Meteorologia). **Manual de Observações Meteorológicas**. 3. ed. 1999.

INMET (Instituto Nacional De Meteorologia). **Boletim Agroclimatológico Mensal**, 2010. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201003.pdf>. Acesso em: 23 set. 2017.

IP, W.; HANG, D. "Resilience and friability of transportation networks: evaluation, analysis and optimisation", **IEEE Systems Journal**, v.5, n.2, p. 189–198, 2011.

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. 688 pp.

JAFELICE, R. S. da M., BARROS, L. C. de R., BASSANEZI, C. **Teoria dos Conjuntos Fuzzy com Aplicações**. São Carlos: Plêiade, 2005.

JANIC, M. **Air transport system analysis and modelling. Capacity, Quality of Services and Economics**. Gordon and Breach Science Publishers, 2000. 299 p.

JANIC, M. **Airport Analysis, Planning, and Design: Demand, Capacity, and Congestion**. Nova Science Publishers Inc, 2009. 275 p.

KIERZKOWSKI, A.; KIESEL, T. "Evaluation of a Security Control Lane with the Application of Fuzzy Logic", **Procedia Engineering**, v. 187, [s. n.], pp. 656-663, 2017.

KIM, H. *et al*. "Network Reliability and Resilience of Rapid Transit Systems", **The Professional Geographer**, v. 68, n. 1 pp. 53–65, 2016.

KIYILDI, R. K.; KARASAHIN, M. "The capacity analysis of the check-in unit of Antalya Airport using the fuzzy logic method", **Transportation Research Part A**, v. 42, n. 4, pp. 610-619, 2008.

KOETSE, M.; RIETVELD, P. "The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings", **Transportation Research Part D**, v. 14, [s.n], pp. 2-5-221, 2009.

KULESA, G. Weather and aviation: how does weather affect the safety and operations of airports and aviation, and how does FAA work to manage weather-related effects? In: **The Potential Impacts of Climate Change on Transportation Workshop**, 2003. Disponível em <http://fliphtml5.com/gswu/erhu/basic>. Acesso em: 23 set. 2017.

KLIR, G. J, CLAIR, U. H. St., YUAN, B. **Fuzzy Set Theory: Foundations and Applications**, Prentice-Hall, 1997.

LI, Y.; LENCE, B. "Estimating of water resources systems", **Water Resources**, v. 43, n. 7, 2007.

LINKOV, I. *et al*. "Measurable Resilience for Actionable Policy". **Environmental Science & Technology**, v. 47, [s.n.], pp. 10108-10110, 2013.

MALIGHETTI, P., MARTINI, G., PALEARI, S., *et al*. "An empirical investigation of the efficiency, capacity and ownership of Italian airports", **Rivista di Politica Economica**, v. 47, pp. 157-188, 2007.

MAMDANI, E. H; ASSILIAN, S. "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 7, n. 1, pp. 1-13, 1975.

MANCINI, A. *et al*. "Conceptualizing and measuring the 'economy' dimension in the evaluation of socio-ecological resilience: a brief commentary", **International Journal of Latest Trends in Finance and Economic Sciences**, v. 2, n. 3, pp. 190–196, 2012.

MARENGO, J. A., *et al*. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system, **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2241-2255. 2009, 2009.

MARINHA DO BRASIL. **Diretoria De Hidrografia e Navegação. Manual do Observador Meteorológico**. 3. ed. Niterói: A Diretoria, 2015. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/noticias/Manual-Observador-Completo.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

MATHWORKS. **Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide**. MathWorks, 2016. 398 p.

MATISZIW, T. C.; MURRAY, A. T. “Modeling S–T path availability to support disaster vulnerability assessment of network infrastructure”, **Computers and Operations Research**, v. 36, n. 1, pp. 16–26., 2009.

MAYOR’S OFFICE OF SUSTAINABILITY AND ICF INTERNATIONAL. **Growing Stronger**: Toward a Climate-Ready Philadelphia. Nov. 2015. Disponível em: <https://beta.phila.gov/media/20160504162056/Growing-Stronger-Toward-a-Climate-Ready-Philadelphia.pdf>. Acessado em: 21 set. 2017.

MCLAUGHLIN, B. J. *et al*. “Anticipating Climate Change”, **Civil Engineering Magazine Archive**, v. 81, n. 4, pp. 50-55, 2011.MILLER-HOOKS, E. *et al*. “Measuring and maximizing resilience of freight transportation networks”, **Computer & Operations Research**, v. 39, [s.n.], pp. 1622-1643, 2013.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M.(2007) **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. 203pp

MIAO, Y. *et al*. “A Fuzzy Logic for Forecasting Model for Perth Airport”, **Pure Applied Geophysics**, v. 169, n. 5-6, p. 1107-1119, 2012.

MILMAN, A.; SHORT, A. “Incorporating resilience into sustainability indicators: An example for the urban water sector”, **Global Environmental Change**, v. 18, n. 4, pp. 758-767, 2008.

MORECROFT, M. D. *et al*. “Resilience to climate change: translating principles into practice”, **Journal of Applied Ecology**, v. 49, n. 3, pp. 547-551, 2012.

MOSCATI, N. R. “Acidentes aéreos associados a condições meteorológicas adversas e melhoria contínua dos sistemas das aeronaves”, **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, pp. 31-44, fev. 2005.

NEUFVILLE, R. de., ODONI, A. **Airport Systems: Planning, Design, and Management**. McGraw-Hill Professional, 2003.

NETO, L. B., COELHO, P. H. G., AMARAL, J. L. M. do, *et al*. “Minicurso de Sistema Especialista Nebuloso”. In: **Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2006.

NOAA. Satellite Channels Overview. Disponível em: <http://www.goes.noaa.gov/sat-explanation.html>. 2015. Acesso em: 30 set. 2017.

NOBLE, I. R., HUQ, S., ANOKHIN, Y.A., *et al*. Adaptation needs and options. In: FIELD, C.B., BARROS, V.R., DOKKEN, D.J. (Eds.). **Climate Change 2014:** Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868, 2014.

OUYANG, M. “Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems”, **Reliability Engineering and System Safety**, v. 121, pp. 43–60, 2014.

PACHECO, R. R. *et al*. “Airport airside safety index”, **Journal of Air Transport Management**, v. 34, [s. n.], pp. 86-92, 2014.

PBMC. Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [AMBRIZZI, T., ARAUJO, M. (Eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2014. 464p.

PBMC. Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudancas Climáticas [RIBEIRO, S.K., SANTOS, A.S. (Eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2016, 116p.

PEJOVIC, T., NOLAND, R.B., WILLIAMS, V., *et al*. “A tentative analysis of the impacts of an airport closure”, **Journal of Air Transport Management**, v. 15, pp. 241-248, 2009.

PEJOVIC, T. *et al.* “Factors Affecting the Frequency and Security of Airport Weather Delays and the Implications of Climate Change for Future Delays”, **Transportation Research Record**, v. 2139, [s.n.], pp. 97-106, 2017.

PORT AUTHORITY OF NEW YORK AND NEW JERSEY. **Georgetown Climate Center**. JFK Airport Runway 13R-31L Rehabilitation (John F. Kennedy International Airport, New York City, NY). 2010. Disponível em: <http://www.adaptationclearinghouse.org/resources/jfk-airport-runway-13r-31l-rehabilitation-john-f-kennedy-international-airport-new-york-city-ny.html>. Acesso em: 21 set. 2017.

PORT AUTHORITY OF NEW YORK AND NEW JERSEY. **Newark Liberty International Airport 2013 Sustainability Report**. 2013. 56.pp. Disponível em: <http://www.panynj.gov/about/pdf/ewr-sustainability-report.pdf>. Acesso em: 21 set. 2017.

POSSEHL. **POSSEHL ANTISKID®**: The special High-Friction Surface for takeoff and landing runways. Sprendlingen, 2017. Disponível em: <http://www.possehl-spezialbau.de/en/product-range-and-services/possehl-antiskidr/>. Acesso em: 1 out. 2017.

PRATS, X. *et al*. “Optimization of aircrafts trajectories to minimize the acoustic annoyance modelled through fuzzy logic”, **Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial**, v. 4, n. 2, pp. 43-51, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. **Termos da Previsão**. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/2972533/DLFE-245316.pdf/8ALERTARIODefinicoes.pdf>. Acesso em: 24 set. 2017.

QUINLAN, A. E. *et al*. “Measuring and assessing resilience: broadening understanding through multiple disciplinary perspectives”, **Journal of Applied Ecology**, v. 53, [s.n.], pp. 677-687, 2015.

RAHIM, M.; MALAEK, S. M. “Aircraft terrain following flights based on fuzzy logic”, **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, v. 83, n. 2, pp. 94-104, 2011.

REDEMET. **Ajuda sobre Radar Meteorológico**. Como identificar os produtos do radar meteorológico. 2016. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/?i=blog&y=2016&m=7>. Acesso em: 28 set. 2017.

REGGIANI, A. *et al*. "Resilience: an evolutionary approach to spatial economic systems", **Networks and Spatial Economics**, v. 2, [s. n.] pp. 211–229, 2002.

REGGIANI, A. "Network resilience for transport security: Some methodological considerations", **Transportation Policy**, v.28, [s. n.], pp.63–68, 2013.

RIBACIONKA, F. **Sistemas Computacionais baseados em Lógica Fuzzy**. Dissertação de Mestrado, Universidade Mackenzie, São Paulo, 1999. 115 f.

RIDGEWAY, H. H. **Pavement Subsurface Drainage Systems**. 1. ed. Washigton: National Cooperative Higway Research Program, 1982.

ROSENKRANTZ, D.J. *et al*. "Structure-based resilience metrics for service-oriented networks", **Lecture Notes in Computer Science 3463**, pp. 345–362, 2005.

ROSSI, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 3. ed. John Wiley & Sons, 2010.

ROEGE, P E., COLLIER, Z. A., MANCILLAS, J., *et al*. "Metrics for energy resilience", **Energy Policy**, v. 72, pp. 249–256, 2014.

ROEGE, P. E. *et al*. "Metrics for energy resilience", **Energy Policy**, v. 72, n. 7, pp. 249-256, 2014.

SCHINTLER, L. A *et al.* "Moving from protection to resiliency: a path to securing critical infrastructure". In: MURRAY, A.T., GRUBESIC, T.H. (Eds.). **Critical Infrastructure**. Springer-Verlag, Berlin, pp. 291–307, 2007.

SCHULZ, A. *et al.* "Adapting bridge infrastructure to climate change: institutionalizing resilience in intergovernmental transportation planning processes in the Northeastern USA", **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 22, n. 1, p. 175-198, 2017.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. "An analysis of variance test for normality (complete samples)", **Biometrika**, v. 52, n. 3–4, pp. 591–611, 1965.

SHEWHART, W.A. 1924. "Some applications of statistical methods to the analysis of physical and engineeringdata", **Bell system technical journal**, v. 3, pp. 43–87, 1924.

SIMONIS, H. "Constraint based resilience analysis", **Lecture Notes in Computer Science 4204**, pp. 16–28, 2006.

SILVA, M. C. de A. **Aplicação de um sistema fuzzy para classificação de opinião em diferentes domínios**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, 2015. 71 f.

SPEARS, B. M. *et al*. "Effective management of ecological resilience – are we there yet?", **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 5, pp. 1-12, 2015.

SPILLER, M. "Measuring adaptive capacity of urban wastewater infrastructure-change impact and change propagation", **Science of the Total Environment**, v. 601, [s.n.], pp. 571-579, 2017.

STAMOS, I. *et al*. "Roadmaps for Adaptation Measures of Transportation to Climate Change", **Transportation Research Record**, v. 2532, [s.n.], pp. 571-579, 2015.

SUCENA, M. P. **Modelo Fuzzy para subsidiar a alocação de recursos financeiros em sistemas de transporte sobre trilhos**. Tese de Doutorado, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2007.

SUNDSTROM, S.M., ANGELER, D.G., GARMESTANI, A.S. *et al*. "Transdisciplinary application of cross-scale resilience model", **Sustainability**. v. 6, n. 10, pp. 6925-6948. 2014.

SUSTAINABILITY DEPARTMENT OF BIRMINGHAM AIRPORT. **Birmigham Airport Climate Change Adaptation Progress Report**. 2016. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/596809/climate-adrep-birmingham-airport.pdf>. Acesso em: 17 set. 2017.

SULOVSKY, A. Instrument Landing Systems. 2017. Disponível em: <http://instrument.landingsystem.com/ils-tutorial-animation/>. Acesso em: 05 set. 2017.

TANAKA, K. **An introduction to fuzzy logic for practical applications**. Ed. Springer: Nova York, 1997.

TANGER, R.; CLAYTON, E. **Managing Airport Disruption: Achieving Resilience through Collaboration**. 1. ed. New York: Booz & Company Inc., 2013. 16 p. Disponível em: <https://www.strategyand.pwc.com/media/uploads/Strategyand_Managing-Airport-Disruption.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

TANSCHEIT, Ricardo. **Fundamentos de lógica *fuzzy* e controle *fuzzy***. Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica-RJ, Rio de Janeiro, 2002.

TAYLOR, M. A. P.; SUSILAWATI, S. "Remoteness and accessibility in the vulnerability analysis of regional road networks", **Transportation Research A**, v. 46, [s. n.], pp. 761–771, 2012.

TIERNEY, K.; BRUNEAU, M. "Conceptualized and measuring resilience", **TR News**, v. 250, [s. n.], pp. 14–17, 2007.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação, **Rev Clinical & Biomedical Research – HCPA**, UFRGS, v. 32, n. 2, pp 227-234, 2012.

TRB. **Airport climate adaptation and resilience**. A synthesis of airport practice. Transport Research Board, Washington, 2012. 87p.

TRB. **Transportation Research Circular E-C184**: Critical issues in aviation and the environment. Washington, 2014. 106p.

VAISALA. Sistema de alcance visual de pista (RVR) Vaisala AviMet. 2010. Disponível em : <http://br.vaisala.com/br/products/aviationweathersystems/icaorvr/Pages/default.aspx>.

VINCENT, L. A. *et al*. "Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000", **J. Climate**, v. 18, pp. 5011–5023, 2005.

WMO (World Meteorological Organization). **Understanding Climate**. 2015. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/themes/climate/understanding_climate.php acessado em 14/07/2015.

WMO (World Meteorological Organization). **International Cloud Atlas:** Glossary. 2017. Disponível em: <https://cloudatlas.wmo.int/glossary.html>. Acesso em: 24 set. 2017.

WONG, I.T., TSAI, S.-C. "A survival model for flight propagation", **Journal of Air Transport Management**, v. 23, pp. 5-11, 2012.

YAMASOE, M. A. **Interpretação de Imagens. Meteorologia por Satélite 2012**. In: Material On-Line do Departamento de Ciências Atmosféricas USP. 2012. Disponível em: <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/>. Acesso em: 28 set. 2016.

ZADEH, L.A. "Fuzzy Sets", **Information and Control**, v. 8, pp. 338-353, 1965.

ZANIN, M.; LILLO, F. "Modelling the air transport with complex networks: A short review", **European Physical Journal-Special Topics**, v. 215, n. 1, pp. 5-21, 2013.

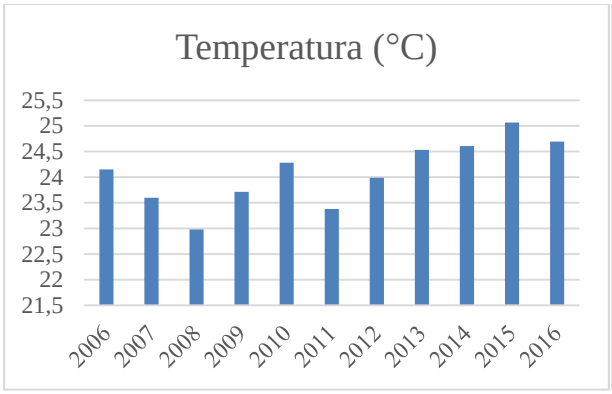
ZHAO, S. *et al*. "Hybrid Hidden Markov Models for Resilience Metrics in a Dynamic Infrastructure System", **Reliability Engineering & System Safety**, v. 164, [s.n.], pp. 84-97, 2017.

ZWERDLING, R. Quando arremeter é mais seguro: Aproximação estabilizada é a regra básica durante o pouso para evitar sustos desnecessários e até prevenir um acidente grave. **AERO Magazine**, n. 213, fev. 2012. Disponível em: <http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/quando-arremeter-e-mais-seguro_337.html>. Acesso em: 12 out. 2017.

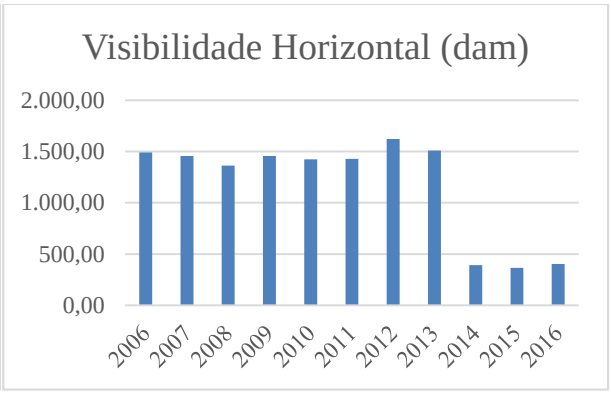
ANEXO 1

CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

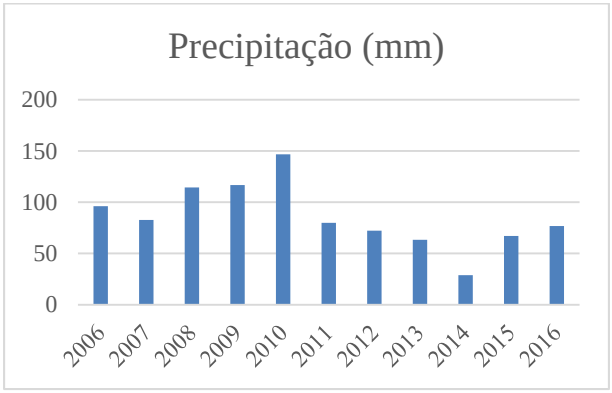
Aeroporto do Rio de Janeiro - Santos Dumont (SBRJ)



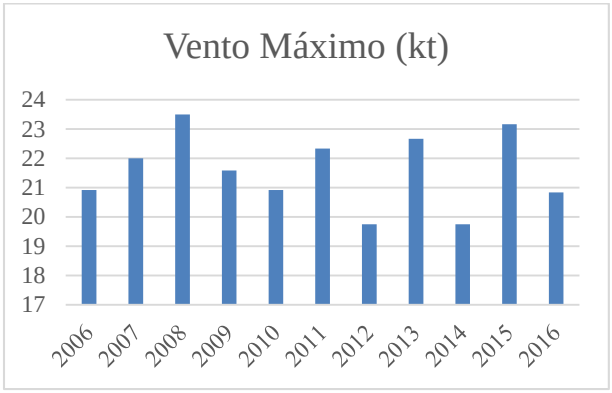
(A)



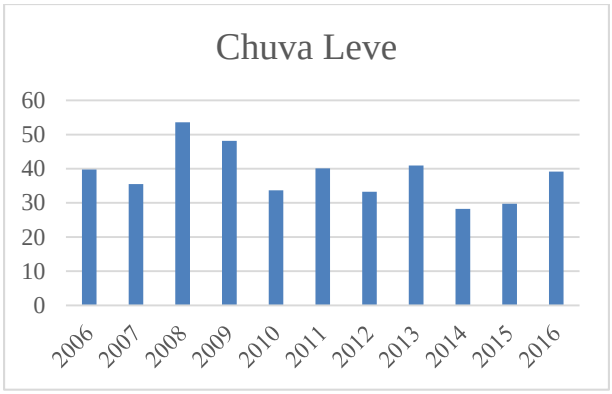
(B)



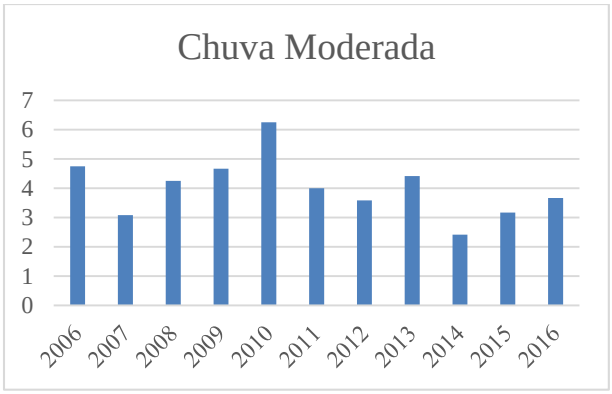
(C)



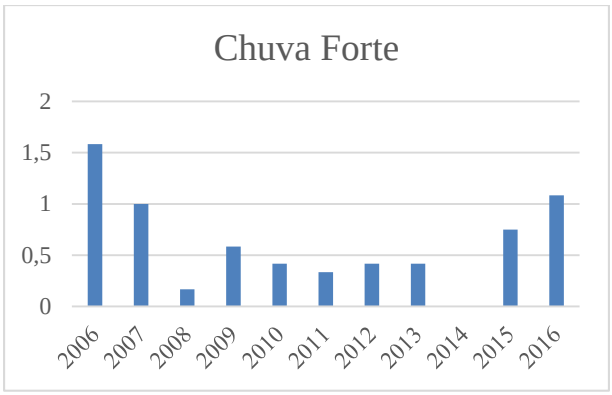
(D)



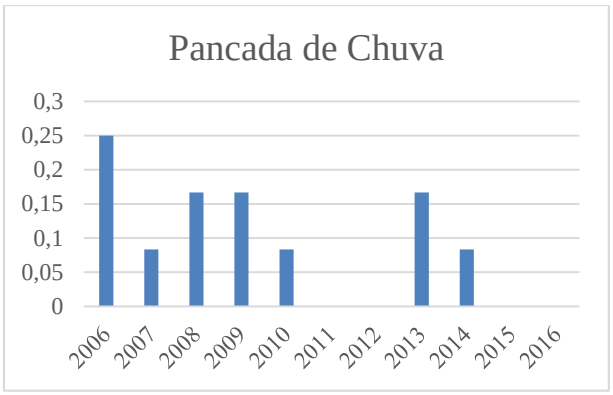
(E)



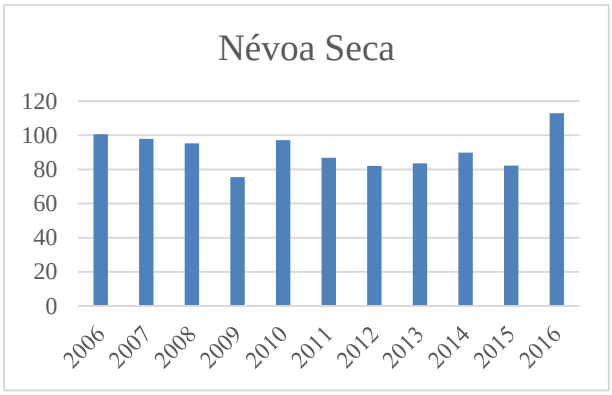
(F)



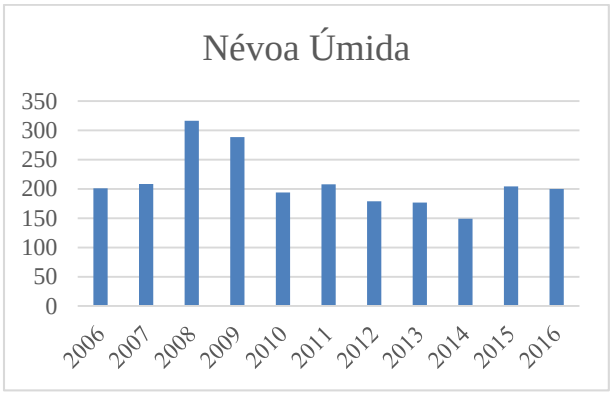
(G)



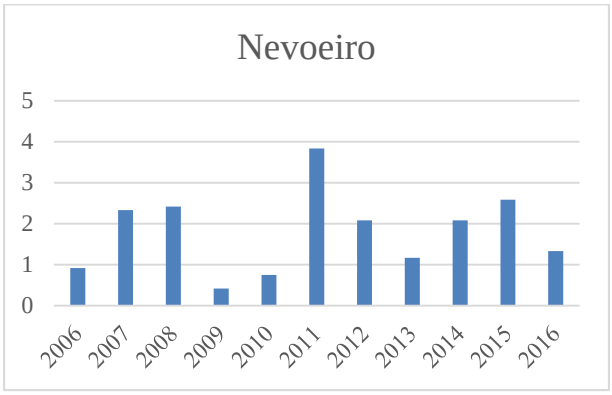
(H)



(I)



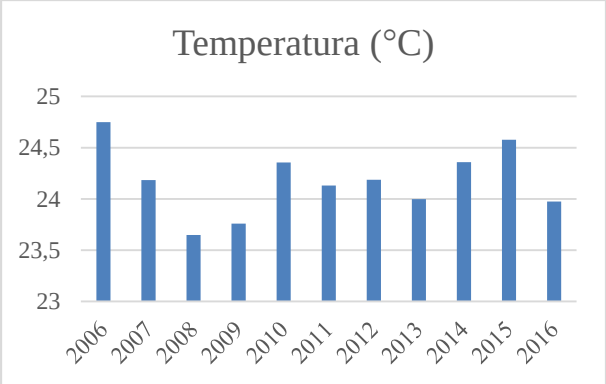
(J)



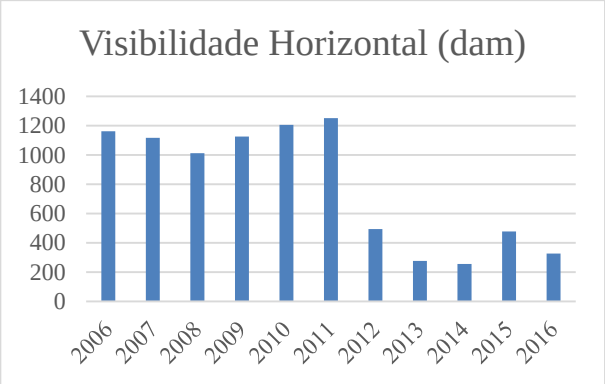
(K)

Figura 51 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros Meteorológicos Aeroporto Santos Dumont

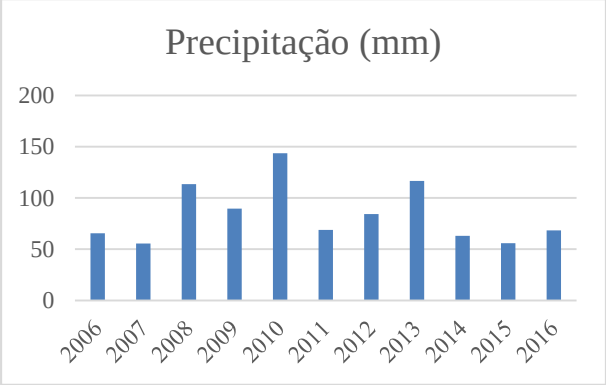
Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro - Galeão (SBGL)



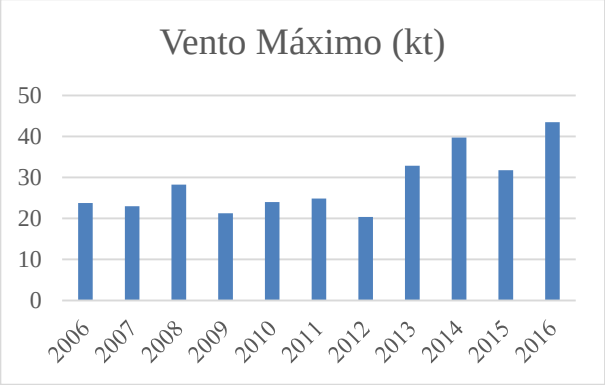
(A)



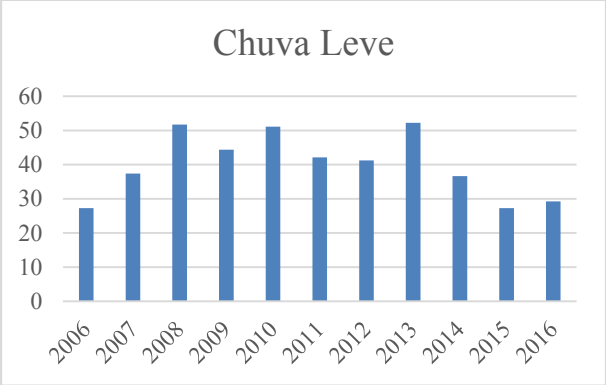
(B)



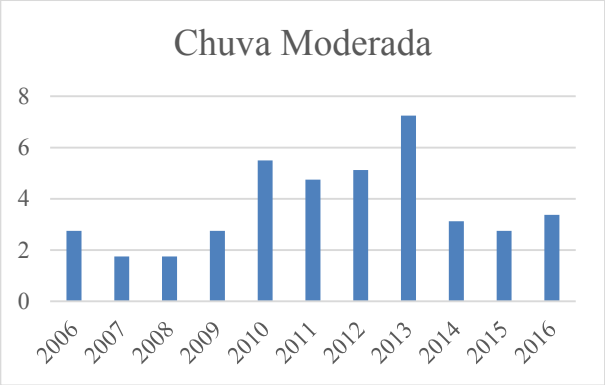
(C)



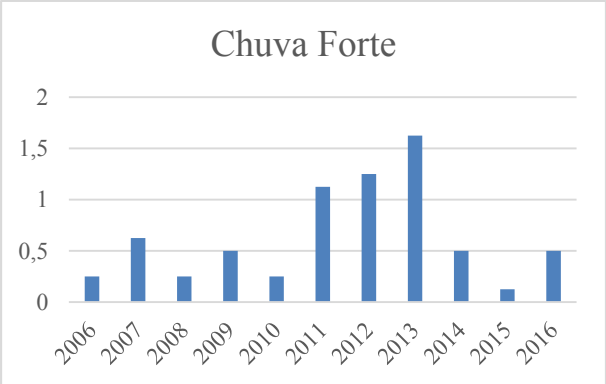
(D)



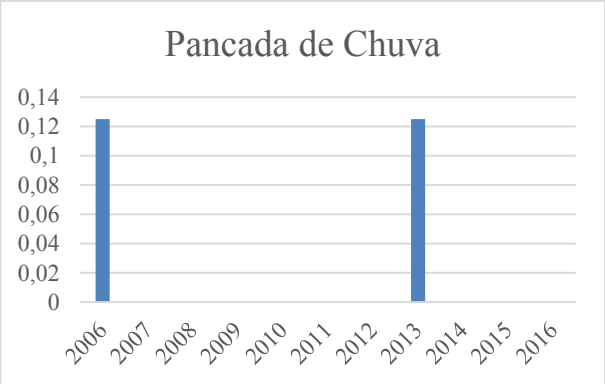
(E)



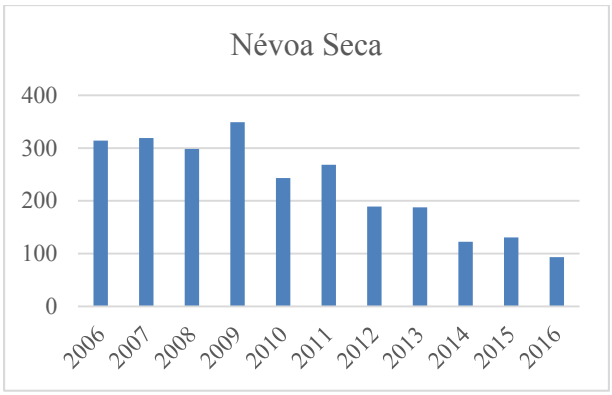
(F)



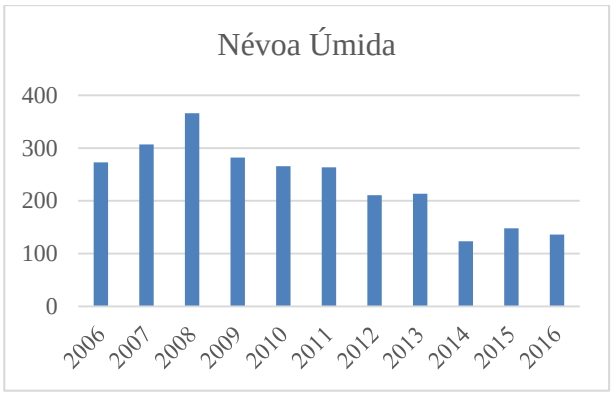
(G)



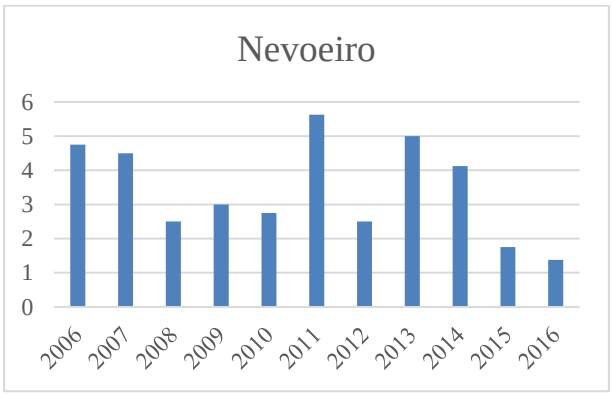
(H)



(I)



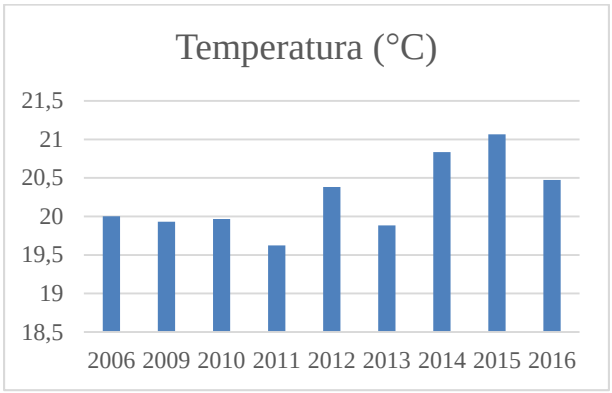
(J)



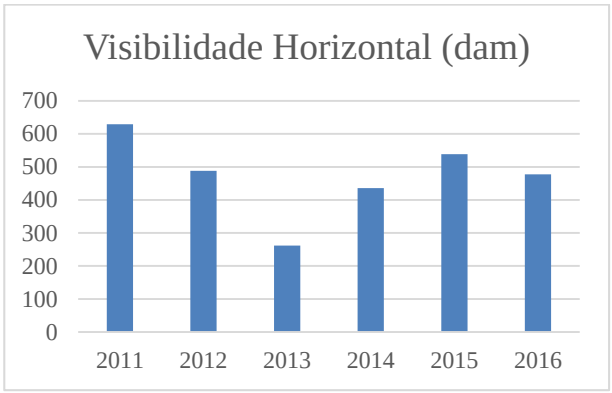
(K)

Figura 52 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros Meteorológicos Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro - Galeão (SBGL)

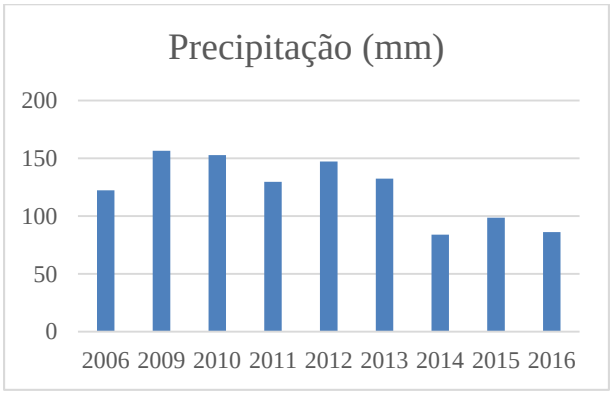
Aeroporto de São Paulo - Congonhas (SBSP)



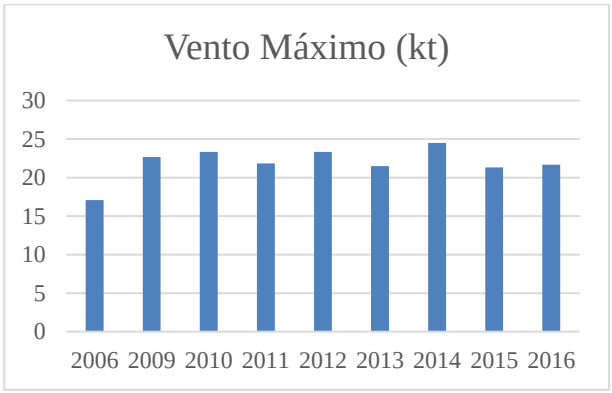
(A)



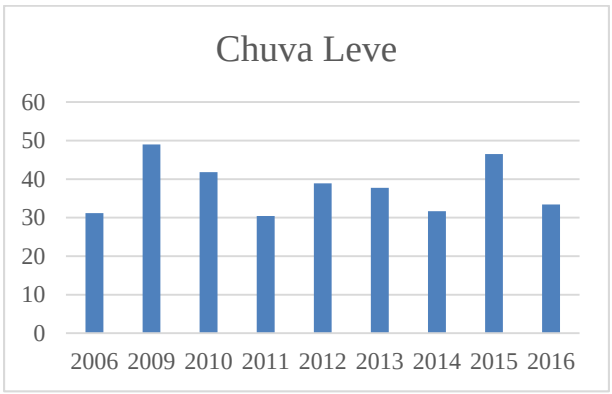
(B)



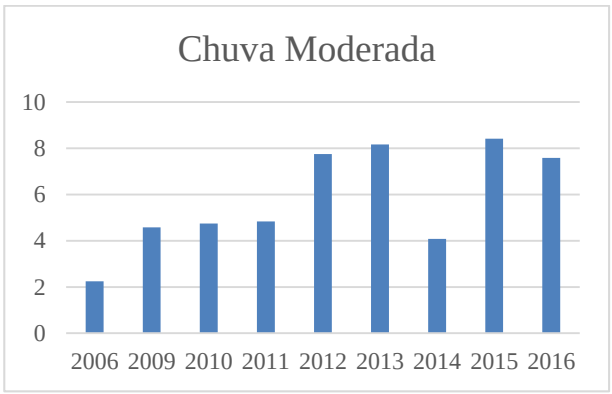
(C)



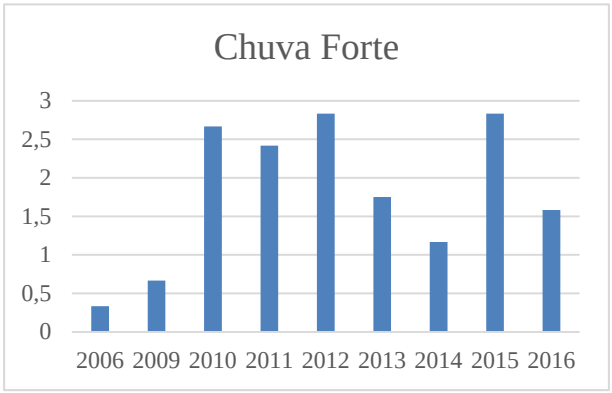
(D)



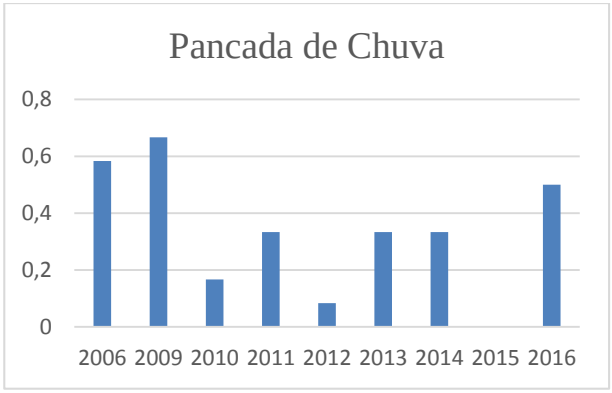
(E)



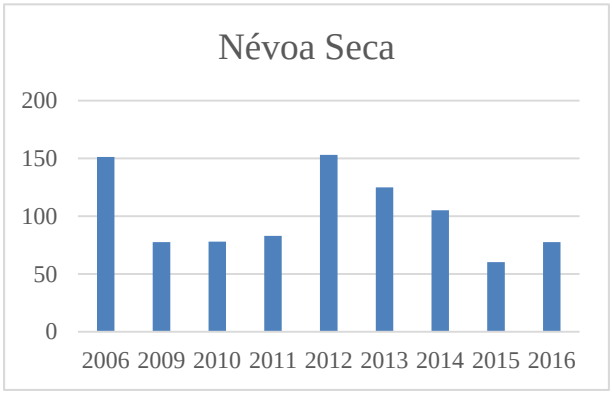
(F)



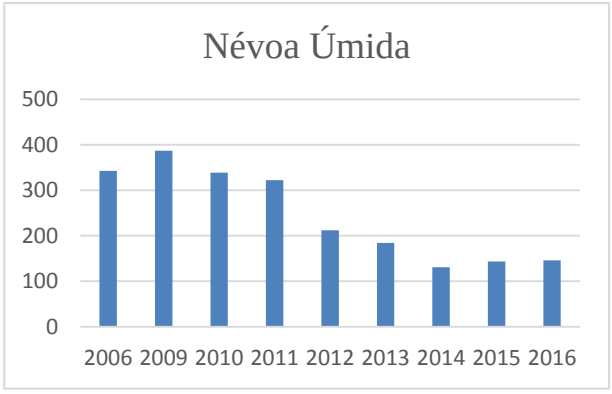
(G)



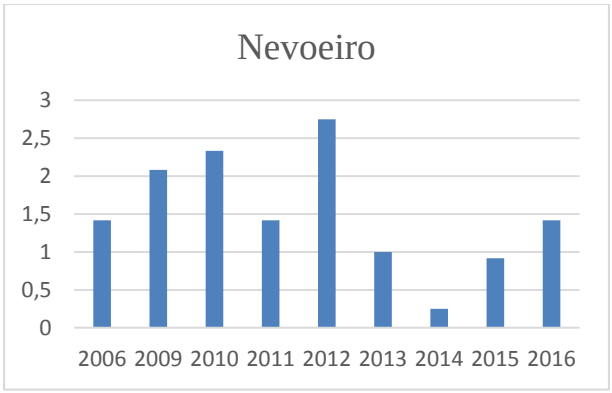
(H)



(I)



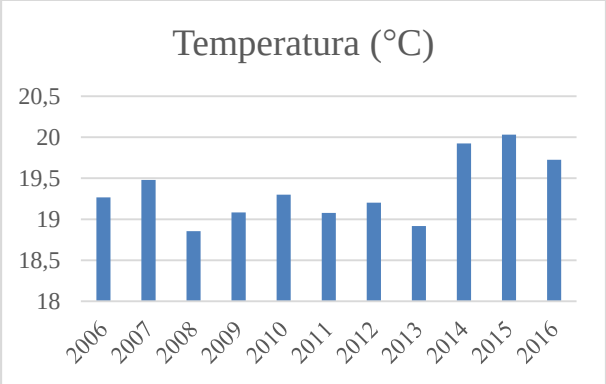
(J)



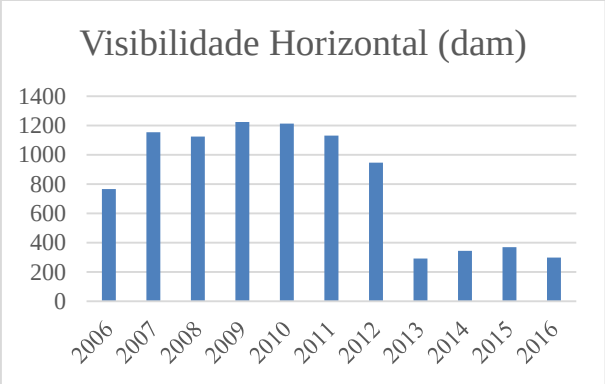
(K)

Figura 53 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros meteorológicos Aeroporto de São Paulo - Congonhas (SBSP)

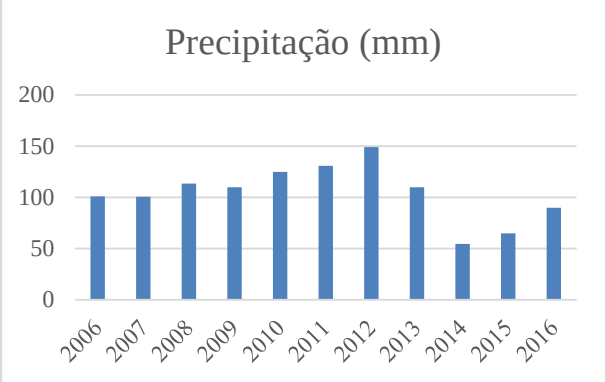
Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos (SBGR)



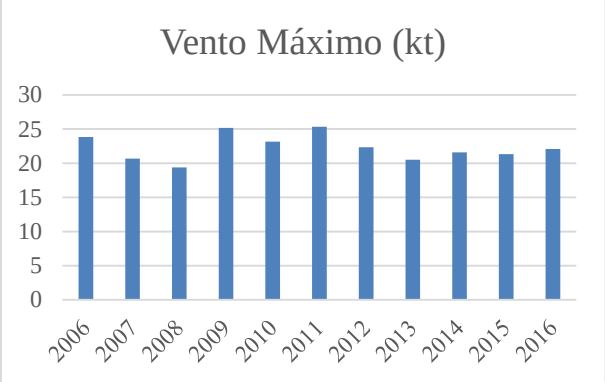
(A)



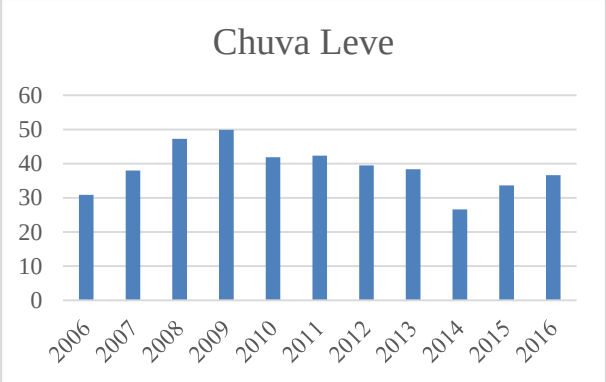
(B)



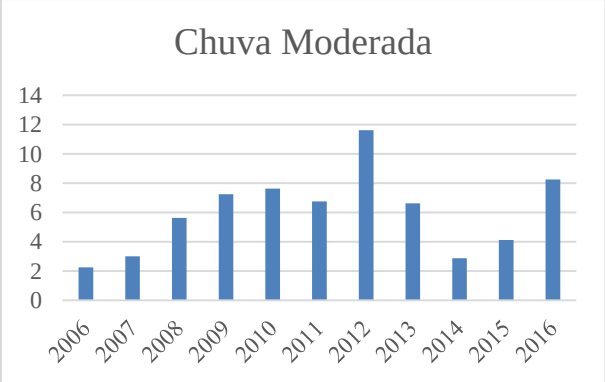
(C)



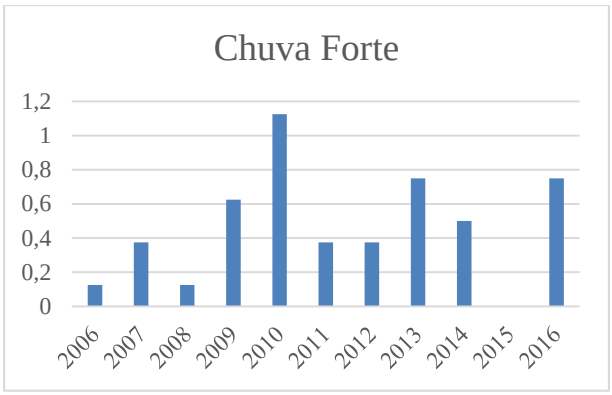
(D)



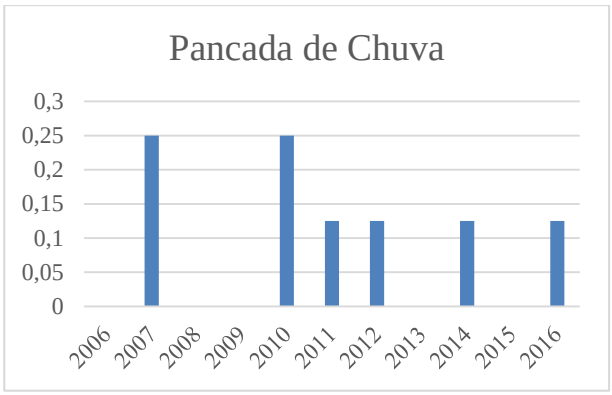
(E)



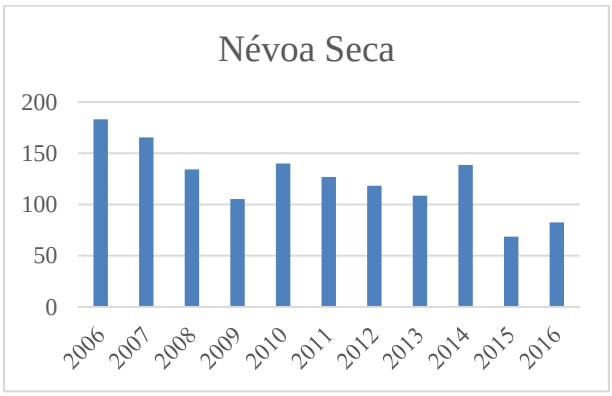
(F)



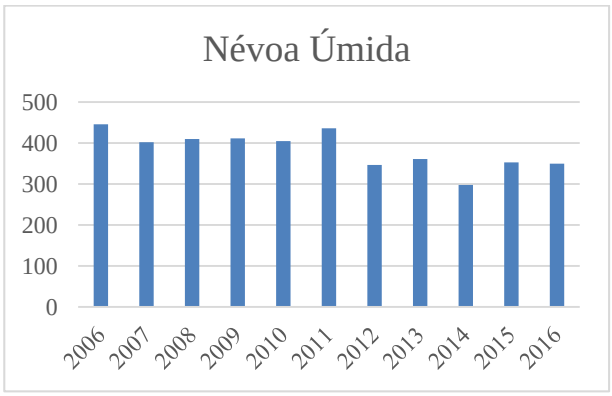
(G)



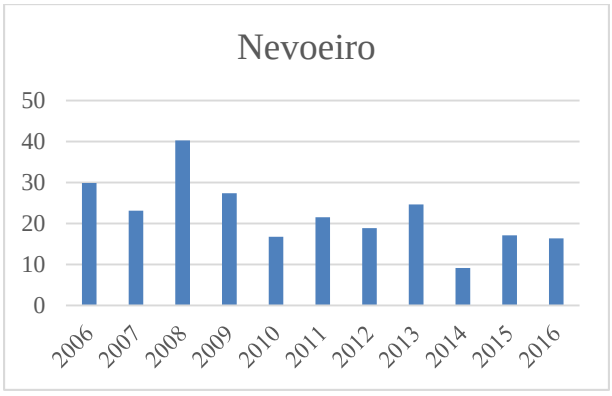
(H)



(I)



(J)



(K)

Figura 54 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K) — Parâmetros Meteorológicos Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos (SBGR)

ANEXO 2

ANÁLISES DE REGRESSÃO ENTRE CANCELAMENTOS E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Tabela 46 — Regressão Aeroporto Santos Dumont – Anual

Ano	Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado (Beta1)	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
2006	Chuva Forte	9,8500	0,0161	4,7260	0,0117	Significante	0,4000	0,0158	0,0761
2007	Chuva Forte	43,2700	0,0185	6,3080	0,4831	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,4282
2008	Chuva Forte	30,2000	<0,001	28,3000	0,0804	Não Significante	0,2000	<0,0010	0,1496
2009	Chuva Forte	58,1000	0,0472	11,2500	0,7122	Não Significante	0,0000	0,0041	0,4272
2010	Chuva Forte	69,0400	0,0022	25,3100	0,2239	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,6948
2011	Chuva Forte	72,2500	0,0011	-9,6000	0,6826	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,4858
2012	Chuva Forte	72,1700	<0,001	21,0200	0,2791	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,9053
2013	Chuva Forte	104,160	<0,001	-3,2050	0,9074	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,2820
2014	Chuva Forte	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0000
2015	Chuva Forte	53,4800	0,0027	5,2480	0,5011	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,4736
2016	Chuva Forte	22,3900	0,2510	21,1000	0,1040	Não Significante	0,1000	0,0211	0,0356
2006	Chuva Leve	12,3800	0,0754	0,1245	0,3780	Não Significante	0,0000	0,0132	0,7089
2007	Chuva Leve	36,3200	0,1120	0,3734	0,4430	Não Significante	0,0000	0,0822	0,2028
2008	Chuva Leve	48,8800	0,0004	-0,2607	0,2785	Não Significante	0,0000	0,4866	0,1359
2009	Chuva Leve	7,5391	0,8380	1,1858	0,1030	Não Significante	0,1000	0,0528	0,0412
2010	Chuva Leve	55,9100	0,1770	0,7031	0,5160	Não Significante	0,0000	0,6487	0,4510
2011	Chuva Leve	43,7700	0,1700	0,6314	0,3580	Não Significante	0,0000	0,3387	0,8681
2012	Chuva Leve	42,0100	0,0180	1,2300	0,0083	Significante	0,5000	0,1077	0,2021
2013	Chuva Leve	84,8800	0,0410	0,4387	0,5690	Não Significante	0,0000	0,2433	0,5934
2014	Chuva Leve	9,7600	0,7325	2,3300	0,0334	Significante	0,3000	0,4617	0,0759
2015	Chuva Leve	23,3900	0,2441	1,1400	0,0562	Não Significante	0,2000	0,0662	0,4812
2016	Chuva Leve	13,3300	0,5760	0,8248	0,1200	Não Significante	0,1000	<0,0010	0,2012
2006	Chuva Moderada	10,9400	0,0245	1,3453	0,0658	Não Significante	0,2000	0,1644	0,8373
2007	Chuva Moderada	18,1300	0,2173	10,1900	0,0112	Significante	0,4000	0,0794	0,8810
2008	Chuva Moderada	31,3500	0,0114	0,8385	0,6635	Não Significante	0,0000	0,0510	0,5694
2009	Chuva Moderada	18,2000	0,3350	9,9560	0,0047	Significante	0,5000	0,0868	0,4340
2010	Chuva Moderada	57,7900	0,0109	3,4800	0,0995	Não Significante	0,1000	0,0020	0,3302
2011	Chuva Moderada	40,6700	0,0417	7,1030	0,0528	Não Significante	0,2000	0,0188	0,1677

2012	Chuva Moderada	58,7200	0,0033	6,1700	0,0586	Não Significante	0,2000	0,0473	0,4976
2013	Chuva Moderada	78,9300	0,0539	5,4120	0,4525	Não Significante	0,0000	0,7478	0,0770
2014	Chuva Moderada	42,2600	0,1220	13,1500	0,1540	Não Significante	0,1000	0,0728	0,7203
2015	Chuva Moderada	34,2800	0,0196	7,3060	0,0168	Significante	0,3000	0,0157	0,1457
2016	Chuva Moderada	16,0200	0,3897	7,7900	0,0469	Significante	0,2000	0,0042	0,0116
2006	Névoa Seca	17,7600	0,0466	-0,0042	0,9529	Não Significante	0,0000	0,0319	0,6059
2007	Névoa Seca	36,3400	0,3000	0,1353	0,7040	Não Significante	0,0000	0,7656	0,4712
2008	Névoa Seca	12,3500	0,5700	0,2368	0,2890	Não Significante	0,0000	0,1304	0,3612
2009	Névoa Seca	-13,5600	0,8470	1,0300	0,2630	Não Significante	0,0000	0,6582	0,3086
2010	Névoa Seca	99,0600	0,0198	-0,2007	0,5575	Não Significante	0,0000	0,1278	0,7188
2011	Névoa Seca	66,4300	0,1180	0,0305	0,9430	Não Significante	0,0000	0,2318	0,2048
2012	Névoa Seca	91,9500	0,0533	-1217,00	0,8008	Não Significante	0,0000	0,4055	0,9438
2013	Névoa Seca	72,8200	0,2640	0,3593	0,6180	Não Significante	0,0000	0,0056	0,8639
2014	Névoa Seca	53,4400	0,2710	0,2048	0,6790	Não Significante	0,0000	0,7782	0,9289
2015	Névoa Seca	76,6300	0,0157	-0,2337	0,4300	Não Significante	0,0000	0,0294	0,8244
2016	Névoa Seca	107,470	0,0435	-0,5500	0,1914	Não Significante	0,0000	0,2551	0,7701
2006	Névoa Úmida	0,6518	0,9560	0,0829	0,1630	Não Significante	0,1000	0,8129	0,0213
2007	Névoa Úmida	-6,0900	0,8384	0,2671	0,0659	Não Significante	0,2000	0,5321	0,2189
2008	Névoa Úmida	-13,5700	0,8080	0,1532	0,3920	Não Significante	0,0000	0,1325	0,3714
2009	Névoa Úmida	42,8200	0,6830	0,0756	0,8310	Não Significante	0,0000	0,1901	0,6187
2010	Névoa Úmida	63,7100	0,2790	0,0817	0,7720	Não Significante	0,0000	0,7370	0,6735
2011	Névoa Úmida	14,2400	0,7470	0,2639	0,2100	Não Significante	0,0000	0,5890	0,1004
2012	Névoa Úmida	-0,4764	0,9832	0,4905	0,0032	Significante	0,5000	0,1441	0,7964
2013	Névoa Úmida	-72,8600	0,3780	0,9950	0,0464	Significante	0,2000	0,3470	0,6201
2014	Névoa Úmida	-25,7600	0,2850	0,7021	0,0014	Significante	0,7000	0,6515	0,4950
2015	Névoa Úmida	33,6600	0,2060	0,1162	0,3030	Não Significante	0,0000	0,6942	0,9494
2016	Névoa Úmida	-101,020	0,0403	0,7320	0,0005	Significante	0,5000	0,1283	0,0625
2006	Nevoeiro	14,0100	0,0018	3,6100	0,0868	Não Significante	0,0800	<0,0010	0,3859
2007	Nevoeiro	36,0200	0,0372	5,8100	0,1709	Não Significante	0,0000	0,0026	0,8041
2008	Nevoeiro	29,1900	0,0025	2,3690	0,2157	Não Significante	0,0000	0,0019	0,2420
2009	Nevoeiro	63,7200	0,0108	2,2570	0,8978	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,4674
2010	Nevoeiro	71,5900	0,0014	10,6500	0,2573	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,6914
2011	Nevoeiro	43,9600	0,0093	7,9300	0,0166	Significante	0,3000	0,0105	0,8552

2012	Nevoeiro	80,4500	<0,001	0,6983	0,9068	Não Significante	0,0000	0,0126	0,8408
2013	Nevoeiro	106,780	0,0010	-3,3890	0,7673	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,8972
2014	Nevoeiro	66,5600	0,0347	1,7740	0,8106	Não Significante	0,0000	0,0417	0,1086
2015	Nevoeiro	44,7900	0,0014	4,8800	0,0157	Não Significante	0,4000	<0,0010	0,4262
2016	Nevoeiro	27,7200	0,0060	12,3900	0,0003	Significante	0,7000	<0,0010	0,7337
2006	Pancadas de Chuva	19,0900	<0,001	-7,5090	0,1985	Não Significante	0,1986	<0,0010	0,4691
2007	Pancadas de Chuva	40,9000	0,0019	104,090	0,0120	Significante	0,4000	<0,0010	0,5790
2008	Pancadas de Chuva	36,6300	<0,001	-10,3100	0,3721	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,1220
2009	Pancadas de Chuva	69,9100	0,0052	-25,4500	0,4666	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,4723
2010	Pancadas de Chuva	71,4500	0,0005	97,5500	0,0791	Não Significante	0,2000	<0,0010	0,3686
2011	Pancadas de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0000
2012	Pancadas de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0000
2013	Pancadas de Chuva	108,600	<0,001	-34,6000	0,5117	Não Significante	0,0000	0,0817	<0,0010
2014	Pancadas de Chuva	77,3300	0,0028	-61,3300	0,3196	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,4705
2015	Pancadas de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0000
2016	Pancadas de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0000
2006	Precipitação	15,4600	0,0226	0,0194	0,6995	Não Significante	0,0000	0,6159	0,4881
2007	Precipitação	17,1800	0,3782	0,3920	0,0583	Não Significante	0,2000	0,5088	0,0593
2008	Precipitação	53,7600	0,0055	-0,1647	0,2111	Não Significante	0,0000	0,1420	0,7534
2009	Precipitação	2,2100	0,9302	0,5351	0,0122	Significante	0,4000	0,0320	0,2994
2010	Precipitação	42,8300	0,0749	0,2504	0,0561	Não Significante	0,0000	0,0234	0,4132
2011	Precipitação	53,4500	0,0660	0,1958	0,4920	Não Significante	0,0000	0,1503	0,4886
2012	Precipitação	52,9900	0,0200	0,4089	0,0937	Não Significante	0,2000	0,0548	0,2663
2013	Precipitação	82,2000	0,0250	0,3254	0,4220	Não Significante	0,0000	0,2597	0,4380
2014	Precipitação	41,9600	0,2970	1,1200	0,4050	Não Significante	0,0000	0,2132	0,3575
2015	Precipitação	45,1000	0,0150	0,1834	0,2430	Não Significante	0,0000	0,0032	0,5501
2016	Precipitação	7,2700	0,7293	0,4900	0,0432	Significante	0,2000	0,1465	0,0432
2006	Temperatura	61,9900	0,1290	-1,8490	0,2600	Não Significante	0,0000	0,0725	0,2381
2007	Temperatura	165,130	0,0736	-9,1340	0,1339	Não Significante	0,1000	0,0643	0,3628
2008	Temperatura	209,130	0,0265	-7,5810	0,0551	Não Significante	0,2000	0,2544	0,6821
2009	Temperatura	114,050	0,6040	-2,0830	0,8210	Não Significante	0,0000	0,3625	0,7627
2010	Temperatura	-18,9100	0,9190	4,0500	0,5950	Não Significante	0,0000	0,3050	0,3664
2011	Temperatura	358,880	0,0126	-12,3900	0,0337	Não Significante	0,3000	0,1357	0,0895
2012	Temperatura	229,370	0,1800	-6,1230	0,3720	Não Significante	0,0000	0,1783	0,3082

2013	Temperatura	222,770	0,4090	-4,8890	0,6510	Não Significante	0,0000	0,9044	0,2779
2014	Temperatura	410,470	0,0695	-13,5600	-0,1206	Não Significante	0,1000	0,3438	0,4197
2015	Temperatura	186,590 0	0,1480	-5,1530	0,3010	Não Significante	0,0000	0,3549	0,1664
2016	Temperatura	-32,7100	0,8430	3,1570	0,6360	Não Significante	0,0000	0,5647	0,4450
2006	Vento	8,4900	0,6980	0,4080	0,7030	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,3792
2007	Vento	93,0040	0,3420	-1,9740	0,6480	Não Significante	0,0000	0,9218	0,4332
2008	Vento	75,8300	0,0572	-1,7310	0,2667	Não Significante	0,0000	0,1733	0,6732
2009	Vento	23,8800	0,8140	1,8900	0,6830	Não Significante	0,0000	0,1638	0,8348
2010	Vento	198,240 0	0,0364	-5,2430	0,1849	Não Significante	0,0000	0,5433	0,5862
2011	Vento	112,910	0,0665	-1,9630	0,4284	Não Significante	0,0000	0,0257	0,2088
2012	Vento	53,9300	0,5310	1,4420	0,7480	Não Significante	0,0000	0,4244	0,4879
2013	Vento	119,380	0,1390	-0,7300	0,8220	Não Significante	0,0000	0,0259	0,1935
2014	Vento	198,790	0,1040	-6,3170	0,2680	Não Significante	0,0000	0,0465	0,5926
2015	Vento	-11,4700	0,8640	2,9700	0,3080	Não Significante	0,0000	0,1234	0,4751
2016	Vento	-59,8000	0,2954	5,0430	0,0739	Não Significante	0,2000	0,0481	0,0993
2006	Visibilidade	19,1900	0,0320	-0,0020	0,7300	Não Significante	0,0000	<0,0010	0,5377
2007	Visibilidade	217,990	0,0603	-0,1121	0,1307	Não Significante	0,1000	0,6055	0,2116
2008	Visibilidade	352,520	0,0226	-0,2322	0,0455	Significante	0,3000	0,6951	0,2386
2009	Visibilidade	472,710	0,1230	-0,2804	0,1760	Não Significante	0,0000	0,4791	0,2827
2010	Visibilidade	153,750	0,4110	-0,0498	0,6860	Não Significante	0,0000	0,0988	0,1848
2011	Visibilidade	295,710	0,0219	-0,1500	0,0630	Não Significante	0,2000	0,5077	0,9673
2012	Visibilidade	530,290	0,0056	-0,2743	0,0136	Significante	0,4000	0,1756	0,6851
2013	Visibilidade	825,680	0,0031	-0,4790	0,0067	Significante	0,4000	0,3099	0,6595
2014	Visibilidade	68,6900	0,1600	0,0064	0,9520	Não Significante	0,0000	0,4679	0,9796
2015	Visibilidade	49,8300	0,0129	0,0218	0,5048	Não Significante	0,0000	0,0023	0,8382
2016	Visibilidade	52,5600	0,1370	-0,0200	0,8050	Não Significante	0,0000	0,0790	0,9268

Tabela 47 — Regressão Aeroporto Santos Dumont – Geral

Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
Pancada	0,5917	0,0000	-0,0056	0,9831	Não Significante	-0,0074	0,0000	0,8178
Visibilidade	0,5185	0,0100	0,0001	0,6793	Não Significante	-0,0061	0,0000	0,7088
Vento	-0,3160	0,3327	0,0436	0,0043	Significante	0,0519	0,0000	0,0429
Temperatura	0,0411	0,9254	0,0237	0,2016	Não Significante	0,0047	0,0000	0,4103
Precipitação	0,1173	0,3696	0,0057	<0,00001	Significante	0,1410	0,0000	0,0039
Chuva Forte	0,0000	0,0000	1,0000	<0,00001	Significante	1,0000	0,0000	0,0005

Chuva Leve	0,1709	0,2892	0,0114	0,0020	Significante	0,0617	0,0000	0,0174
ChuvaModerada	0,1919	0,1052	0,1030	<0,00001	Significante	0,1466	0,0000	0,0687
Névoa Seca	0,5590	0,0129	0,0004	0,8730	Não Significante	-0,0072	0,0000	0,7495
Névoa Úmida	0,0075	0,9736	0,0029	0,0059	Significante	0,0479	0,0000	0,0016
Nevoeiro	0,5839	0,0000	0,0043	0,8881	Não Significante	-0,0073	0,0000	0,9841

Tabela 48 — Regressão Aeroporto do Galeão – Anual

Ano	Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado (Beta1)	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
2006	Chuva Forte	4,3333	0,0274	1,6667	0,6729	Não Significante	0,0386	0,4303	0,1663
2007	Chuva Forte	4,2278	0,1276	3,8354	0,0870	Não Significante	0,4105	0,3445	0,0334
2008	Chuva Forte	6,7273	0,0004	-0,3636	0,8743	Não Significante	0,0026	0,1704	0,2060
2009	Chuva Forte	8,6145	0,0009	-0,6747	0,7571	Não Significante	0,0100	0,3128	0,5528
2010	Chuva Forte	11,9744	0,0187	-1,0897	0,7335	Não Significante	0,0135	0,0080	0,3357
2011	Chuva Forte	10,2522	0,0074	-1,4027	0,3907	Não Significante	0,0745	0,0300	0,3928
2012	Chuva Forte	4,7735	0,0051	-0,3508	0,6102	Não Significante	0,0301	0,0194	0,3424
2013	Chuva Forte	11,1699	0,0061	-1,2466	0,3464	Não Significante	0,1112	0,8633	0,0420
2014	Chuva Forte	1,2500	0,0154	0,3750	0,2722	Não Significante	0,3750	0,0098	0,4193
2015	Chuva Forte	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0000
2016	Chuva Forte	6,8095	0,2280	3,7143	0,5179	Não Significante	0,1114	0,4592	0,7046
2006	Chuva Leve	4,0500	0,3559	0,0184	0,8950	Não Significante	0,0038	0,1921	0,0609
2007	Chuva Leve	10,4798	0,1658	-0,1168	0,5508	Não Significante	0,0624	0,3032	0,2020
2008	Chuva Leve	4,8530	0,0138	0,0526	0,1571	Não Significante	0,1896	0,7739	0,6192
2009	Chuva Leve	6,9100	0,0437	0,0254	0,5870	Não Significante	0,0305	0,5596	0,2931
2010	Chuva Leve	8,0905	0,4222	0,0552	0,7378	Não Significante	0,0131	0,0091	0,9748
2011	Chuva Leve	10,3118	0,0425	-0,0290	0,7249	Não Significante	0,0129	0,0140	0,9726
2012	Chuva Leve	5,6060	0,0168	-0,0284	0,4751	Não Significante	0,0581	0,0143	0,2763
2013	Chuva Leve	9,7652	0,0758	-0,0092	0,9118	Não Significante	0,0016	0,1458	0,2239
2014	Chuva Leve	0,7585	0,0454	0,0286	0,0430	Significante	0,7924	0,8879	0,6860
2015	Chuva Leve	4,1292	0,7150	0,1798	0,5242	Não Significante	0,0708	0,2528	0,0795
2016	Chuva Leve	14,2591	0,1317	-0,1182	0,4352	Não Significante	0,1580	0,7167	0,1703
2006	Chuva Moderada	5,9901	0,0087	-0,5842	0,1864	Não Significante	0,3191	0,3331	0,8019
2007	Chuva Moderada	10,1705	0,0442	-1,1818	0,3044	Não Significante	0,1737	0,0787	0,4657
2008	Chuva Moderada	6,4104	0,0010	0,2197	0,7039	Não Significante	0,0151	0,1963	0,2351

2009	Chuva Moderada	6,9025	0,0126	0,3180	0,4069	Não Significante	0,0697	0,4860	0,3306
2010	Chuva Moderada	7,8528	0,0930	0,7042	0,2343	Não Significante	0,1530	0,0264	0,8815
2011	Chuva Moderada	11,8708	0,0184	-0,5973	0,4017	Não Significante	0,0712	0,1552	0,2724
2012	Chuva Moderada	5,1841	0,0106	-0,1384	0,5382	Não Significante	0,0435	0,0189	0,4502
2013	Chuva Moderada	20,6491	0,0005	-1,5132	0,0090	Significante	0,5948	0,6909	0,6256
2014	Chuva Moderada	1,0870	0,1356	0,1304	0,5504	Não Significante	0,1304	0,3346	0,0285
2015	Chuva Moderada	-1,3000	0,8621	5,3000	0,0936	Não Significante	0,3978	0,7684	0,0251
2016	Chuva Moderada	7,9810	0,4049	0,1143	0,9311	Não Significante	0,0021	0,0625	0,5547
2006	Névoa Seca	12,5958	0,0720	-0,0250	0,1992	Não Significante	0,3043	0,2629	0,3793
2007	Névoa Seca	20,2645	0,1915	-0,0403	0,3526	Não Significante	0,1447	0,3248	0,0988
2008	Névoa Seca	3,6761	0,0665	0,0150	0,0664	Não Significante	0,2979	0,3461	0,5100
2009	Névoa Seca	16,2678	0,0402	-0,0244	0,2660	Não Significante	0,1219	0,9195	0,4351
2010	Névoa Seca	15,9551	0,2875	-0,0181	0,7349	Não Significante	0,0134	0,0029	0,8032
2011	Névoa Seca	6,8293	0,4225	0,0091	0,7742	Não Significante	0,0086	0,0148	0,4428
2012	Névoa Seca	-0,6910	0,8448	0,0226	0,1501	Não Significante	0,2157	0,3978	0,0341
2013	Névoa Seca	-2,5419	0,8268	0,0660	0,3128	Não Significante	0,1267	0,0789	0,7473
2014	Névoa Seca	1,2455	0,1182	0,0009	0,7781	Não Significante	0,0307	0,1156	0,1295
2015	Névoa Seca	10,3785	0,6733	0,0021	0,9918	Não Significante	0,0000	0,0138	0,6081
2016	Névoa Seca	3,1436	0,8596	0,0613	0,7494	Não Significante	0,0285	0,0138	0,8520
2006	Névoa Úmida	11,1181	0,1473	-0,0237	0,3516	Não Significante	0,1741	0,9598	0,7855
2007	Névoa Úmida	-17,9058	0,0200	0,0862	0,0044	Significante	0,7655	0,4225	0,0434
2008	Névoa Úmida	3,4200	0,0750	0,0133	0,0429	Significante	0,3495	0,5432	0,6671
2009	Névoa Úmida	9,1164	0,3496	-0,0028	0,9335	Não Significante	0,0007	0,3814	0,0307
2010	Névoa Úmida	-1,2543	0,9150	0,0464	0,2846	Não Significante	0,1257	0,1340	0,0711
2011	Névoa Úmida	8,3348	0,2214	0,0034	0,8982	Não Significante	0,0017	0,0078	0,9236
2012	Névoa Úmida	4,4400	0,2658	0,0001	0,9968	Não Significante	0,0000	0,0036	0,6358
2013	Névoa Úmida	8,3662	0,4706	0,0046	0,9330	Não Significante	0,0009	0,1469	0,9342
2014	Névoa Úmida	0,6287	0,1440	0,0107	0,0715	Não Significante	0,7142	0,6228	0,6194
2015	Névoa Úmida	-7,0541	0,7086	0,1067	0,3482	Não Significante	0,1472	0,3439	0,1788
2016	Névoa Úmida	2,8204	0,7731	0,0465	0,5161	Não Significante	0,1123	0,3895	0,6544
2006	Nevoeiro	3,6100	0,1199	0,1771	0,5357	Não Significante	0,0812	0,5780	0,1776
2007	Nevoeiro	2,6161	0,0360	0,8668	0,0002	Significante	0,9084	0,1246	0,5319
2008	Nevoeiro	5,6865	0,0005	0,5881	0,0628	Não Significante	0,3047	0,4381	0,2359

2009	Nevoeiro	7,4790	0,0013	0,4272	0,2711	Não Significante	0,1195	0,4873	0,2077
2010	Nevoeiro	8,5192	0,0132	1,3313	0,0210	Significante	0,4638	0,0121	0,5858
2011	Nevoeiro	7,1341	0,0286	0,5198	0,1229	Não Significante	0,2211	0,0018	0,7470
2012	Nevoeiro	3,9693	0,0074	0,7626	0,2561	Não Significante	0,1405	0,0019	0,4723
2013	Nevoeiro	9,6756	0,0086	-0,0916	0,7694	Não Significante	0,0114	0,0809	0,7613
2014	Nevoeiro	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2015	Nevoeiro	6,5714	0,0535	3,2429	0,0058	Significante	0,7445	0,0246	0,3292
2016	Nevoeiro	6,0000	0,1447	2,0000	0,1202	Não Significante	0,4923	0,0214	0,5018
2006	Pancada de Chuva	4,1667	0,0274	2,8333	0,4642	Não Significante	0,1115	0,3969	0,2393
2007	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2008	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2009	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2010	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2011	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2012	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2013	Pancada de Chuva	8,6667	0,0097	6,3333	0,4575	Não Significante	0,0708	0,0381	0,4412
2014	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2015	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2016	Pancada de Chuva	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Não Significante	0,0000	0,0000	0,0000
2006	Precipitação	4,5929	0,0968	-0,0003	0,9910	Não Significante	0,0000	0,2333	0,9130
2007	Precipitação	10,3102	0,0445	-0,0529	0,2988	Não Significante	0,1773	0,1354	0,3637
2008	Precipitação	5,7142	0,0047	0,0126	0,3804	Não Significante	0,0777	0,3532	0,2835
2009	Precipitação	4,8463	0,0405	0,0253	0,0513	Não Significante	0,3287	0,8863	0,5397
2010	Precipitação	8,4810	0,1463	0,0198	0,5223	Não Significante	0,0469	0,0018	0,6542
2011	Precipitação	10,5201	0,0333	-0,0202	0,6603	Não Significante	0,0201	0,0094	0,5262
2012	Precipitação	4,0240	0,0838	0,0055	0,8072	Não Significante	0,0070	0,0083	0,4890
2013	Precipitação	11,3650	0,0300	-0,0173	0,5755	Não Significante	0,0408	0,3362	0,0336
2014	Precipitação	0,6536	0,1768	0,0144	0,1084	Não Significante	0,6311	0,3668	0,8564
2015	Precipitação	9,2425	0,3417	0,0193	0,8577	Não Significante	0,0058	0,0198	0,6679
2016	Precipitação	8,3729	0,4300	0,0026	0,9742	Não Significante	0,0003	0,0522	0,8849
2006	Temperatura	9,4061	0,5482	-0,2000	0,7533	Não Significante	0,0216	0,4847	0,9150
2007	Temperatura	50,5307	0,0320	-1,8239	0,0512	Não Significante	0,4960	0,0642	0,2014
2008	Temperatura	3,5993	0,0692	0,1946	0,0588	Não Significante	0,3125	0,3441	0,6872
2009	Temperatura	5,3707	0,7518	0,1220	0,8606	Não Significante	0,0032	0,4756	0,0700

2010	Temperatura	14,5308	0,6536	-0,1370	0,9166	Não Significante	0,0013	0,0061	0,2063
2011	Temperatura	52,4557	0,0413	-1,8219	0,0802	Não Significante	0,2748	0,4428	0,2481
2012	Temperatura	11,9872	0,3805	-0,3054	0,5750	Não Significante	0,0362	0,0528	0,3276
2013	Temperatura	41,1344	0,1542	-1,3175	0,2563	Não Significante	0,1574	0,5955	0,0515
2014	Temperatura	3,8019	0,2444	-0,0914	0,4269	Não Significante	0,2188	0,8317	0,3007
2015	Temperatura	36,5911	0,5408	-1,0497	0,6604	Não Significante	0,0343	0,0713	0,0995
2016	Temperatura	44,9918	0,2739	-1,4423	0,3617	Não Significante	0,2092	0,1904	0,3536
2006	Vento	2,8136	0,4950	0,0746	0,6458	Não Significante	0,0456	0,7751	0,9875
2007	Vento	14,8043	0,5642	-0,3804	0,7460	Não Significante	0,0188	0,1791	0,1158
2008	Vento	3,7764	0,0214	0,1535	0,0186	Significante	0,4407	0,7398	0,5151
2009	Vento	2,0391	0,5945	0,2398	0,0967	Não Significante	0,2515	0,8907	0,6394
2010	Vento	7,1505	0,6845	0,1732	0,8143	Não Significante	0,0065	0,0044	0,3920
2011	Vento	7,0612	0,3233	0,0882	0,7496	Não Significante	0,0106	0,0051	0,7267
2012	Vento	0,1827	0,9787	0,1880	0,5305	Não Significante	0,0452	0,0108	0,2952
2013	Vento	13,1594	0,0146	-0,1195	0,3061	Não Significante	0,1300	0,3641	0,2798
2014	Vento	1,0391	0,0753	0,0097	0,3277	Não Significante	0,3121	0,0769	0,3533
2015	Vento	16,5204	0,1139	-0,1521	0,4626	Não Significante	0,0930	0,1431	0,2260
2016	Vento	1,5213	0,8128	0,1949	0,2210	Não Significante	0,3442	0,0054	0,6089
2006	Visibilidade	4,1260	0,2284	0,0005	0,8754	Não Significante	0,0054	0,2884	0,8988
2007	Visibilidade	37,7075	0,0173	-0,0274	0,0347	Significante	0,5518	0,8812	0,1684
2008	Visibilidade	3,7645	0,0655	0,0042	0,0790	Não Significante	0,2767	0,2736	0,4691
2009	Visibilidade	-7,3122	0,6710	0,0139	0,3693	Não Significante	0,0812	0,6107	0,9815
2010	Visibilidade	28,9827	0,2804	-0,0146	0,4945	Não Significante	0,0533	0,0192	0,1291
2011	Visibilidade	14,2511	0,4907	-0,0041	0,7985	Não Significante	0,0068	0,0113	0,9177
2012	Visibilidade	3,7797	0,4979	0,0013	0,9000	Não Significante	0,0019	0,0052	0,6552
2013	Visibilidade	-1,2568	0,8929	0,0333	0,2615	Não Significante	0,1543	0,1491	0,3068
2014	Visibilidade	1,5839	0,0114	-0,0015	0,3330	Não Significante	0,3065	0,2817	0,0719
2015	Visibilidade	13,1831	0,1593	-0,0076	0,7075	Não Significante	0,0252	0,1172	0,2715
2016	Visibilidade	16,4970	0,2341	-0,0171	0,5188	Não Significante	0,1110	0,2310	0,0251

Tabela 49 — Regressão Aeroporto do Galeão – Geral

Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
Pancadas de chuva	0,1137	0,0000	0,3863	0,3509	Não significante	-0,0002	0,0000	0,9603
Visibilidade	0,0323	0,1689	0,0005	0,0000	Significante	0,1138	0,0000	0,0000
Vento	0,0497	0,0384	0,0115	0,0000	Significante	0,0729	0,0000	0,0000
Temperatura	-0,0047	0,8396	0,0248	0,0000	Significante	0,1701	0,0000	0,0000
Precipitação	0,0103	0,6264	0,0059	0,0000	Significante	0,2490	0,0000	0,0000
Chuva Forte	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	Significante	1,0000	0,0000	0,8434
Chuva Leve	0,0197	0,3862	0,0110	0,0000	Significante	0,1640	0,0000	0,0000
Chuva Moderada	0,0272	0,2064	0,1120	0,0000	Significante	0,2096	0,0000	0,0000
Névoa seca	0,0216	0,3588	0,0020	0,0000	Significante	0,1274	0,0000	0,0000
Névoa Úmida	0,0106	0,6475	0,0024	0,0000	Significante	0,1581	0,0000	0,0000
Nevoeiro	0,1072	0,0000	0,0161	0,0702	Não significante	0,0036	0,0000	0,8639

Tabela 50 — Regressão Aeroporto de Guarulhos – Anual

Ano	Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
2006	Chuva Forte	11,6000	0,0102	-9,1000	0,3356	Não Significante	0,0021	0,0137	0,3577
2016	Chuva Forte	4,2833	0,4243	12,3000	0,0029	Significante	0,5645	0,5904	0,0021
2006	Chuva Moderada	14,1715	0,0100	-1,2265	0,2129	Não Significante	0,0654	0,0571	0,1941
2006	Névoa Seca	-12,7041	0,4111	0,1305	0,1464	Não Significante	0,1186	0,0099	0,7330
2006	Névoa Úmida	-0,2451	0,9935	0,0242	0,7294	Não Significante	-0,0863	0,0062	0,4013
2006	Chuva Leve	21,6202	0,0032	-0,3385	0,0390	Significante	0,2964	0,2966	0,0219
2006	Pancada de Chuva	10,7273	0,0140	-7,7273	0,5503	Não Significante	-0,0595	0,0107	0,5179
2006	Visibilidade	22,6458	0,0232	-0,0138	0,1409	Não Significante	0,1240	0,2146	0,0073
2006	Vento	22,0890	0,1059	-0,5037	0,3395	Não Significante	0,0006	0,1203	0,0652
2009	Chuva Moderada	1,4869	0,7943	1,7516	0,0137	Significante	0,4182	0,3429	0,9095
2006	Precipitação	15,6708	0,0066	-0,0441	0,1285	Não Significante	0,1370	0,0763	0,1106
2007	Chuva Forte	30,6250	0,0118	-6,8750	0,6988	Não Significante	-0,0828	0,0531	0,4141
2007	Chuva Leve	38,9688	0,0226	-0,2537	0,4007	Não Significante	-0,0213	0,0376	0,7429
2007	Chuva Moderada	37,6963	0,0054	-2,8809	0,2381	Não Significante	0,0496	0,0175	0,4517
2007	Névoa Seca	15,3541	0,6006	0,0715	0,6437	Não Significante	-0,0755	0,0165	0,4751
2007	Névoa Úmida	43,7771	0,5343	-0,0396	0,8237	Não Significante	-0,0943	0,0414	0,4823
2016	Chuva Moderada	-3,1329	0,3260	2,7195	0,0000	Significante	0,8814	0,0112	0,0931
2007	Pancada de Chuva	30,8182	0,0035	-14,9091	0,3141	Não Significante	0,0111	0,0735	0,3343

2007	Visibilidade	106,0577	0,1744	-0,0677	0,3065	Não Significante	0,0145	0,0506	0,3395
2007	Vento	26,9713	0,5087	0,0659	0,9725	Não Significante	-0,0999	0,0419	0,6230
2008	Névoa Seca	4,0935	0,7016	0,2299	0,0290	Significante	0,3327	0,1898	0,6209
2007	Precipitação	39,9896	0,0196	-0,1147	0,3578	Não Significante	-0,0065	0,0043	0,6372
2008	Chuva Forte	26,3636	0,0115	-20,3636	0,5069	Não Significante	-0,0502	0,0410	0,3593
2008	Chuva Leve	26,5418	0,0495	-0,0595	0,8288	Não Significante	-0,0946	0,0278	0,3419
2008	Chuva Moderada	23,8240	0,0622	0,2247	0,9148	Não Significante	-0,0987	0,0117	0,8419
2006	Nevoeiro	-1,2629	0,7495	0,4969	0,0043	Significante	0,5320	0,6149	0,1316
2008	Névoa Úmida	5,6279	0,6536	0,0697	0,0821	Não Significante	0,1992	0,3257	0,0106
2007	Nevoeiro	5,2797	0,4295	1,2461	0,0006	Significante	0,6816	0,0659	0,2959
2009	Chuva Forte	13,3160	0,0165	1,8720	0,3948	Não Significante	-0,0194	0,0092	0,3324
2009	Chuva Leve	10,7787	0,3264	0,0929	0,6347	Não Significante	-0,0742	0,0577	0,3892
2008	Nevoeiro	3,5336	0,3826	0,7876	0,0000	Significante	0,8639	0,0170	0,0995
2009	Névoa Seca	11,9409	0,3727	0,0300	0,7753	Não Significante	-0,0906	0,0315	0,2271
2009	Névoa Úmida	0,8861	0,9654	0,0344	0,4710	Não Significante	-0,0416	0,0470	0,2150
2009	Nevoeiro	4,5607	0,1915	0,5128	0,0008	Significante	0,6571	0,3174	0,1287
2009	Pancada de Chuva	14,4545	0,0055	12,5455	0,3978	Não Significante	-0,0204	0,0163	0,4379
2009	Visibilidade	67,8728	0,0600	-0,0436	0,1307	Não Significante	0,1346	0,1766	0,9129
2009	Vento	4,7015	0,6354	0,4291	0,2495	Não Significante	0,0430	0,0188	0,3661
2009	Temperatura	60,9819	0,0449	-2,3095	0,1152	Não Significante	0,1523	0,3559	0,0350
2009	Precipitação	14,5648	0,0790	0,0065	0,8838	Não Significante	-0,0975	0,0311	0,6249
2010	Chuva Forte	38,2905	0,0033	-7,2682	0,2840	Não Significante	0,0250	0,0019	0,8475
2010	Chuva Leve	46,1805	0,0083	-0,3569	0,2251	Não Significante	0,0576	0,0031	0,8284
2010	Chuva Moderada	35,2531	0,0478	-0,6671	0,7311	Não Significante	-0,0864	0,0018	0,2869
2010	Névoa Seca	8,3939	0,7146	0,1496	0,3214	Não Significante	0,0079	0,0003	0,6662
2010	Névoa Úmida	55,2399	0,4310	-0,0602	0,7183	Não Significante	-0,0851	0,0046	0,8423
2010	Nevoeiro	11,5076	0,2677	1,3669	0,0347	Significante	0,3111	0,7613	0,0272
2010	Pancada de Chuva	31,2727	0,0027	-5,1364	0,7147	Não Significante	-0,0847	0,0127	0,6277
2010	Visibilidade	95,8661	0,2424	-0,0549	0,4141	Não Significante	-0,0255	0,0031	0,9221
2010	Vento	49,7558	0,0504	-0,8348	0,3822	Não Significante	-0,0152	0,0440	0,1878
2010	Temperatura	118,7859	0,0386	-4,5382	0,1042	Não Significante	0,1662	0,0235	0,3393
2010	Precipitação	39,8401	0,0056	-0,0755	0,3071	Não Significante	0,0142	0,0144	0,5494
2011	Chuva Forte	31,9231	0,1073	-0,8846	0,9588	Não Significante	-0,0997	0,0003	0,3956
2011	Chuva Leve	34,4265	0,2057	-0,0775	0,8864	Não Significante	-0,0976	0,0002	0,5717

2011	Chuva Moderada	32,4402	0,1983	-0,1527	0,9542	Não Significante	-0,0996	0,0003	0,5639
2011	Névoa Seca	41,2267	0,3870	-0,0658	0,8240	Não Significante	-0,0943	0,0004	0,7922
2011	Névoa Úmida	-27,5120	0,7344	0,1493	0,4659	Não Significante	-0,0402	0,0025	0,2886
2011	Nevoeiro	-0,9103	0,9230	1,8338	0,0003	Significante	0,7270	0,8585	0,9742
2011	Pancada de Chuva	29,0909	0,0747	26,9091	0,6069	Não Significante	-0,0698	0,0001	0,7001
2012	Nevoeiro	19,2493	0,0003	-0,6145	0,0381	Significante	0,3288	0,0799	0,1322
2011	Vento	22,5005	0,5469	0,3487	0,7956	Não Significante	-0,0923	0,0004	0,5730
2011	Temperatura (°C)	140,9693	0,1867	-5,7154	0,2918	Não Significante	0,0212	0,0026	0,0938
2011	Precipitação	24,0882	0,2580	0,0603	0,6252	Não Significante	-0,0728	0,0001	0,6075
2012	Chuva Forte	12,8000	0,0016	-0,7000	0,8616	Não Significante	-0,1071	0,3273	0,0461
2012	Chuva Leve	10,0680	0,0388	0,0683	0,4817	Não Significante	-0,0484	0,5148	0,8964
2012	Chuva Moderada	10,4794	0,0095	0,2612	0,3550	Não Significante	-0,0049	0,8626	0,7825
2012	Névoa Seca	1,0241	0,9102	0,0794	0,2095	Não Significante	0,0764	0,2425	0,2310
2012	Névoa Úmida	36,0929	0,0327	-0,0753	0,1304	Não Significante	0,1503	0,9324	0,9894
2016	Nevoeiro	6,0286	0,1709	0,9245	0,0006	Significante	0,6803	0,0930	0,2300
2012	Pancada de Chuva	11,3333	0,0019	6,6667	0,3045	Não Significante	0,0182	0,4269	0,3252
2012	Visibilidade	6,8655	0,6778	0,0057	0,7275	Não Significante	-0,0954	0,6035	0,6175
2012	Vento	4,9629	0,6075	0,3350	0,4216	Não Significante	-0,0300	0,9796	0,1918
2012	Temperatura	-20,2240	0,3356	1,6331	0,1316	Não Significante	0,1490	0,6328	0,8856
2012	Precipitação	8,7433	0,0373	0,0282	0,2015	Não Significante	0,0824	0,6945	0,5076
2013	Chuva Forte	16,7349	0,0123	-3,8313	0,5191	Não Significante	-0,0530	0,0066	0,6914
2013	Chuva Leve	19,9842	0,0907	-0,1316	0,5856	Não Significante	-0,0662	0,0416	0,5998
2013	Chuva Moderada	11,2592	0,1618	0,5636	0,6024	Não Significante	-0,0691	0,1788	0,0418
2013	Névoa Seca	39,8402	0,0701	-0,2194	0,2166	Não Significante	0,0630	0,0886	0,2256
2013	Névoa Úmida	2,0344	0,9318	0,0363	0,5959	Não Significante	-0,0680	0,0418	0,3369
2013	Nevoeiro	8,3916	0,1718	0,3458	0,1622	Não Significante	0,1040	0,0999	0,0985
2014	Chuva Forte	24,9101	0,0371	-1,0112	0,8981	Não Significante	-0,1225	0,1008	0,5351
2014	Chuva Leve	35,3704	0,0347	-0,3816	0,3756	Não Significante	-0,0135	0,3209	0,0528
2014	Chuva Moderada	26,3644	0,0445	-0,6568	0,7861	Não Significante	-0,1140	0,1201	0,2634
2014	Névoa Seca	32,4992	0,1462	-0,0630	0,6647	Não Significante	-0,0972	0,0720	0,7827
2014	Névoa Úmida	66,6267	0,0253	-0,1615	0,1072	Não Significante	0,2029	0,3236	0,2856
2014	Nevoeiro	22,0587	0,0311	0,5546	0,6786	Não Significante	-0,0996	0,0106	0,3483
2014	Pancada de Chuva	26,3750	0,0100	-11,8750	0,5181	Não Significante	-0,0642	0,3165	0,2946

2014	Visibilidade	-8,5674	0,5954	0,0903	0,0540	Não Significante	0,3127	0,4053	0,3936
2014	Vento	28,9867	0,5060	-0,2267	0,9062	Não Significante	-0,1229	0,0823	0,7803
2006	Temperatura	69,2811	0,0063	-3,0334	0,0141	Significante	0,4152	0,9979	0,0201
2014	Precipitação	17,6115	0,2324	0,0928	0,5981	Não Significante	-0,0842	0,0758	0,4864
2015	Chuva Forte	23,0714	0,0017	1,2857	0,8699	Não Significante	-0,0969	0,4599	0,1362
2015	Chuva Leve	15,8578	0,1411	0,2173	0,4048	Não Significante	-0,0226	0,0202	0,4075
2015	Chuva Moderada	19,5287	0,0271	0,7332	0,5182	Não Significante	-0,0528	0,0807	0,1947
2015	Névoa Seca	50,7027	0,0029	-0,3726	0,0519	Não Significante	0,2601	0,0784	0,8328
2015	Névoa Úmida	56,8785	0,0306	-0,0945	0,1634	Não Significante	0,1030	0,6259	0,4147
2015	Nevoeiro	21,3587	0,0116	0,1530	0,6808	Não Significante	-0,0806	0,4611	0,3754
2015	Pancada de Chuva	23,6364	0,0008	-1,6364	0,9264	Não Significante	-0,0990	0,4921	0,2373
2015	Visibilidade	5,0311	0,6821	0,0465	0,1287	Não Significante	0,1368	0,0383	0,9643
2015	Vento	-9,5902	0,5803	1,5511	0,0697	Não Significante	0,2212	0,5173	0,6985
2015	Temperatura	-5,8480	0,8916	1,4263	0,4962	Não Significante	-0,0478	0,4832	0,9395
2015	Precipitação	18,3431	0,0027	0,1445	0,0594	Não Significante	0,2425	0,3392	0,3567
2007	Temperatura	144,9042	0,0197	-5,8857	0,0483	Significante	0,2693	0,0209	0,5924
2016	Chuva Leve	9,2532	0,4437	0,1892	0,4696	Não Significante	-0,0412	0,0000	0,8142
2014	Temperatura	-95,7888	0,0782	5,7173	0,0346	Significante	0,3775	0,4182	0,4599
2016	Névoa Seca	47,4033	0,0481	-0,3789	0,1588	Não Significante	0,1071	0,0005	0,2514
2016	Névoa Úmida	-3,2486	0,9267	0,0607	0,5711	Não Significante	-0,0635	0,0004	0,2783
2011	Visibilidade	378,8095	0,0105	-0,2957	0,0160	Significante	0,4012	0,1177	0,0462
2016	Pancada de Chuva	17,4545	0,0259	-10,4545	0,6611	Não Significante	-0,0780	0,0001	0,7070
2016	Visibilidade	22,7823	0,3114	-0,0170	0,7672	Não Significante	-0,0899	0,0003	0,3198
2016	Vento	43,4059	0,3383	-1,2146	0,5439	Não Significante	-0,0582	0,0015	0,1233
2016	Temperatura	84,8516	0,0684	-3,4258	0,1281	Não Significante	0,1374	0,1246	0,0157

Tabela 51 — Regressão Aeroporto de Guarulhos – Geral

Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
Chuva Forte	20,3239	0,0000	1,2208	0,5569	Não Significante	-0,0051	0,0000	0,7736
Chuva Leve	24,1376	0,0000	-0,0795	0,3550	Não Significante	-0,0011	0,0000	0,3861
Chuva Moderada	18,3587	0,0000	0,4725	0,2243	Não Significante	0,0038	0,0000	0,9030
Névoa Seca	15,3552	0,0036	0,0446	0,2303	Não Significante	0,0035	0,0000	0,7554

Névoa Úmida	12,1038	0,1191	0,0250	0,2298	Não Significante	0,0035	0,0000	0,2505
Nevoeiro	8,7148	0,0001	0,7503	0,0000	Significante	0,3555	0,0000	0,0001
Pancada de Chuva	21,3819	0,0000	-3,1744	0,5996	Não Significante	-0,0057	0,0000	0,5523
Visibilidade	17,4946	0,0002	0,0044	0,3713	Não Significante	-0,0015	0,0000	0,5186
Vento	17,7179	0,0047	0,1536	0,5640	Não Significante	-0,0052	0,0000	0,7033
Temperatura	27,2396	0,0058	-0,3225	0,5156	Não Significante	-0,0045	0,0000	0,0975
Precipitação	21,6706	0,0000	-0,0065	0,7692	Não Significante	-0,0072	0,0000	0,6612

Tabela 52 — Regressão Aeroporto de Congonhas – Anual

Ano	Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
2006	Chuva Forte	12,5821	0,0045	0,9481	0,5567	Não Significante	-0,0608	0,4415	0,6900
2006	Chuva Leve	9,4296	0,0627	0,1171	0,2566	Não Significante	0,0391	0,8262	0,6729
2006	Chuva Moderada	16,7068	0,0007	-0,5523	0,3351	Significante	0,0023	0,0556	0,8534
2006	Névoa Seca	21,1845	0,0024	-0,0706	0,1652	Significante	0,1014	0,7258	0,1577
2006	Névoa Úmida	1,7822	0,8382	0,0612	0,1647	Não Significante	0,1019	0,4703	0,9754
2006	Nevoeiro	14,7957	0,0004	-0,7771	0,6432	Significante	-0,0755	0,8006	0,4048
2006	Pancada de Chuva	12,4510	0,0003	6,5294	0,0990	Não Significante	0,1734	0,6352	0,3939
2007	Chuva Forte	124,9551	0,0009	51,9615	0,0064	Não Significante	0,4948	0,3043	0,2972
2007	Chuva Leve	209,7629	0,0025	-0,9252	0,4494	Significante	-0,0358	0,7043	0,5017
2007	Chuva Moderada	177,5503	0,0044	-0,2055	0,9862	Significante	-0,1000	0,4867	0,3327
2007	Névoa Seca	54,1028	0,5236	1,2553	0,1392	Não Significante	0,1257	0,5802	0,1924
2007	Névoa Úmida	78,0682	0,3558	0,4743	0,2153	Não Significante	0,0639	0,5013	0,6897
2007	Nevoeiro	131,0015	0,0033	19,6779	0,0534	Não Significante	0,2565	0,4219	0,7108
2007	Pancada de Chuva	170,3636	0,0005	78,6364	0,5146	Não Significante	-0,0520	0,4334	0,4665
2008	Chuva Forte	49,1000	0,0031	-11,1000	0,7289	Significante	-0,0862	0,1115	0,5171
2008	Chuva Leve	0,1454	0,9945	0,8791	0,0294	Não Significante	0,3313	0,0999	0,3624
2008	Chuva Moderada	47,8349	0,0291	-0,1376	0,9691	Significante	-0,0998	0,0705	0,5127
2008	Névoa Seca	100,7008	0,0214	-0,5612	0,1621	Significante	0,1041	0,3745	0,2510
2008	Névoa Úmida	39,3092	0,7130	0,0251	0,9402	Significante	-0,0993	0,0568	0,2445
2008	Nevoeiro	44,9677	0,0110	0,9444	0,7956	Não Significante	-0,0923	0,0682	0,8045
2008	Pancada de Chuva	47,3636	0,0030	-0,6818	0,9749	Significante	-0,0999	0,0650	0,5453
2009	Chuva Forte	34,1525	0,0107	19,8814	0,1457	Não Significante	0,1192	0,1124	0,2144
2009	Chuva Leve	16,8418	0,3316	0,6002	0,0764	Não Significante	0,2089	0,6131	0,1267
2009	Chuva Moderada	50,5718	0,0026	-1,0332	0,6069	Significante	-0,0698	0,1208	0,9619

2009	Névoa Seca	100,0264	0,0068	-0,7189	0,0854	Significante	0,1937	0,5950	0,0090
2009	Névoa Úmida	11,7466	0,8069	0,1179	0,4765	Não Significante	-0,0429	0,5839	0,2949
2009	Nevoeiro	50,7989	0,0001	-12,1173	0,1196	Significante	0,1470	0,0396	0,4061
2009	Pancada de Chuva	47,8182	0,0004	-12,4091	0,4513	Significante	-0,0363	0,2161	0,4633
2010	Chuva Forte	57,7590	0,0078	-7,4217	0,7196	Significante	-0,0852	0,2215	0,1842
2010	Chuva Leve	49,5934	0,2178	0,1507	0,8858	Não Significante	-0,0976	0,0485	0,1199
2010	Chuva Moderada	63,1426	0,0099	-1,3561	0,5289	Significante	-0,0551	0,3022	0,0853
2010	Névoa Seca	105,9735	0,0053	-0,5285	0,0849	Significante	0,1946	0,1587	0,5175
2010	Névoa Úmida	125,9591	0,0259	-0,3675	0,1538	Significante	0,1116	0,3254	0,1746
2010	Nevoeiro	64,6302	0,0015	-13,2847	0,1305	Significante	0,1348	0,1043	0,2897
2010	Pancada de Chuva	55,9091	0,0058	-14,9091	0,7932	Significante	-0,0921	0,1156	0,4395
2011	Chuva Forte	58,2500	0,0330	-2,5000	0,9417	Significante	-0,0994	0,0113	0,2724
2011	Chuva Leve	72,2791	0,1391	-0,3708	0,7177	Significante	-0,0850	0,0352	0,9790
2011	Chuva Moderada	79,8782	0,0221	-5,6154	0,3300	Significante	0,0044	0,3345	0,1572
2011	Névoa Seca	78,5090	0,1937	-0,2429	0,6960	Significante	-0,0825	0,0117	0,4675
2011	Névoa Úmida	138,5993	0,0517	-0,3906	0,2042	Significante	0,0713	0,1469	0,3007
2011	Nevoeiro	81,0451	0,0077	-7,4616	0,1609	Significante	0,1052	0,3034	0,1713
2012	Chuva Forte	37,7115	0,0046	1,6346	0,8998	Não Significante	-0,1090	0,4115	0,1338
2012	Chuva Leve	25,5586	0,0830	0,4019	0,2557	Não Significante	0,0452	0,5386	0,3291
2012	Chuva Moderada	36,9154	0,0123	0,4129	0,8596	Não Significante	-0,1070	0,4546	0,0737
2012	Névoa Seca	62,5426	0,0365	-0,2868	0,3462	Significante	-0,0012	0,3413	0,5743
2012	Névoa Úmida	21,8807	0,3652	0,0969	0,4605	Não Significante	-0,0423	0,4816	0,3517
2012	Nevoeiro	30,9661	0,0127	4,1186	0,2684	Não Significante	0,0377	0,4414	0,1804
2013	Chuva Forte	27,1446	0,0172	27,2530	0,0325	Não Significante	0,3189	0,6508	0,0504
2013	Chuva Leve	45,2681	0,0428	-0,1654	0,6892	Significante	-0,0817	0,2673	0,1531
2013	Chuva Moderada	37,6682	0,0875	0,1883	0,9615	Não Significante	-0,0997	0,0903	0,5798
2013	Névoa Seca	29,8731	0,3891	0,1033	0,7894	Não Significante	-0,0918	0,0693	0,8874
2013	Névoa Úmida	16,4310	0,7561	0,1250	0,6707	Não Significante	-0,0793	0,0128	0,0793
2013	Nevoeiro	42,0000	0,0074	-3,0000	0,6226	Significante	-0,0724	0,2437	0,2602
2013	Pancada de Chuva	37,3000	0,0091	7,2000	0,8047	Não Significante	-0,0930	0,0727	0,3878
2013	Visibilidade	19,6135	0,2662	0,0644	0,1932	Não Significante	0,0792	0,4110	0,2910
2013	Vento	-181,8052	0,0100	10,2468	0,0031	Não Significante	0,5593	0,2390	0,2964
2013	Temperatura	-90,3756	0,3529	6,4816	0,1927	Não Significante	0,0796	0,3783	0,3302
2013	Precipitação	8,2497	0,5292	0,2283	0,0132	Não Significante	0,4225	0,1438	0,5468
2015	Chuva Forte	48,5039	0,0037	0,5504	0,9401	Não Significante	-0,0993	0,1496	0,2930
2015	Chuva Leve	47,4590	0,0492	0,0490	0,9360	Significante	-0,0993	0,1362	0,1010
2015	Chuva Moderada	50,8526	0,0081	-0,6113	0,8516	Significante	-0,0960	0,2127	0,0682

2015	Névoa Seca	42,5644	0,1216	0,0772	0,7815	Não Significante	-0,0911	0,3290	0,1203
2015	Névoa Úmida	52,3715	0,0573	-0,0169	0,8750	Significante	-0,0971	0,1550	0,1827
2015	Nevoeiro	53,0173	0,0018	-1,5873	0,4581	Significante	-0,0382	0,4558	0,2108
2016	Chuva Forte	40,2179	0,0329	0,7989	0,9406	Não Significante	-0,0994	0,0426	0,6945
2016	Chuva Leve	37,8306	0,0895	0,0830	0,8468	Não Significante	-0,0957	0,0281	0,3435
2016	Chuva Moderada	46,2750	0,0200	-1,4159	0,6774	Significante	-0,0802	0,1343	0,1622
2016	Névoa Seca	116,2298	0,0033	-0,6660	0,0266	Significante	0,3432	0,2958	0,5555
2016	Névoa Úmida	13,5864	0,7854	0,1376	0,5732	Não Significante	-0,0639	0,0398	0,7673
2016	Nevoeiro	44,0314	0,0050	-2,2111	0,5344	Significante	-0,0563	0,1159	0,2963

Tabela 53 — Regressão Aeroporto de Congonhas – Geral

Variável	Beta 0	p-valor (Beta 0)	Beta 1	p-valor (Beta 1)	Resultado	R2	p-valor (shapiro)	p-valor (bp.test)
Chuva Forte	48,2453	0,0000	11,4982	0,0226	Significante	0,0327	0,0000	0,0006
Chuva Leve	55,9109	0,0000	-0,0116	0,9596	Não Significante	-0,0079	0,0000	0,2876
Chuva Moderada	62,7013	0,0000	-1,7882	0,1858	Não Significante	0,0060	0,0000	0,2415
Névoa Seca	66,3912	0,0000	-0,1197	0,4213	Não Significante	-0,0027	0,0000	0,1263
Névoa Úmida	51,8231	0,0012	0,0173	0,8033	Não Significante	-0,0074	0,0000	0,7538
Nevoeiro	54,6184	0,0000	0,4812	0,7900	Não Significante	-0,0073	0,0000	0,1148
Pancada de Chuva	55,1983	0,0000	2,8678	0,8531	Não Significante	-0,0076	0,0000	0,9749
Visibilidade	63,5534	0,0000	-0,0449	0,0468	Significante	0,0231	0,0000	0,0537
Vento	94,9079	0,0000	-2,2219	0,0002	Significante	0,0978	0,0000	0,0009
Temperatura	100,4348	0,0000	-2,7200	0,0000	Significante	0,1183	0,0000	0,0003
Precipitação	47,3431	0,0000	0,0805	0,1294	Não Significante	0,0103	0,0000	0,0960

ANEXO 3

CÓDIGOS METAR

Tabela 54 — Metar SBRJ 20 01 2016

SBRJ	METAR	20/01/2016 09:00	METAR SBRJ 200900Z 24004KT 5000 -DZ BR SCT008 BKN010 OVC040 22/21 Q1011=
SBRJ	SPECI	20/01/2016 09:00	SPECI SBRJ 200910Z 33004KT 5000 -DZ BR BKN008 BKN010 OVC040 22/21 Q1011=
SBRJ	SPECI	20/01/2016 09:00	SPECI SBRJ 200945Z 33004KT 3500 -DZ BR BKN006 BKN010 OVC040 22/21 Q1012=
SBRJ	METAR	20/01/2016 10:00	METAR SBRJ 201000Z 33005KT 3500 -DZ BR BKN006 BKN010 OVC040 22/21 Q1012=
SBRJ	METAR	20/01/2016 11:00	METAR SBRJ 201100Z 34004KT 3000 -DZ BR BKN006 BKN010 OVC040 22/21 Q1012=
SBRJ	METAR	20/01/2016 12:00	METAR SBRJ 201200Z 34006KT 4000 -DZ BR BKN006 BKN010 OVC040 24/23 Q1012=
SBRJ	SPECI	20/01/2016 12:00	SPECI SBRJ 201220Z 33006KT 5000 -DZ BR SCT008 BKN010 OVC040 25/22 Q1012=
SBRJ	METAR	20/01/2016 13:00	METAR SBRJ 201300Z 35003KT 5000 BR SCT008 BKN010 OVC040 24/21 Q1012 REDZ=
SBRJ	METAR	20/01/2016 14:00	METAR SBRJ 201400Z 10003KT 3000 -DZ BR BKN006 BKN010 OVC040 24/22 Q1012=
SBRJ	METAR	20/01/2016 15:00	METAR SBRJ 201500Z 04002KT 1200 -DZ BR BKN004 BKN010 OVC030 23/23 Q1012=
SBRJ	METAR	20/01/2016 16:00	METAR SBRJ 201600Z 13002KT 1200 -RADZ BR BKN004 BKN010 OVC030 24/23 Q1011=
SBRJ	METAR	20/01/2016 17:00	METAR SBRJ 201700Z 09002KT 1000 +DZ SCT001 BKN004 OVC015 24/23 Q1011=
SBRJ	METAR	20/01/2016 18:00	METAR SBRJ 201800Z 35002KT 1400 +DZ BR SCT001 BKN005 OVC015 23/23 Q1010=
SBRJ	SPECI	20/01/2016 18:00	SPECI SBRJ 201815Z 04002KT 4000 BR SCT001 BKN004 OVC015 24/23 Q1010=
SBRJ	METAR	20/01/2016 19:00	METAR SBRJ 201900Z 03002KT 4000 DZ BR FEW001 BKN004 BKN015 24/23 Q1010 REDZ=

SBRJ	SPECI	20/01/2016 19:00	SPECI SBRJ 201910Z 06002KT 4500 BR SCT004 BKN010 BKN020 24/23 Q1010=
SBRJ	METAR	20/01/2016 20:00	METAR SBRJ 202000Z 36005KT 4500 BR SCT004 BKN010 BKN020 24/23 Q1010=
SBRJ	METAR	20/01/2016 21:00	METAR SBRJ 202100Z 32003KT 5000 -DZ BR FEW007 BKN010 BKN020 24/23 Q1010=
SBRJ	METAR	20/01/2016 22:00	METAR SBRJ 202200Z 29003KT 5000 -DZ BR FEW007 BKN010 OVC020 24/22 Q1011=
SBRJ	SPECI	20/01/2016 22:00	SPECI SBRJ 202230Z 00000KT 3500 RA BR BKN007 OVC020 24/23 Q1011=
SBRJ	METAR	20/01/2016 23:00	METAR SBRJ 202300Z 33002KT 4500 -DZ FEW004 BKN007 OVC020 23/23 Q1011 RERA=
SBRJ	SPECI	20/01/2016 23:00	SPECI SBRJ 202315Z 34001KT 6000 -DZ FEW004 BKN010 OVC020 23/23 Q1011=

Tabela 55 — Metar SBRJ 29 02 2016

SBRJ	METAR	29/02/2016 18:00	METAR SBRJ 291800Z 18010KT 4500 -RA BR SCT004 BKN007 OVC050 25/25 Q1013=
SBRJ	SPECI	29/02/2016 18:00	SPECI SBRJ 291850Z 20007KT 3000 RA BR BKN005 OVC030 25/24 Q1014=
SBRJ	METAR	29/02/2016 19:00	METAR SBRJ 291900Z 23017KT 1000 +RA BR BKN003 OVC020 25/24 Q1014=
SBRJ	SPECI	29/02/2016 19:00	SPECI SBRJ 291910Z 21018G28KT 1000 +RA BR BKN003 OVC020 24/23 Q1014=
SBRJ	METAR	29/02/2016 20:00	METAR SBRJ 292000Z 20018G29KT 1000 RA BR BKN003 OVC015 23/22 Q1015 RERA=
SBRJ	SPECI	29/02/2016 20:00	SPECI SBRJ 292010Z 20024KT 3000 RA BR BKN005 OVC015 23/22 Q1015=
SBRJ	METAR	29/02/2016 21:00	METAR SBRJ 292100Z 21013KT 3500 -RA BR BKN005 OVC015 23/22 Q1016 RERA=
SBRJ	SPECI	29/02/2016 21:00	SPECI SBRJ 292130Z 22011KT 4500 -RA BR BKN007 OVC015 23/22 Q1016=
SBRJ	METAR	29/02/2016 22:00	METAR SBRJ 292200Z 22012KT 4500 -RA BR BKN007 OVC015 23/22 Q1017=

SBRJ	METAR	29/02/2016 23:00	METAR SBRJ 292300Z 27004KT 5000 -RA BR BKN007 OVC015 22/21 Q1018=
SBRJ	METAR	01/03/2016 00:00	METAR SBRJ 010000Z 35003KT 5000 -RA BR FEW007 BKN012 OVC050 22/21 Q1019=
SBRJ	SPECI	01/03/2016 00:00	SPECI SBRJ 010030Z 01004KT 8000 BKN015 OVC050 22/21 Q1019=
SBRJ	METAR	01/03/2016 01:00	METAR SBRJ 010100Z 34005KT 8000 FEW007 BKN015 OVC050 22/21 Q1019=
SBRJ	METAR	01/03/2016 02:00	METAR SBRJ 010200Z 32007KT 9999 FEW007 BKN015 OVC050 22/21 Q0119=

Tabela 56 — Metar SBGL 20 02 16

SBGL	METAR	20/02/2016 21:00	METAR SBGL 202100Z 35010KT 9999 TS VCSH FEW008 FEW025CB BKN040 27/22 Q1010=
SBGL	SPECI	20/02/2016 21:00	SPECI SBGL 202112Z 06020G30KT 8000 -TSRA FEW008 FEW025CB BKN040 26/23 Q1011=
SBGL	SPECI	20/02/2016 21:00	SPECI SBGL 202125Z 07025G35KT 4000 -TSRA SCT010 FEW025CB BKN040 24/22 Q1011=
SBGL	SPECI	20/02/2016 21:00	SPECI SBGL 202142Z 06015KT 7000 -TSRA SCT010 FEW025CB BKN040 24/22 Q1012=
SBGL	METAR	20/02/2016 22:00	METAR SBGL 202200Z 22005KT 9000 TS VCSH FEW010 FEW025CB BKN040 24/22 Q1012=
SBGL	METAR	20/02/2016 23:00	METAR SBGL 202300Z 28005KT 9999 TS FEW010 FEW025CB BKN100 25/23 Q1012=
SBGL	METAR	21/02/2016 00:00	METAR SBGL 210000Z 02003KT 9999 -RA FEW030 BKN100 24/22 Q1012 RETS=
SBGL	METAR	21/02/2016 01:00	METAR SBGL 210100Z 01007KT 9999 FEW010 BKN100 24/22 Q1012=

Tabela 57 — Metar SBSP 09 03 16

SBSP	METAR	09/03/2016 16:00	METAR SBSP 091600Z 35008KT 240V030 9999 SCT040 29/18 Q1016=
SBSP	METAR	09/03/2016 17:00	METAR SBSP 091700Z 35005KT 9999 SCT043 FEW050TCU 30/18 Q1015=
SBSP	METAR	09/03/2016 18:00	METAR SBSP 091800Z VRB07KT 9999 BKN043 FEW050TCU 30/17 Q1015=
SBSP	METAR	09/03/2016 19:00	METAR SBSP 091900Z 35006KT 280V010 9999 FEW027 SCT047 FEW050TCU 30/17 Q1015=
SBSP	METAR	09/03/2016 20:00	METAR SBSP 092000Z 17012KT 9000 VCTS SCT033 SCT040 FEW050CB BKN083 27/21 Q1015=
SBSP	SPECI	09/03/2016 20:00	SPECI SBSP 092022Z 19013KT 5000 TS HZ SCT009 BKN011 FEW050CB 26/21 Q1015=
SBSP	SPECI	09/03/2016 20:00	SPECI SBSP 092041Z 11018G55KT 0200 R17/0275D R35/0800D +TSRA VV003 //////CB 20/18 Q1015=
SBSP	METAR	09/03/2016 21:00	METAR SBSP 092100Z 07011G22KT 040V140 2000 +TSRA VV008 //////CB 20/19 Q1016=
SBSP	SPECI	09/03/2016 21:00	SPECI SBSP 092130Z 32008KT 4500 TSRA VV020 //////CB 20/18 Q1016=
SBSP	METAR	09/03/2016 22:00	METAR SBSP 092200Z 17005KT 140V220 9999 -RA FEW030 21/19 Q1015 RETSRA=
SBSP	METAR	09/03/2016 23:00	METAR COR SBSP 092300Z VRB02KT CAVOK 22/20 Q1015=
SBSP	METAR	10/03/2016 00:00	METAR SBSP 100000Z 11004KT 8000 NSC 23/21 Q1015=
SBSP	METAR	10/03/2016 01:00	METAR SBSP 100100Z 36001KT 7000 NSC 23/21 Q1016=

Tabela 58 — Metar SBSP 04 05 2016

SBSP	METAR	04/05/2016 10:00	METAR SBSP 041000Z 19006KT 160V220 0100 R17/0225D R35/0225D FG VV003 14/13 Q1021=
SBSP	METAR	04/05/2016 11:00	METAR COR SBSP 041100Z 15004KT 0500 R35/0375U R17/0700U FG BKN002 14/13 Q1022=

SBSP	SPECI	04/05/2016 11:00	SPECI SBSP 041115Z 16004KT 1200 R35/0800U R17/1300U BR SCT001 15/13 Q1022=
SBSP	SPECI	04/05/2016 11:00	SPECI SBSP 041127Z 16004KT 2200 R35/1500U R17/P2000 BR SCT002 15/14 Q1022=
SBSP	SPECI	04/05/2016 11:00	SPECI SBSP 041142Z 14003KT 3000 BR SCT002 16/15 Q1022=
SBSP	METAR	04/05/2016 12:00	METAR SBSP 041200Z 13003KT 100V170 4500 BR FEW004 17/15 Q1022=
SBSP	SPECI	04/05/2016 12:00	SPECI SBSP 041220Z 13003KT 5000 HZ FEW008 18/14 Q1022=
SBSP	METAR	04/05/2016 13:00	METAR SBSP 041300Z 19005KT 6000 FEW010 19/14 Q1022=
SBSP	METAR	04/05/2016 14:00	METAR SBSP 041400Z 12003KT 9999 FEW030 21/13 Q1022=
SBSP	METAR	04/05/2016 15:00	METAR SBSP 041500Z 16006KT 9999 FEW035 22/11 Q1022=
SBSP	METAR	04/05/2016 16:00	METAR SBSP 041600Z 13003KT 9999 FEW035 23/13 Q1021=
SBSP	METAR	04/05/2016 17:00	METAR SBSP 041700Z 18005KT 9999 FEW040 24/12 Q1020=
SBSP	METAR	04/05/2016 18:00	METAR SBSP 041800Z 13011KT 9999 SCT031 SCT040 22/14 Q1020=
SBSP	METAR	04/05/2016 19:00	METAR SBSP 041900Z 17012KT 9999 FEW021 21/14 Q1020=
SBSP	METAR	04/05/2016 20:00	METAR SBSP 042000Z 16010KT 9999 FEW019 20/14 Q1021=
SBSP	SPECI	04/05/2016 20:00	SPECI SBSP 042046Z 15009KT 9999 FEW015 BKN017 18/14 Q1021=
SBSP	METAR	04/05/2016 21:00	METAR SBSP 042100Z 15011KT 9999 FEW015 BKN017 18/14 Q1021=
SBSP	METAR	04/05/2016 22:00	METAR SBSP 042200Z 15009KT 9999 SCT012 BKN015 BKN019 18/14 Q1021=

ANEXO 4

IMAGENS DE SATÉLITE E RADAR

Para fins de complementar as informações e ilustrar outros meios que são adotados na meteorologia aeronáutica, tem-se ainda a possiblidade do uso de imagens de satélites e de radar. Nesse sentido, a mesma sequência de imagens apresentadas nas figuras 55, 56 e 57 também será apresentada para os demais aeroportos, de modo a exemplificar. Para facilitar o entendimento, é necessário falar sobre o que cada imagem significa ou que tipo de informação pode ser extraída dela. Todas as imagens de satélite foram geradas no http://sigma.cptec.inpe.br/radar/#, por meio do satélite *Geostationary Operational Environmental Satellites* (Goes). O Goes, desde 1975, fornece imagens e dados contínuos sobre as condições atmosféricas e a atividade solar. Por ser um satélite com órbita geossíncrona (i.e., que acompanha a rotação da terra), ele registra a mesma posição de forma permanente (GOES, 2017).

A primeira imagem da sequência é uma imagem de Infravermelho onde a energia é detectada em termos de calor. A superfície terrestre absorve cerca de metade da energia solar recebida. Dessa forma, assim como ocorre para nuvens e a atmosfera, que também absorvem calor e radiação, parte dessa energia é irradiada na forma de calor. Assim, o canal infravermelho detecta essa radiação reemitida, e produtos de imagem são gerados (NOAA, 2015). Daí uma de suas vantagens ser a captação da energia à noite, disponibilizando imagens 24 horas por dia.

Nas imagens infravermelho, o padrão é invertido, a maior radiância medida apresenta pixel mais escuro. Nuvens baixas são mais quentes e aparecem mais escuras nas imagens. Já as nuvens altas são mais frias e mais brilhantes. CB e cirrus têm aparência branca e brilhante. Regiões com temperaturas menores aparecem mais brancas, enquanto as quentes são mais escuras. Em geral, quanto mais alta a nuvem, mais frio será seu topo. Assim, nuvens baixas são mais quentes e aparecem mais escuras, enquanto nuvens altas são mais frias e brilhantes (YAMASOE, 2012).

Já a segunda imagem da sequência se refere a uma imagem visual, que reflete a radiação solar. As nuvens, a atmosfera terrestre e a superfície terrestre absorvem e refletem a radiação solar recebida. As nuvens geralmente aparecem brancas, enquanto as superfícies terrestres e aquáticas aparecem em tons de cinza ou preto (NOAA, 2015).

Segundo NOAA (2015), uma das principais vantagens da imagem visível é ela ter uma resolução maior (cerca de 0,6 milhas) do que as imagens IR (cerca de 2,5 milhas), permitindo melhor distinção de características menores, a exemplo de tipos de nuvens. Por outro lado, por dependerem da radiação solar, não podem ser geradas no período noturno, o que é uma limitação. É a partir da refletância de nuvens que se pode inferir sua profundidade e composição (se água ou gelo) (YAMASOE, 2012).

Nesse tipo de imagem, as nuvens que aparecem mais brilhantes são mais altas, possuem maior conteúdo de água ou gelo e têm gotículas menores. As que possuem coloração cinza são rasas, com menor conteúdo de água ou gelo e com gotas maiores. As CBs são de mais fácil observação, enquanto as cirrus não são facilmente observáveis. Nuvens com topos irregulares em geral exibem sombras (cumuliformes). Nuvens em camadas com topo plano apresentam textura lisa (estratiformes). Nuvens varridas pelo vento apresentam textura fibrosa (Cirrus) (YAMASOE, 2012).

A terceira imagem é uma imagem de radar da localidade correspondente. No caso de São Paulo, Radar São Roque, e, no caso o Rio de Janeiro, Radar Pico do Couto. Esses radares

pertencem ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e estão subordinados ao Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo. Sua finalidade é monitorar continuamente as áreas de tempo severo, principalmente nas Regiões de Informação de Voo (FIR), gerando produtos, em tempo real, para auxiliar na confecção de alertas para as aeronaves em rota e nas proximidades ou sobre os aeródromos (BRASIL, 2017a MCA 105-13).

Os radares exploram a atmosfera por meio de varreduras com o objetivo de extrair informações e construir representações tridimensionais (3D) e gerar produtos 2D para utilização. Esses produtos são variados e, no caso do aqui adotado, trata-se de um *Maximum Constant Altitude Plan Position Indicator* (MAXCAPPI). Ele fornece as projeções cartesianas nas direções verticais, norte-sul e leste-oeste, dos valores máximos de refletividade, taxa de precipitação, velocidade radial média ou largura espectral, observados durante uma varredura volumétrica (REDEMET, 2016). As imagens de radar costumam ser representadas por cores, que normalmente variam de azul ou verde para o retorno fraco, ao vermelho ou magenta para o retorno muito forte. Como demostrando na própria legenda das figuras 55, 56 e 57, de acordo com variação da refletividade (sendo maior em direção às cores vermelha e bordô), maior ou menor potencial de intensidade de chuva.

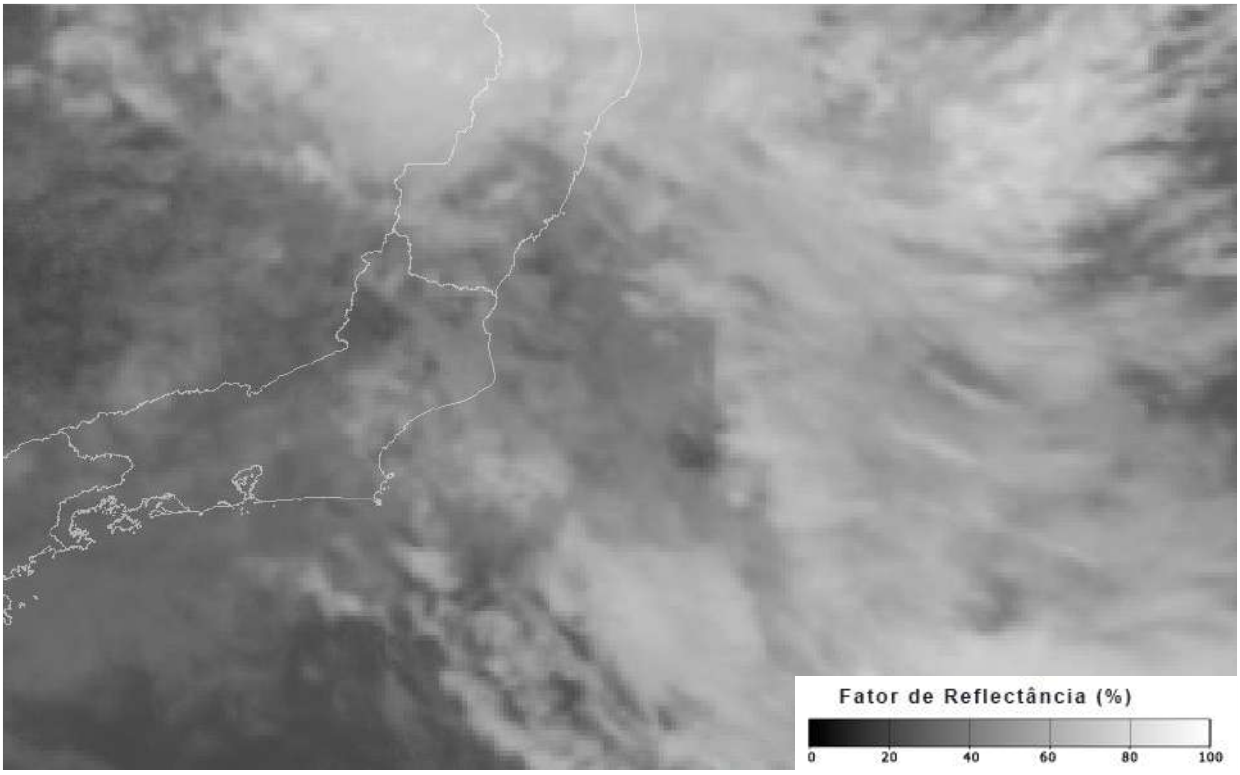


Figura 55 — Imagem GOES SBRJ 20/01/2016 Infra 4 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

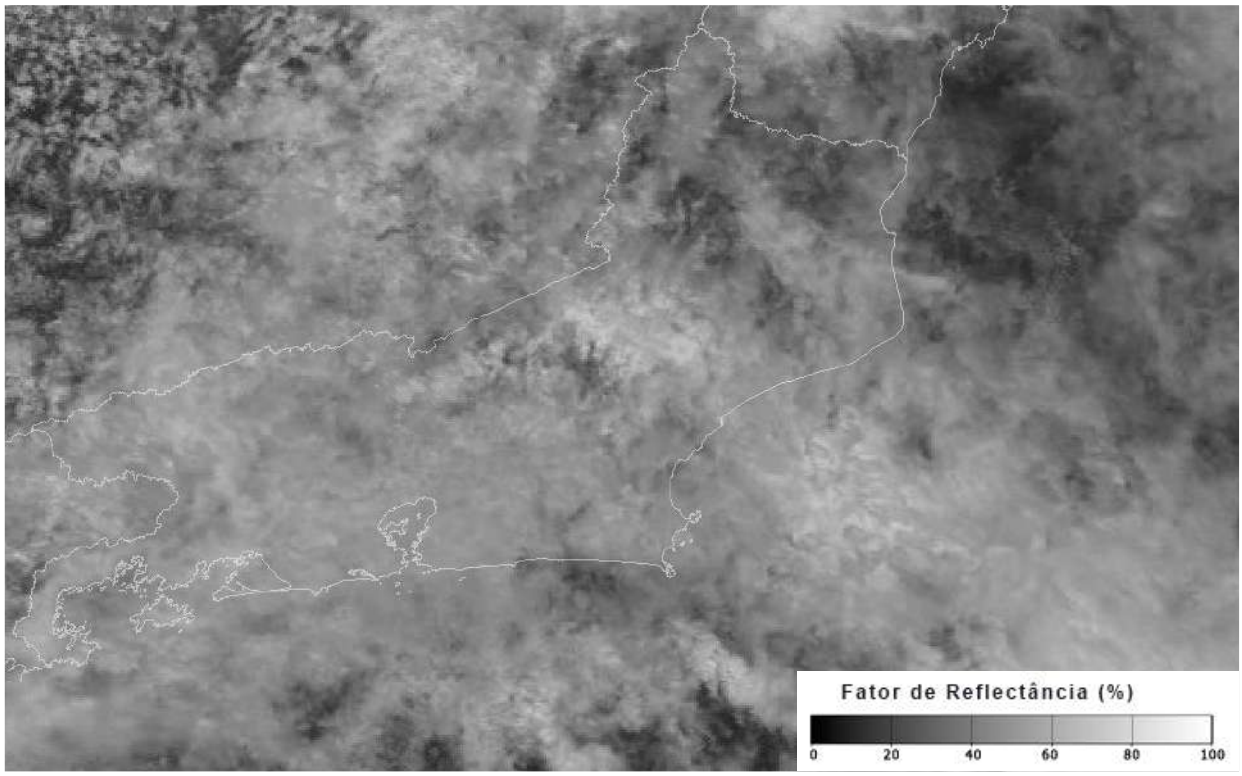


Figura 56 — Imagem GOES SBRJ 20/01/2016 visível 1 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

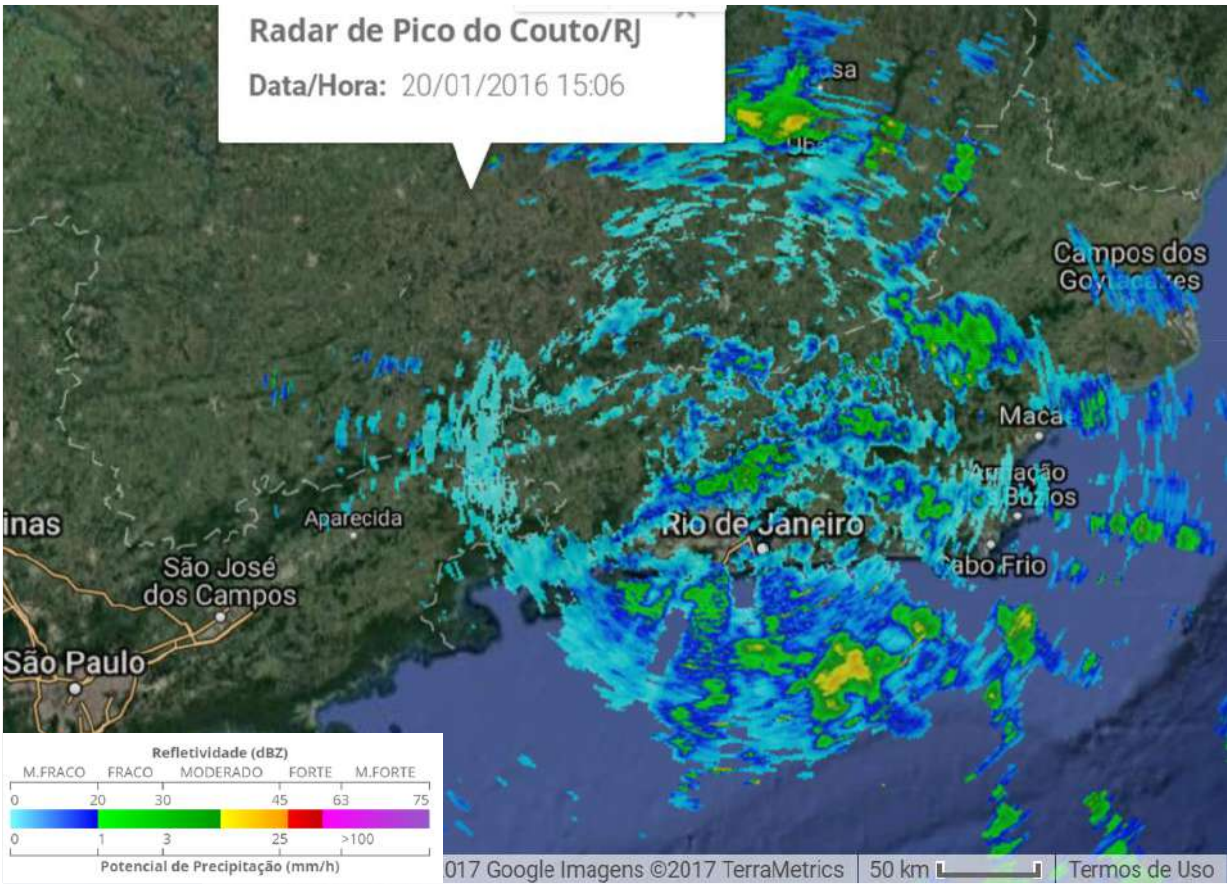


Figura 57 — Imagem Radar Pico do Couto-RJ 20/01/2016 MAXCAPPI
Fonte: www.redemet.aer.mil.br/

A sequência de imagens representadas pelas figuras 55, 56 e 57 demonstra, respectivamente, a ocorrência de cobertura por nuvens estratiformes e cúmulos, provavelmente. As primeiras causam chuviscos, e a segunda, típicas de verão, ocasionam chuvas leves a moderadas. As imagens de radar demonstram potencial de precipitação fraca.

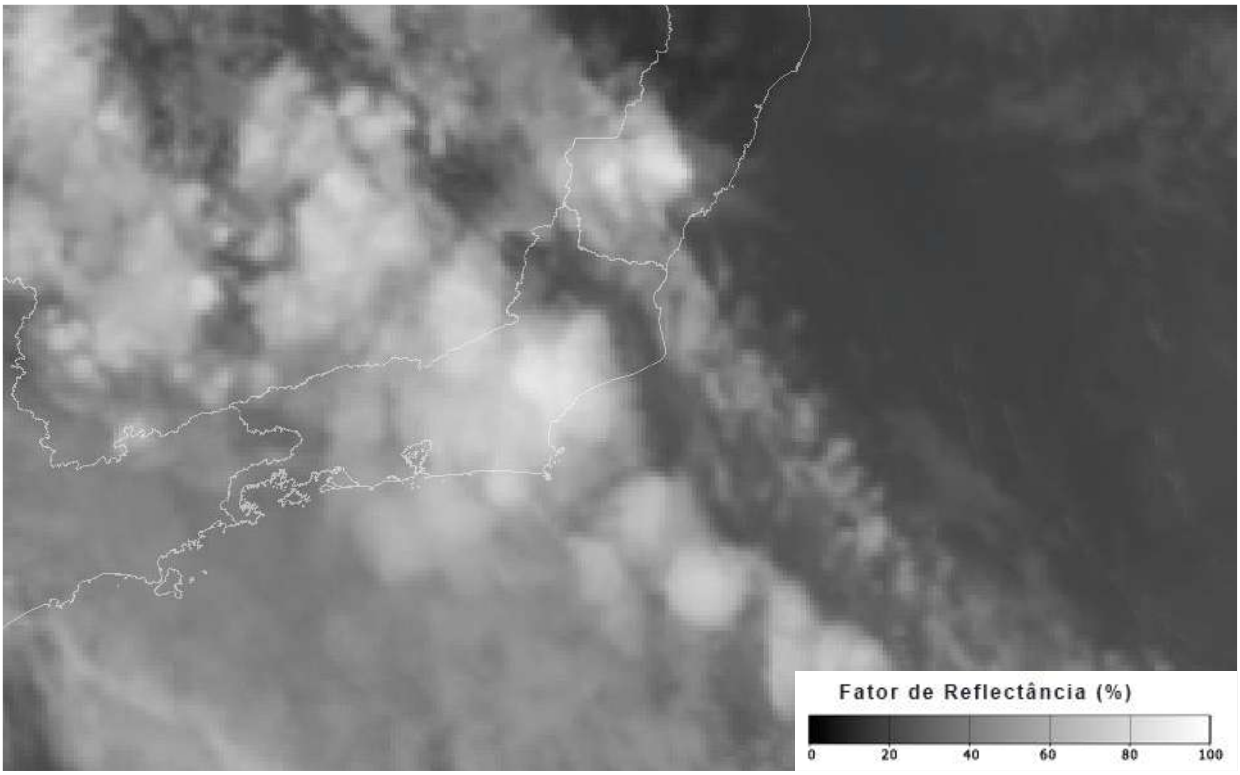


Figura 58 — Imagem GOES SBRJ 29/01/2016 Infra 4 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 out. de 2017)

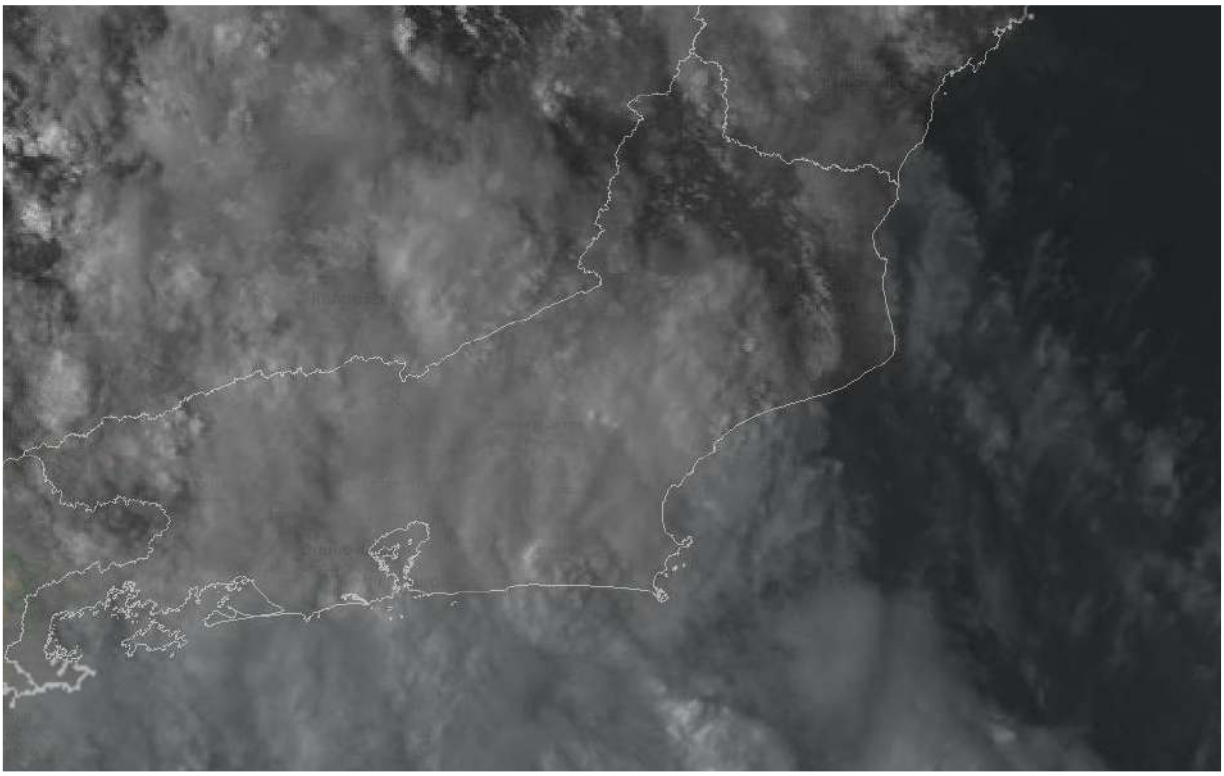


Figura 59 — Imagem GOES SBRJ 29/01/2016 visível 1 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

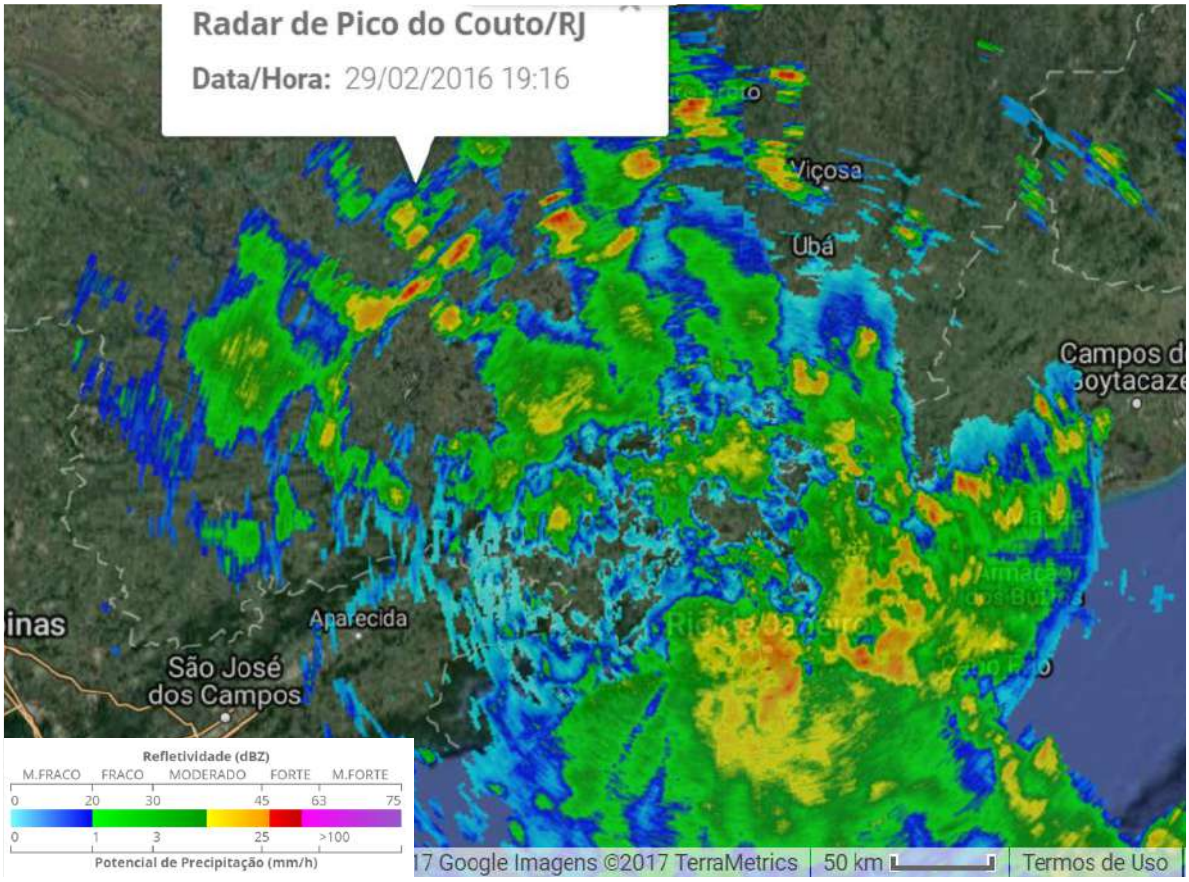


Figura 60 — Imagem Radar Pico do Couto-RJ 29.02.2016 MAXCAPPI
Fonte: www.redemet.aer.mil.br/

A sequência de imagens representadas pelas figuras 58, 59 e 60 demonstra aparentemente a ocorrência nuvens cumulonimbus, que, no geral, são acompanhadas de chuvas e ventos fortes. A imagem de radar demonstra a ocorrência de núcleos de precipitação com potencial moderado tendendo a forte em regiões mais concentradas.

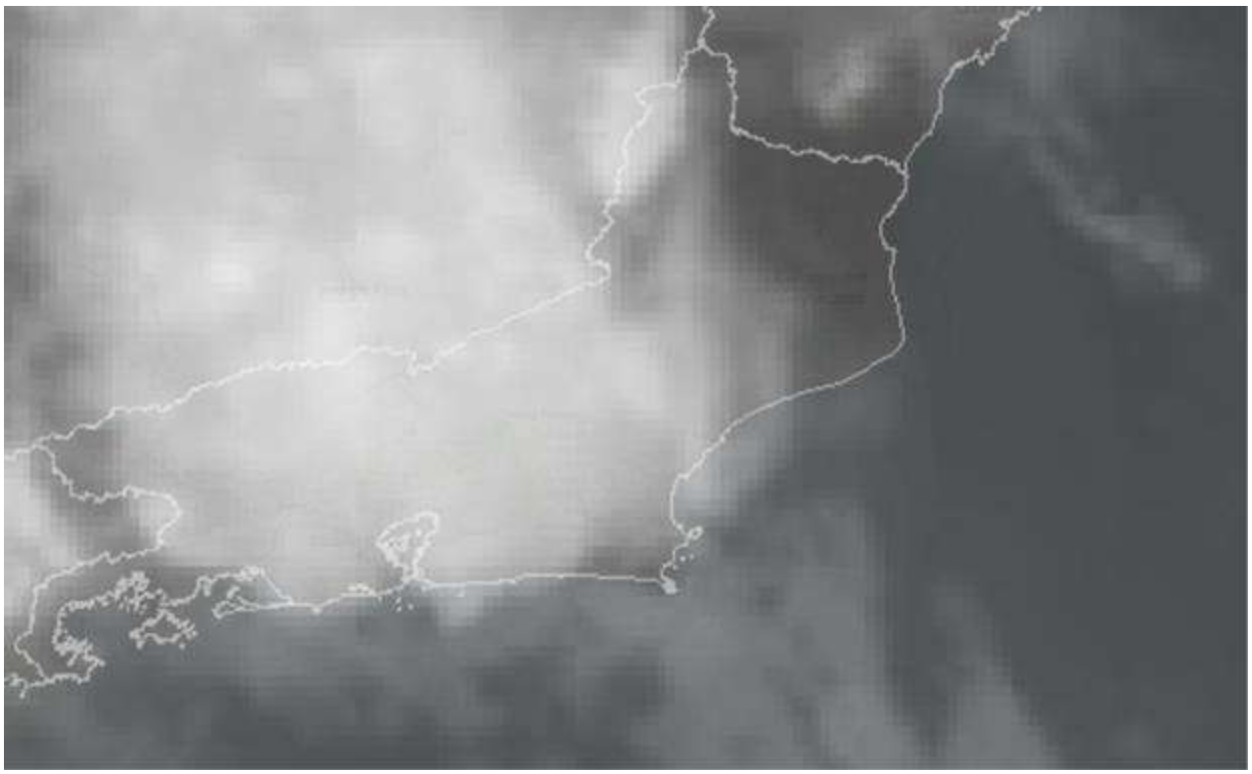


Figura 61 — Imagem GOES SBGL 20/02/2016 Infra 4 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

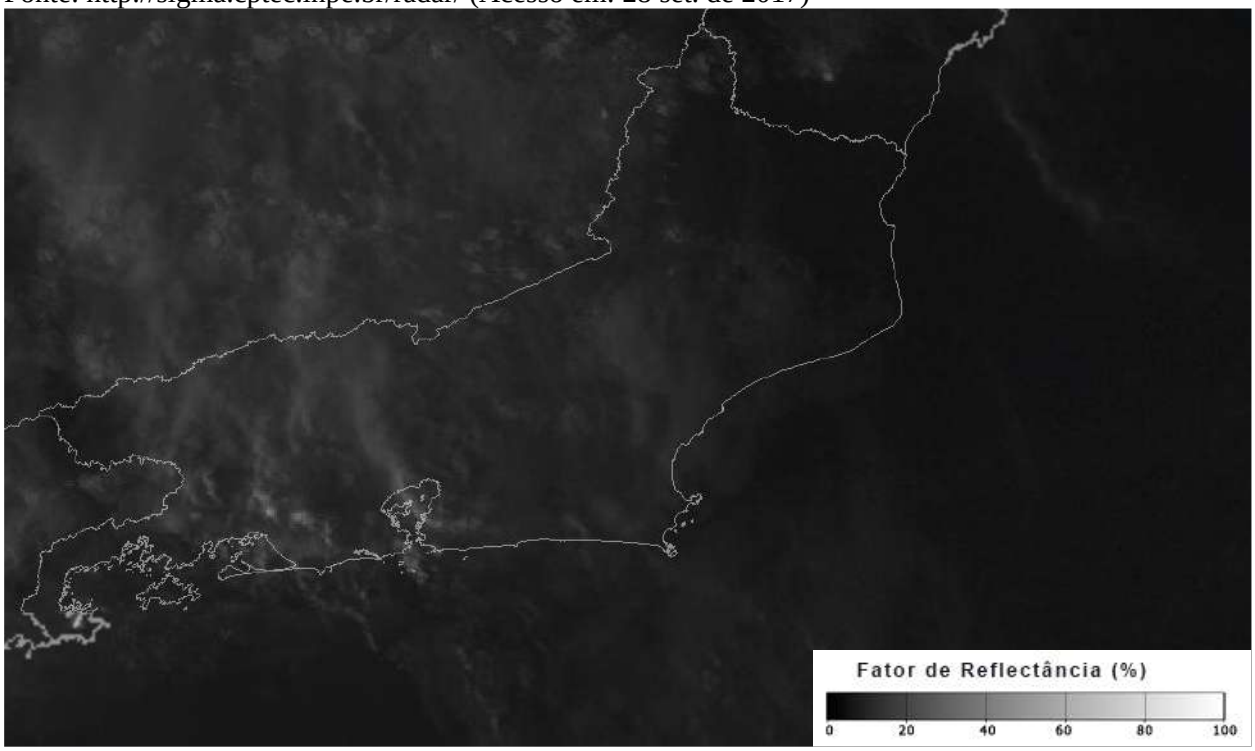


Figura 62 — Imagem GOES SBGL 20/02/2016 visível 1 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

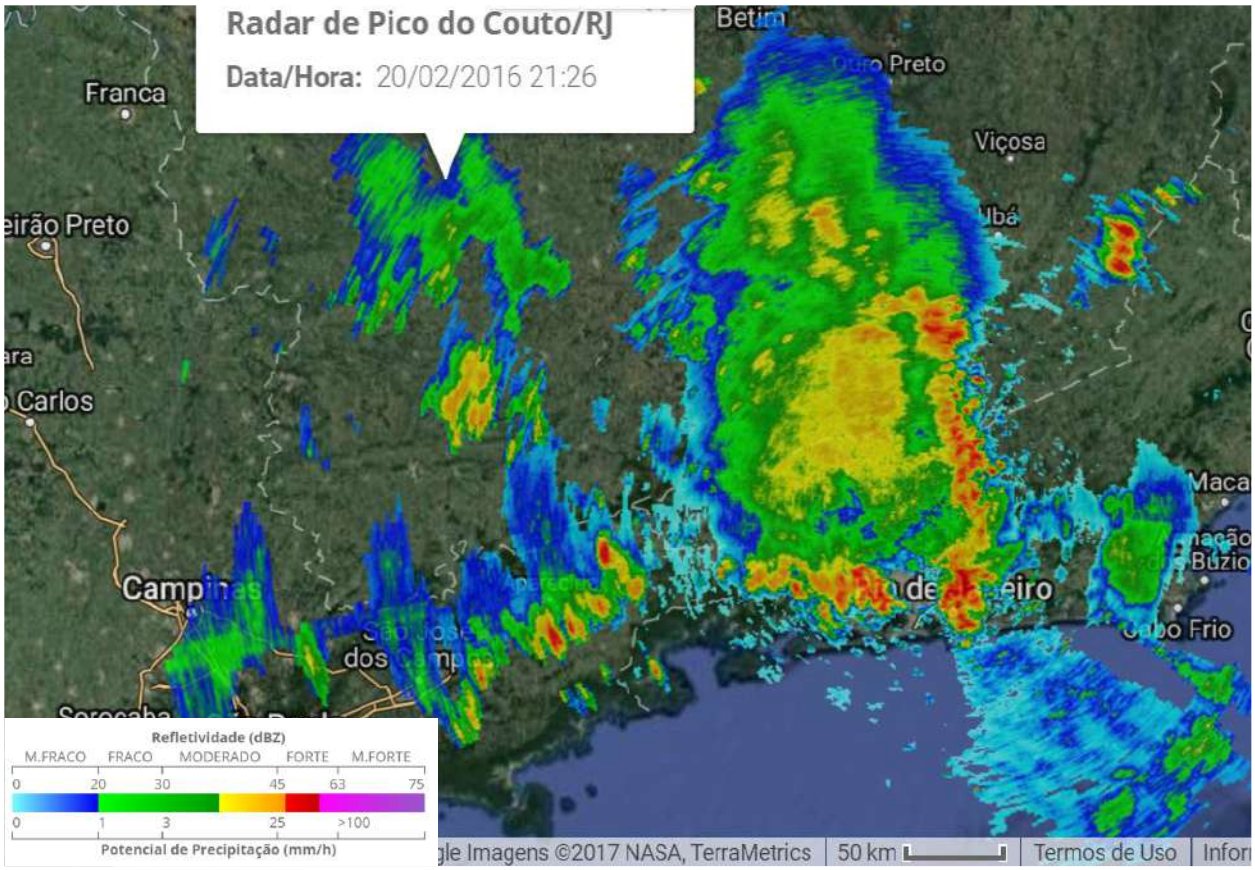


Figura 63 — Imagem Radar Pico do Couto-RJ 20/02/2016 MAXCAPPI
Fonte: www.redemet.aer.mil.br/

A sequência de imagens representadas pelas figuras 61, 62 e 63 demonstra aparentemente a ocorrência nuvens cúmulos, que, no geral, são acompanhadas por pancadas de chuva. A imagem de radar demonstra a ocorrência de núcleos de precipitação com potencial moderado e regiões mais concentradas apresentando forte intensidade.

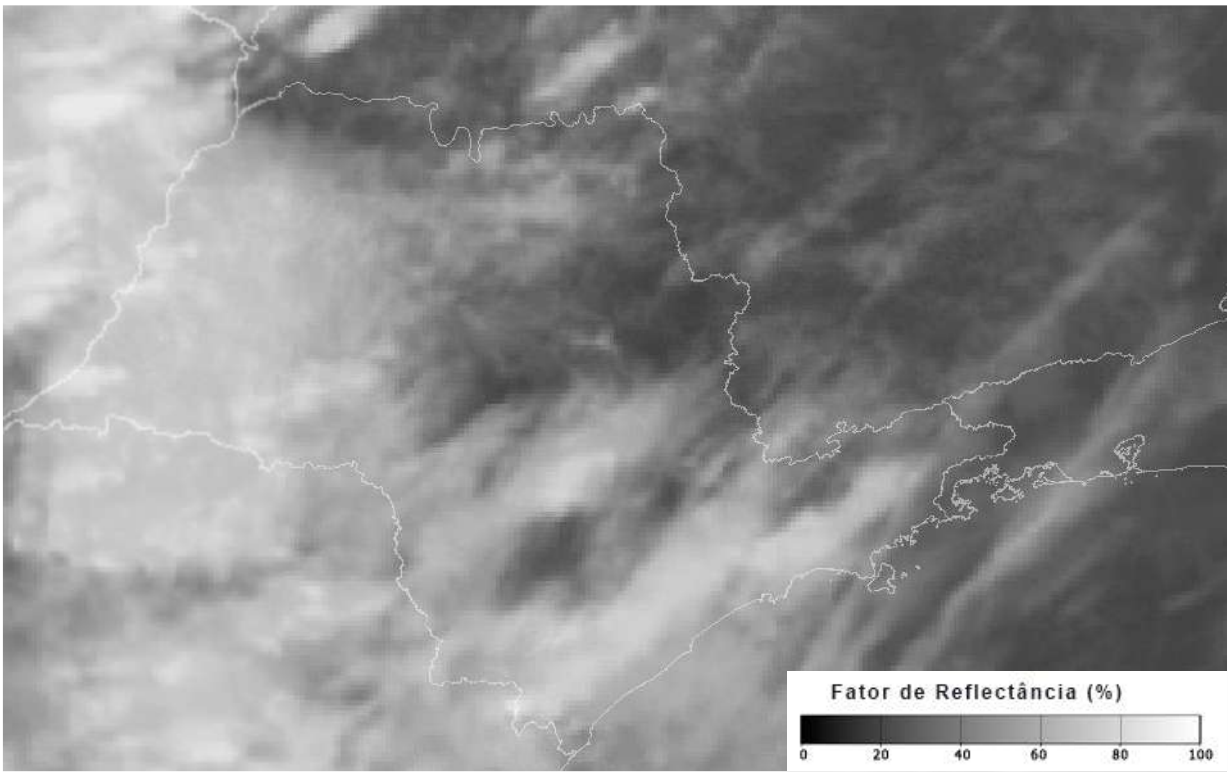


Figura 64 — Imagem GOES SBSP 09/03/2016 Infra 4 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

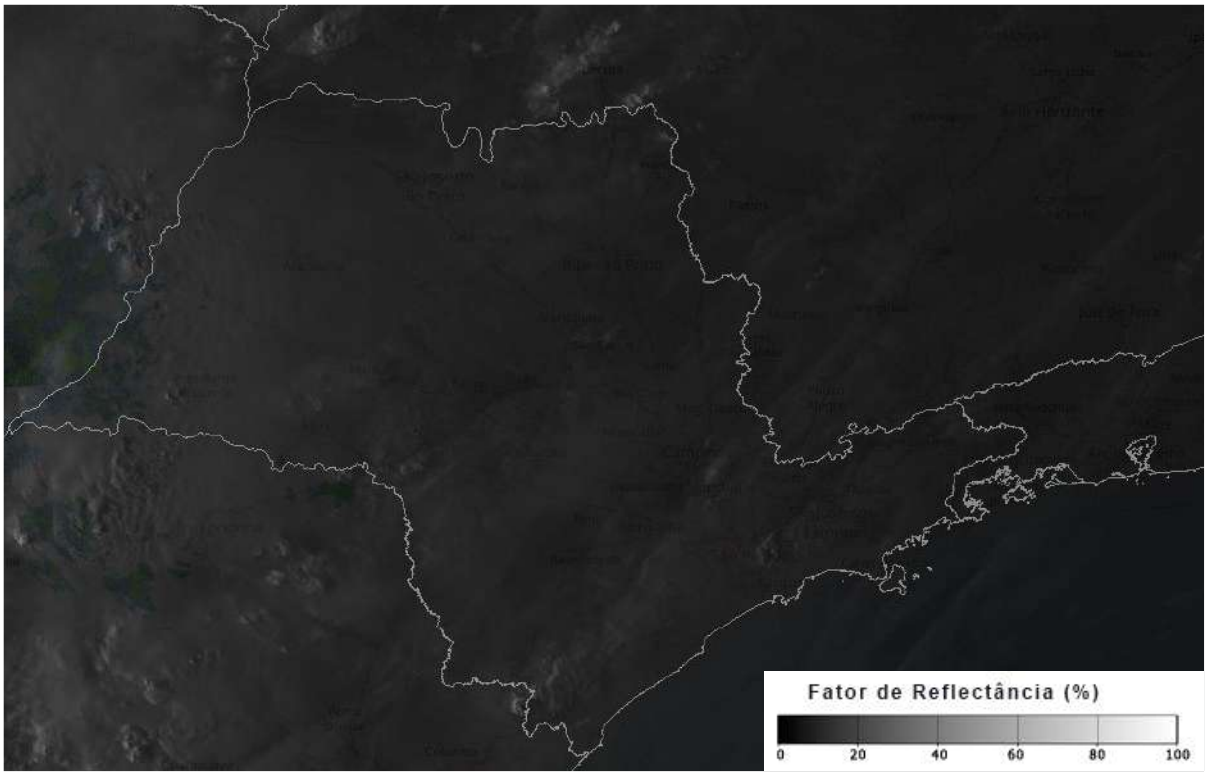


Figura 65 — Imagem GOES SBSP 09/03/2016 visível 1 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

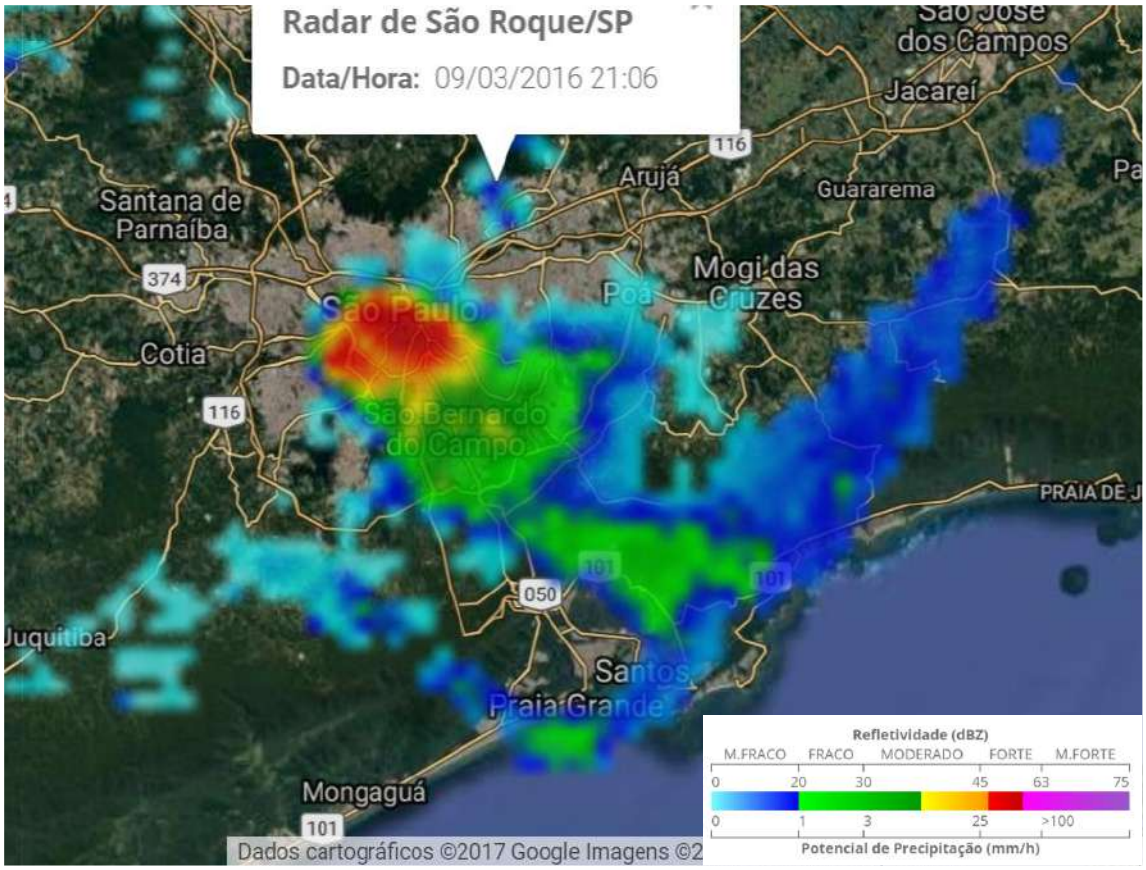


Figura 66 — Imagem Radar São Roque SP 09/03/2016 MAXCAPPI
Fonte: www.redemet.aer.mil.br/

A sequência de imagens representadas pelas figuras 64, 65 e 66 demonstra a ocorrência nuvens Cirrus, que são brancas, possuem formas fibrosas e podem estar associadas à presença de chuviscos. A imagem de radar demonstra a ocorrência de núcleos de precipitação com potencial forte aparentemente na região em que o Aeroporto de Congonhas está localizado.

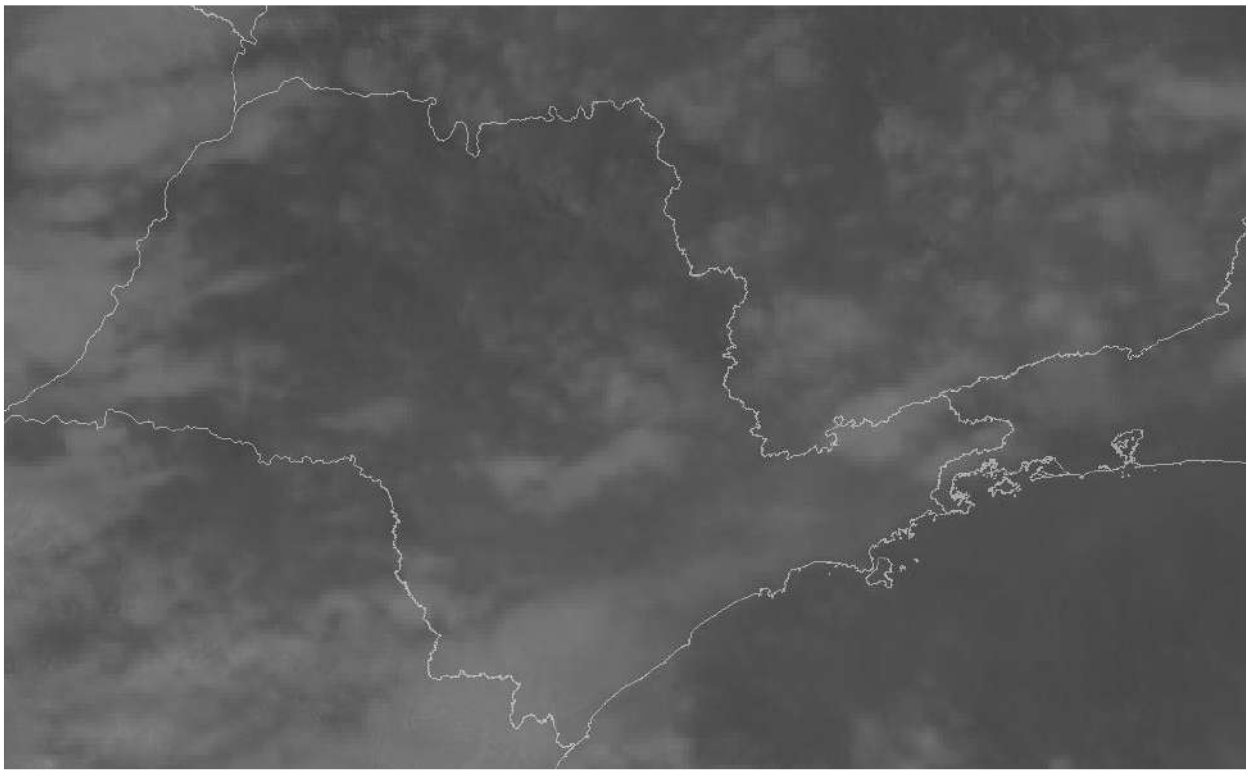


Figura 67 — Imagem GOES SBSP 04/05/2016 Infra 4 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso em: 28 set. de 2017)

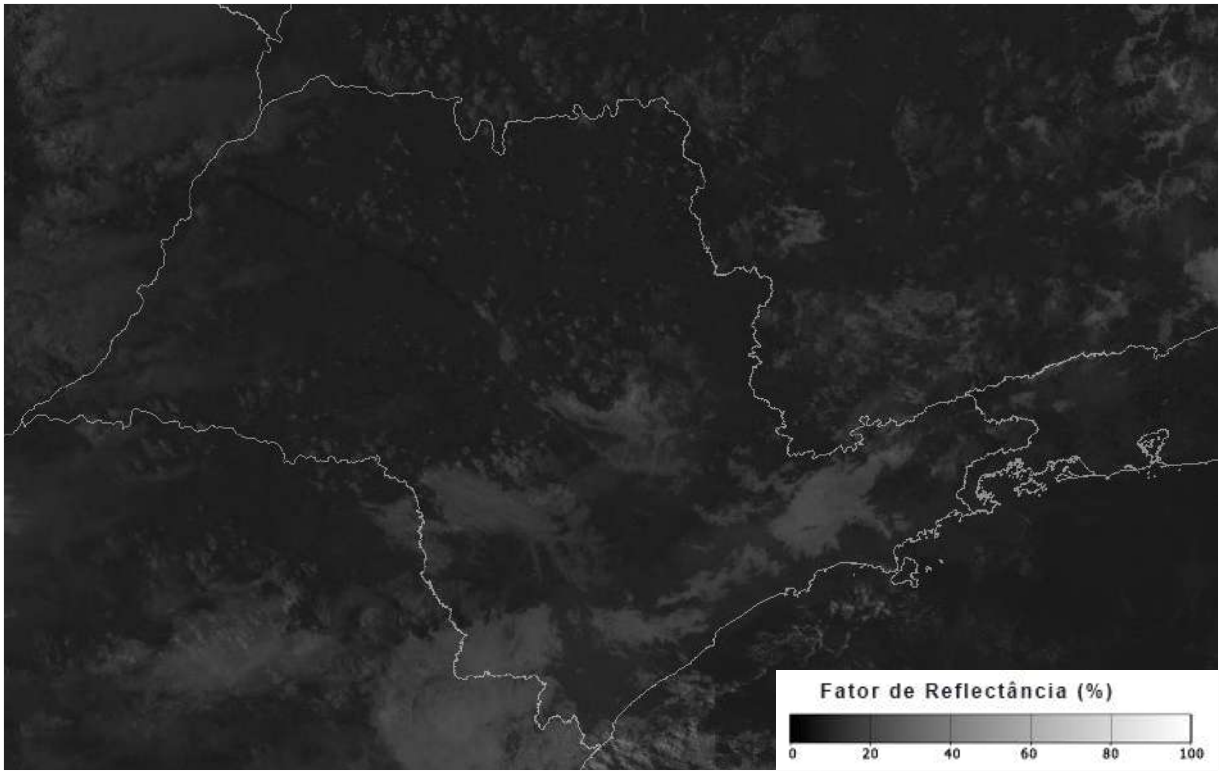


Figura 68 — Imagem GOES SBSP 04/05/2016 Infra 1 km
Fonte: http://sigma.cptec.inpe.br/radar/ (Acesso: em 28 set. de 2017)

A sequência de imagens representadas pelas figuras 67 e 68 demonstra aparentemente a ocorrência nuvens *stratocumulus*, que, no geral, são baixas e podem provocar turbulências aos voos.

ANEXO 5

SÍNTESE DE LÓGICA *FUZZY*

A lógica *fuzzy* foi desenvolvida e formalmente apresentada por Lofti A. Zadeh com o objetivo de fornecer um ferramental matemático para o tratamento de informações de caráter impreciso ou vago (ZADEH, 1965; TANSCHEIT, 2002). Essa abordagem combina lógica multivalorada, teoria probabilística, inteligência artificial e redes neurais para que se possa representar o pensamento humano, ou seja, ligar a linguística e a inteligência humana (TANAKA, 1997).

Zadeh estendeu a noção de associação binária para acomodar vários "graus de pertinência" no intervalo contínuo real [0,1], onde os pontos finais de 0 e 1 indicam "nenhuma associação (ou pertinência)" e associação total, respectivamente. Os conjuntos no universo X que podem acomodar "gradação" foram denominados por Zadeh como conjuntos difusos (ROSSI, 2010).

1.1 Conjuntos *Fuzzy*

Os conjuntos difusos contêm objetos que satisfazem propriedades imprecisas de associação, ou seja, a associação de um objeto em um conjunto difuso pode ser aproximada (ROSSI, 2010). Por exemplo, o conjunto de pistas com comprimento de 1200 a 1500 é preciso (nítido); entretanto, o conjunto de pistas com comprimento entorno de 1500 é impreciso (difuso), ou *fuzzy*, conforme demonstrado na Figura 69.

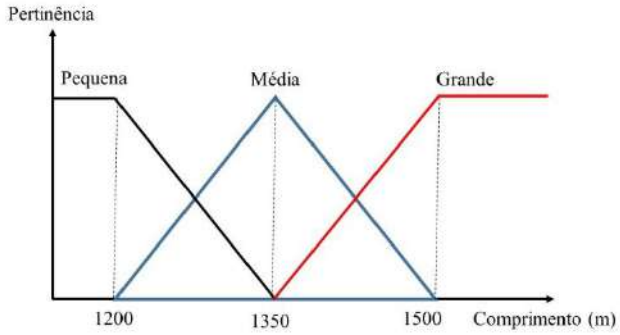


Figura 69 — Funções de pertinência para variável comprimento de pista

Diferentemente dos conjuntos *crisp* ou convencionais, que podem ser definidos por funções características, os conjuntos *fuzzy* podem ser representados por funções de pertinência (TANAKA, 1997). A pertinência, que é representada pelo símbolo μA(x), define o grau de associação do elemento *x* no conjunto *fuzzy* A. Nesse sentido, um valor no intervalo de unidade que mede o grau em que o elemento *x* pertence ao conjunto *fuzzy* A .

$$A = \{\mu_A(x) / x\} \quad x \in U \tag{17}$$

Em que:
$\mu_A(x)$ = representa o grau de pertinência de x com o conjunto A
A = conjunto *fuzzy*
x = variável linguística
U = universo de discurso

As representações das funções que definem os elementos de um conjunto *fuzzy* podem ser feitas na forma tabular (ou de lista), gráfica e analítica (JAFELICE et al., 2005). De acordo Tanscheit (2002), os conjuntos *fuzzy* podem ser descritos em universos contínuos ou discretos. Se *U* for discreto e finito, o conjunto *fuzzy A* é representado pela notação 18. Se o *U* for contínuo, pela notação 19.

$$\sum_{i=1}^{n} \mu A\,(xi)/xi \tag{18}$$

$$\int_x \ \mu A(xi)/xi \tag{19}$$

1.2 Variáveis Linguísticas

Uma variável linguística é uma variável cujo valor é expresso qualitativamente por um termo linguístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência (JAFELICE et al., 2005). De acordo Tanscheit (2002), a principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos.

1.3 Funções de Pertinência

Como informado anteriormente, o valor de pertinência representa o grau com que um elemento x faz parte de um conjunto *fuzzy* qualquer. A representação gráfica da função de pertinência pode assumir diferentes formatos, sendo aqui representados dois comumente utilizados pela maior facilidade de implementação.

Triangular

A função triangular segue as seguintes definições e representação (Figura 70).

$$f(x,a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b \le x \le c \\ 0, & c \le x \end{cases} \quad (20)$$

$$f(x,a,b,c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \quad (21)$$

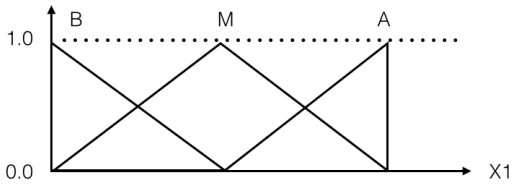


Figura 70 — Reresentação triangular
Fonte: Silva (2015)

De acordo com Klir et al. (1997 RIBACIONKA, 1999), a forma geral para se expressar a função de pertinência de formas triangulares é dada por:

$$A(x) = \begin{cases} 1 - \left| \dfrac{x-a}{s} \right| \\ 0 \end{cases} \quad (22)$$

Se $a - s \le x \le a + s$

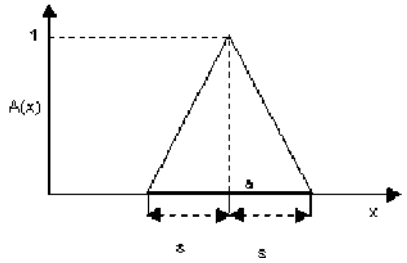


Figura 71 — Representação triangular

Trapezoidal

Já a função trapezoidal segue as seguintes definições e representação (Figura 72):

$$f(x,a,b,c,d) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ 1, & b \le x \le c \\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c \le x \le c \\ 0, & d \le x \end{cases} \tag{23}$$

$$f(x,a,b,c,d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \tag{24}$$

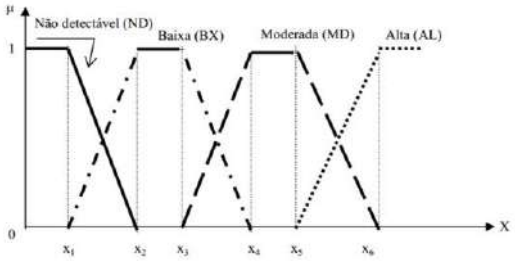


Figura 72 — Representação trapezoidal
Fonte: Sucena (2007)

Neto et al., (2006) reúnem e exemplificam algumas aplicações de diferentes funções de pertinência: a) Linear - Aproximação de conceitos não bem compreendidos; b) Sigmoide (Z) - modelagem dinâmica, problema das filas, qualificadores de frequência; c) Sinos: qualificadores de quantidade – poucos, alguns; d) Número *fuzzy*: aproximadamente, em torno de; e) Triangular - uso corrente (ou geral), engenharia de processos; e f) Trapezoidal: uso corrente.

1.4 Operações *Fuzzy*

Se A e B são conjuntos *fuzzy* de U, com funções de pertinência indicadas por μ A (x) e μ B (x), respectivamente, as operações de união, intersecção e complementar são definidas como (Figura 73):

a) A união entre A e B é o conjunto *fuzzy* de *U* cuja função de pertinência é dada por: $\mu_{A \cup B}(x) = \max\{ \mu_A(x), \mu_B \mu(x) \} = \forall \in U$.
b) A intersecção entre A e B é o conjunto *fuzzy* de U cuja função de pertinência é dada por: $\mu_{A \cap B}(x) = \min\{ \mu_A(x), \mu_B \mu(x) \} = \forall \in U$.
c) O complementar de A é o conjunto *fuzzy* A' de *U* cuja função de pertinência é dada por: $\mu_A(x) = 1 - \mu_A(x)$, $\forall x \in U$.

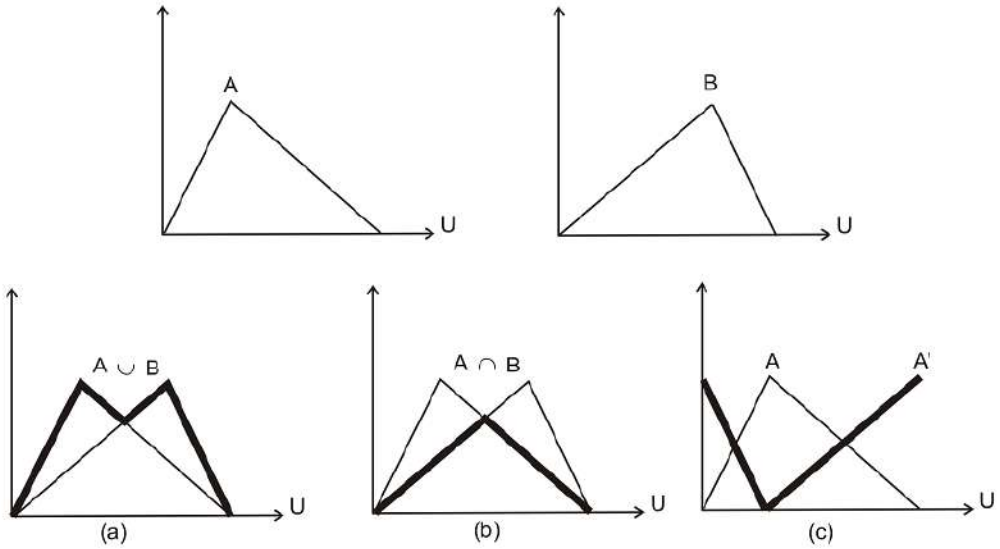


Figura 73 — Operações fuzzy
Fonte: Hernandes et al. (2009)

1.5 Modelos de Inferência

Um dos modelos de inferência mais utilizados, inclusive no Matlab, para obter resultados a partir de fatos e regras *fuzzy* é o modelo de Mamdani (MAMDANI AND ASSILIAN, 1975). Esse modelo foi concebido pelo professor Ebrahim Mamdani em 1975 no contexto do desenvolvimento de sistemas *fuzzy*, baseado em regras de conjuntos *fuzzy*, com o objetivo de representar experiências lógicas reais. Para a construção dessa abordagem, foi estabelecido um processo de raciocínio dividido em quatro etapas: (1) fuzzyficação, (2) avaliação das regras *fuzzy*, (3) agregação das regras *fuzzy* e (4) defuzzyficação, conforme sintetizado na Figura 74.

Diversos processos de inferência "*fuzzy*" podem ser adotados para se obter a saída do sistema *fuzzy*, sendo que o mais comumente usado é o método MIN-MAX (NETO et al., 2006). A função MIN é usada para operar o interior das regras (conectivo E) e a função MAX para efetivamente compor os resultados.

A "defuzzificação" das variáveis de saída pode ser executada por diferentes métodos, como dos máximos, média dos máximos e centroide, sendo este último um dos mais usados (NETO et al., 2006).

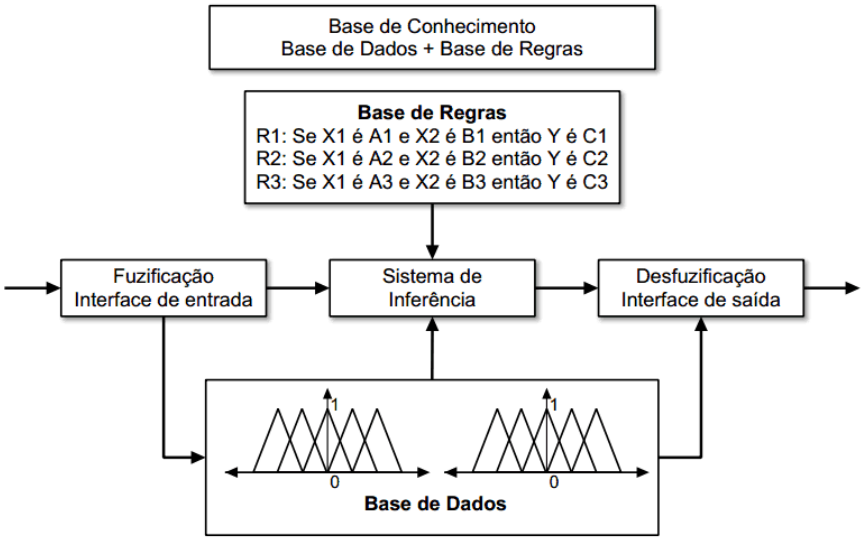


Figura 74 − Etapas da lógica *fuzzy*
Fonte: Silva (2015), adaptado de Herreira (2008).

ANEXO 6

DADOS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA CONCEBIDO NO MATLAB

```
[System]
Name='CompMacroPista3B3'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='CompPista'
Range=[0 4]
NumMFs=3
MF1='Media':'trimf',[-1 1.5 2.2]
MF2='Grande':'trapmf',[-1 2.2 4 4]
MF3='Pequena':'trimf',[-1.2 1.2 1.5]

[Input2]
Name='MacroText'
Range=[0 4]
NumMFs=3
MF1='PoucoAderente':'trimf',[-1 1.4 2]
MF2='ModeradamenteAderente':'trimf',[-1 1.5
2.5]
MF3='Aderente':'trapmf',[-1 1.6 4 4]

[Output1]
Name='ResiliênciaSeguranca'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='PoucoResiliente':'trapmf',[0 0 0.2 0.4]
MF2='ModeradamenteResiliente':'trimf',[0.2 0.4
0.6]
MF3='Resiliente':'trimf',[0.4 0.6 0.8]
MF4='MuitoResiliente':'trapmf',[0.5 0.8 1 1]

[Rules]
3 1, 1 (1) : 1
3 2, 1 (1) : 1
3 3, 2 (1) : 1
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 3 (1) : 1
1 3, 3 (1) : 1
2 1, 2 (1) : 1
2 2, 3 (1) : 1
2 3, 4 (1) : 1
```

```
[System]
Name='NumeroPistaConfigPita3B3b'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=5
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='NumeroPistas'
Range=[0 4]
NumMFs=3
MF1='Razoavel':'trimf',[-0.5 2 3]
MF2='Suficiente':'trapmf',[-0.5 3 4 4]
MF3='Pouca':'trimf',[-1 1 2]

[Input2]
Name='ConfigPistas'
Range=[0 4]
NumMFs=3
MF1='Unica':'trimf',[-1 1 2]
MF2='CruzadaVAbertoParalDependente':'trimf',
[-1 1.5 2.5]
MF3='ParalelaIndependente':'trapmf',[-1 2.5 4 4]

[Output1]
Name='ResiliênciaSeguranca'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='PoucoResiliente':'trapmf',[0 0 0.2 0.4]
MF2='ModeradamenteResiliente':'trimf',[0.2 0.4
0.6]
MF3='Resiliente':'trimf',[0.4 0.6 0.8]
MF4='MuitoResiliente':'trapmf',[0.5 0.8 1 1]

[Rules]
3 1, 1 (1) : 1
1 2, 2 (1) : 1
1 3, 3 (1) : 1
2 2, 3 (1) : 1
2 3, 4 (1) : 1
```

```
[System]
Name='auxilios3B3'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='AuxíliosNavegacao'
Range=[0 4]
NumMFs=3
MF1='ILSCAT1':'trimf',[-1 2 2.5]
MF2='ILSCAT23':'trapmf',[-1 2.5 4 4]
MF3='VFRDMEVOR':'trimf',[-1 1.7 2.2]

[Input2]
Name='AuxiliosMeteo'
Range=[0 4]
NumMFs=3
MF1='EMS3':'trimf',[-1 1.4 2]
MF2='EMS2':'trimf',[-1 1.6 2.5]
MF3='EMS1':'trapmf',[-1 2 4 4]

[Output1]
Name='ResiliênciaAuxilios'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='PoucoResiliente':'trapmf',[0 0 0.2 0.4]
MF2='ModeradamenteResiliente':'trimf',[0.2 0.4
0.5]
MF3='Resiliente':'trimf',[0.4 0.6 0.8]
MF4='MuitoResiliente':'trapmf',[0.5 0.8 1 1]

[Rules]
3 1, 1 (1) : 1
3 2, 1 (1) : 1
3 1, 2 (1) : 1
1 1, 2 (1) : 1
1 2, 2 (1) : 1
1 3, 3 (1) : 1
2 1, 3 (1) : 1
2 2, 4 (1) : 1
2 3, 4 (1) : 1
```

ANEXO 7

TELAS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY*

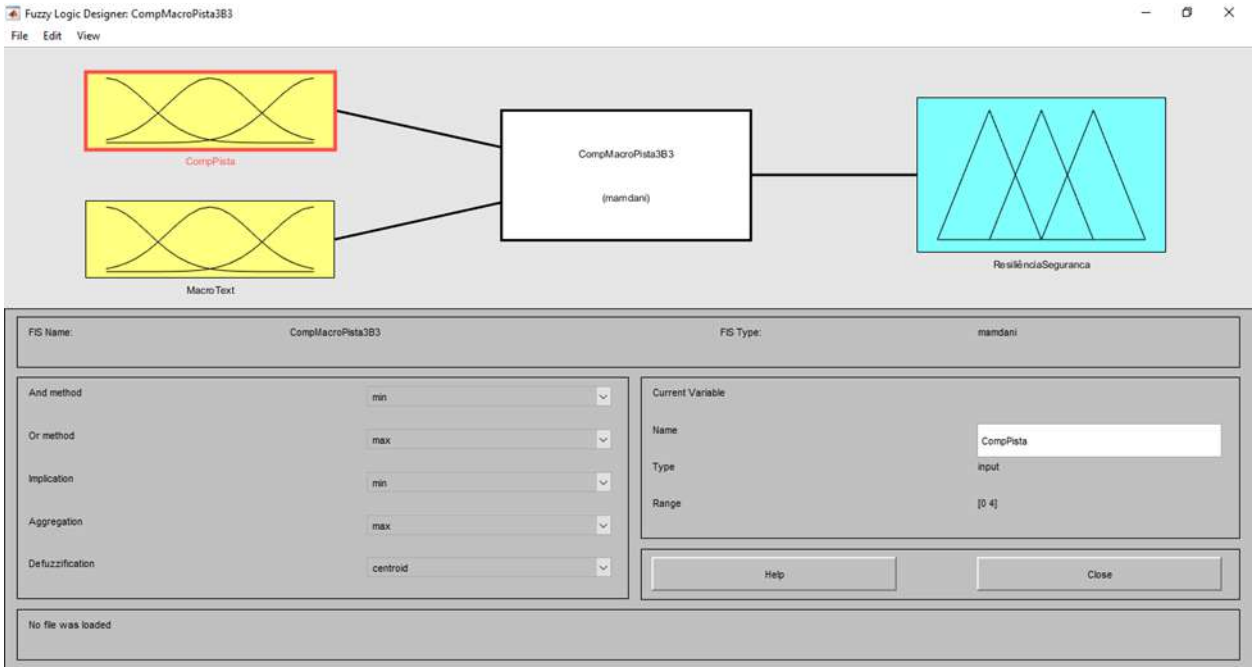


Figura 75 — Tela inicial do sistema – Comprimento e macrotextura de pista

Figura 76 — Funções do comprimento de pistas

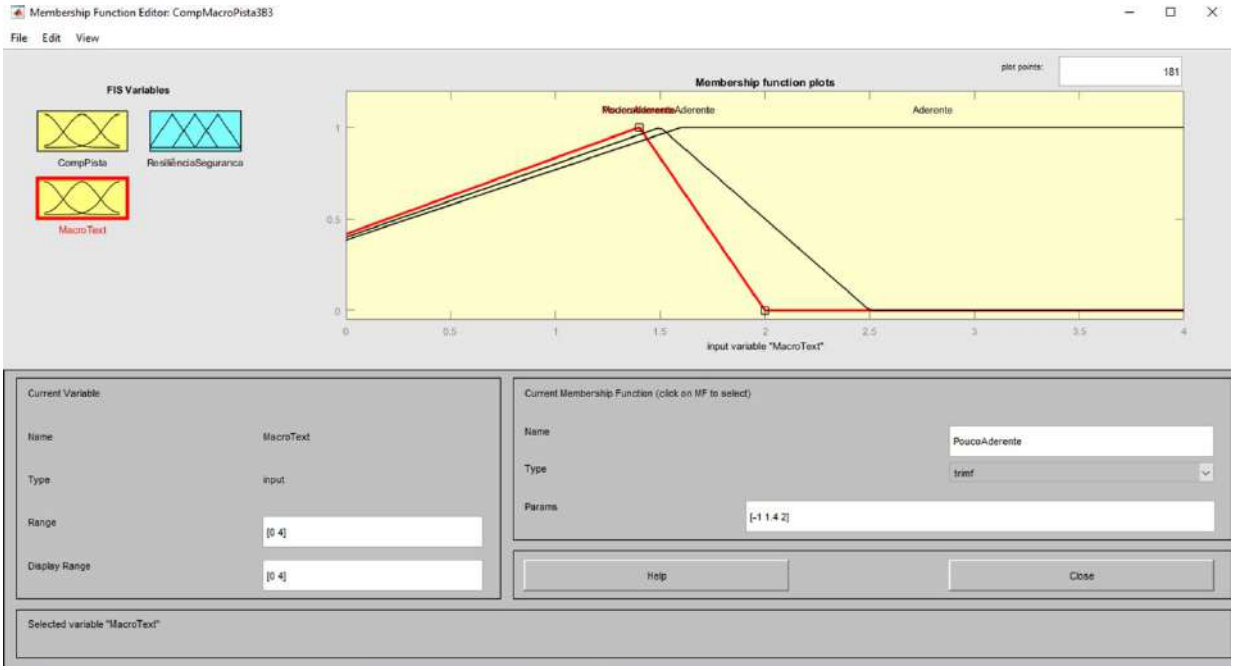


Figura 77 — Funções da macrotextura da pista

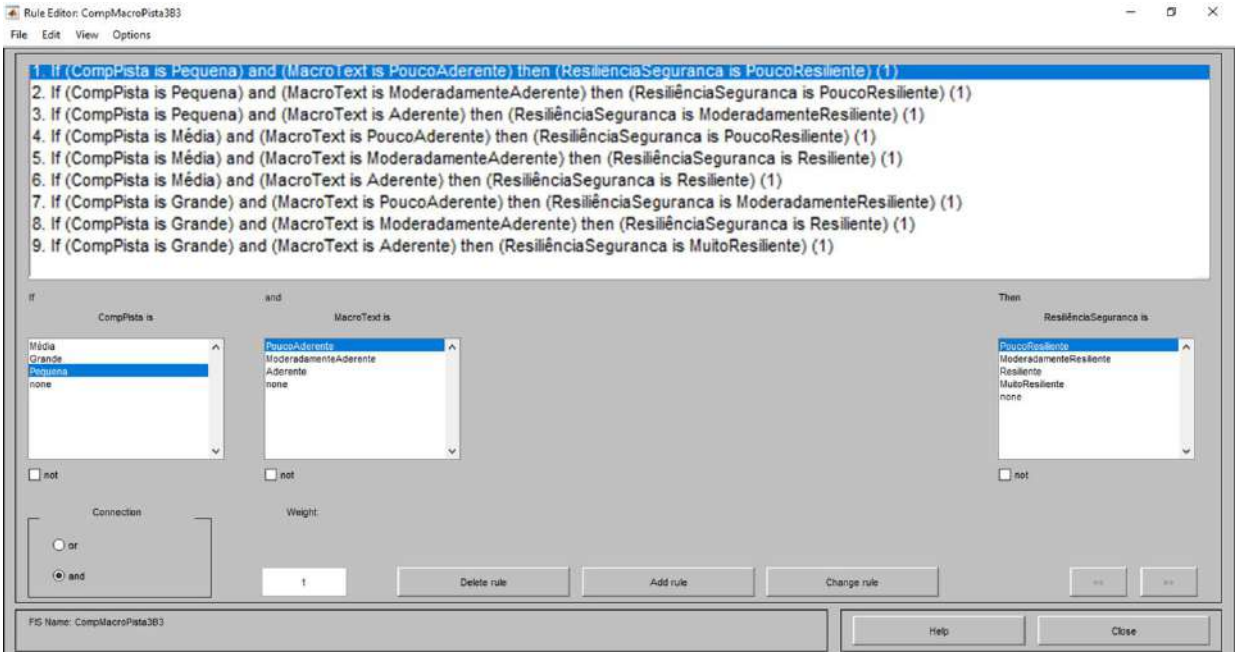


Figura 78 — Regras de inferência comprimento e macrotextura da pista

Figura 79 — Funções de saída: relação comprimento e macrotextura da pista

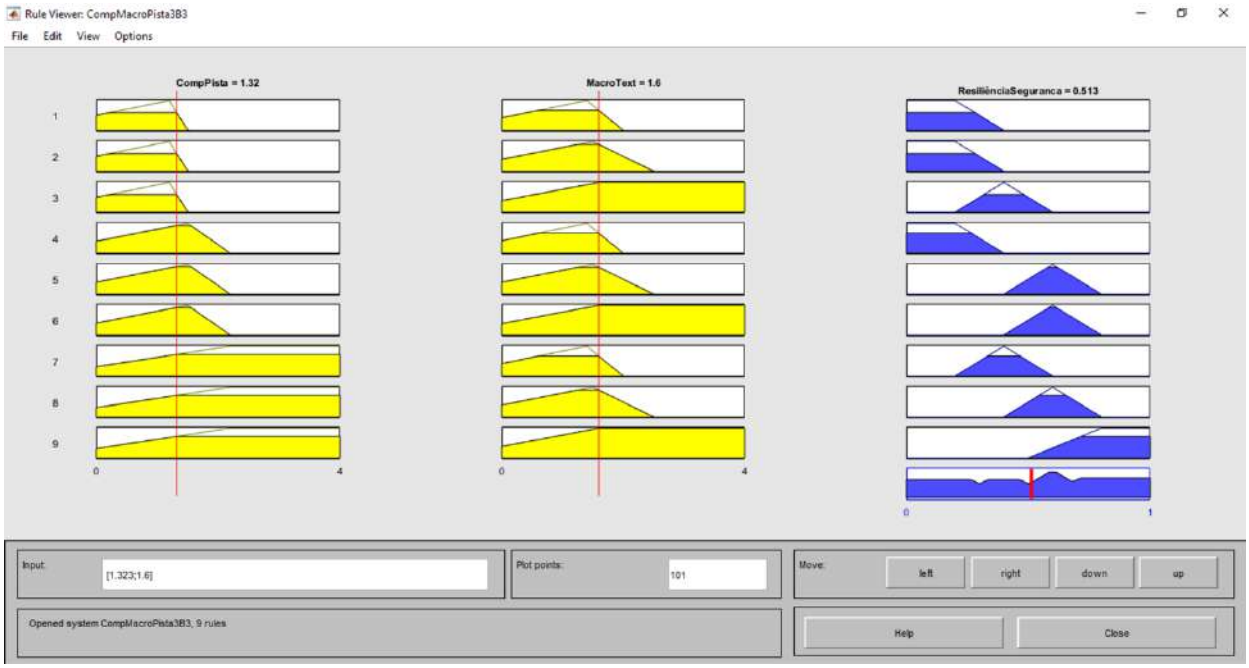


Figura 80 — Resultado SBRJ – Comprimento e macrotextura

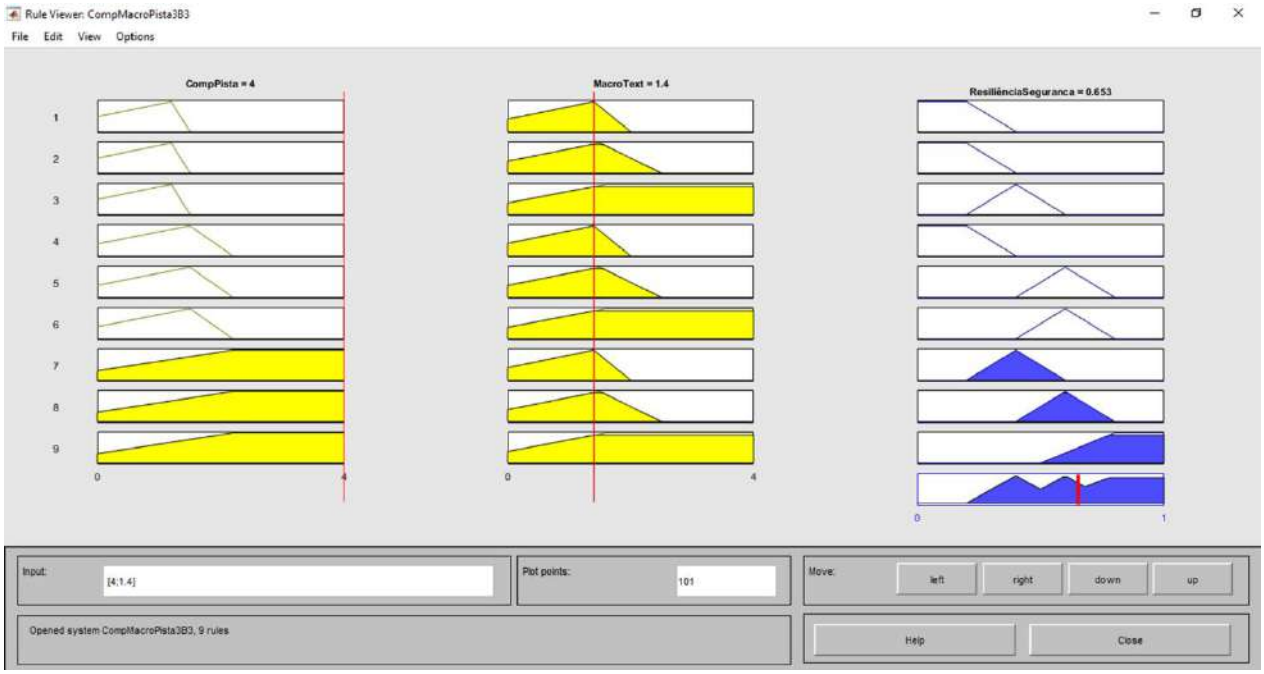


Figura 81 — Resultado SBGL – Comprimento e macrotextura

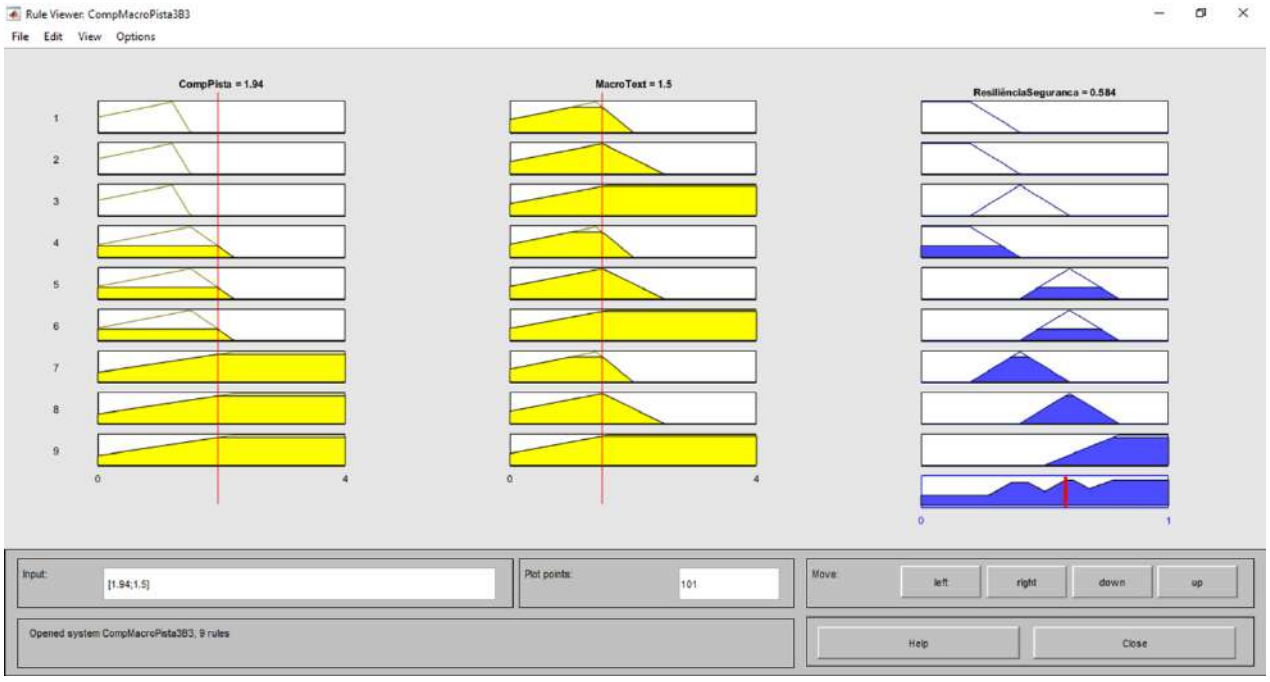


Figura 82 — Resultado SBSP – Comprimento e macrotextura

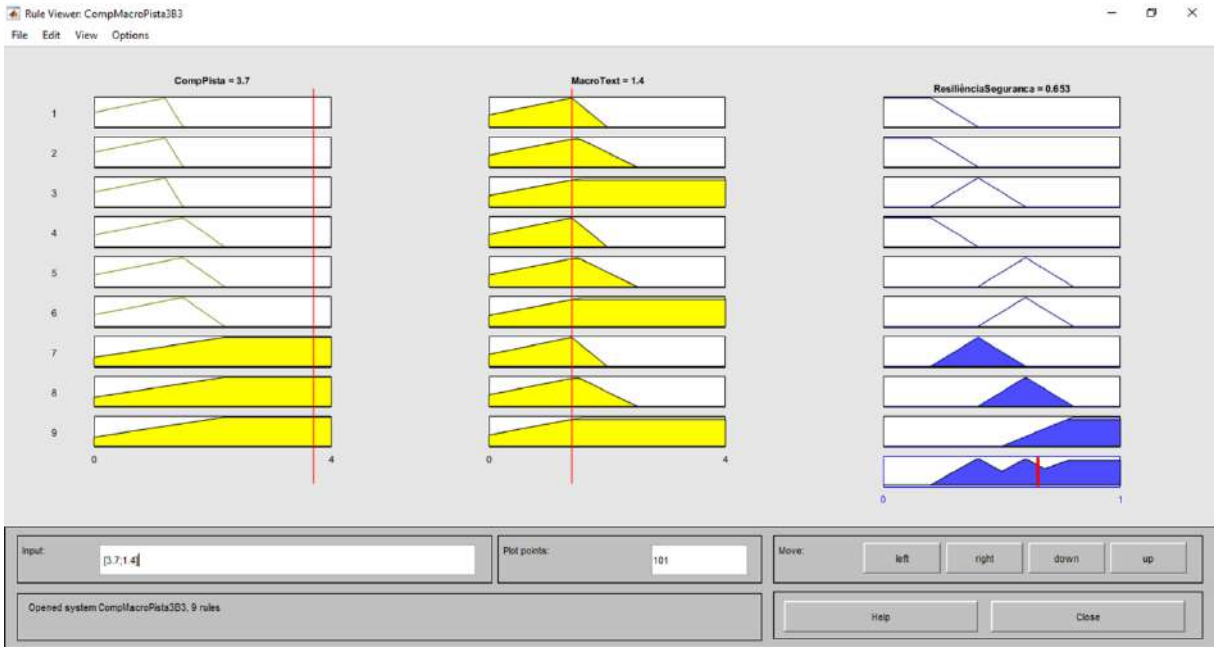


Figura 83 — Resultado SBGR – Comprimento e macrotextura

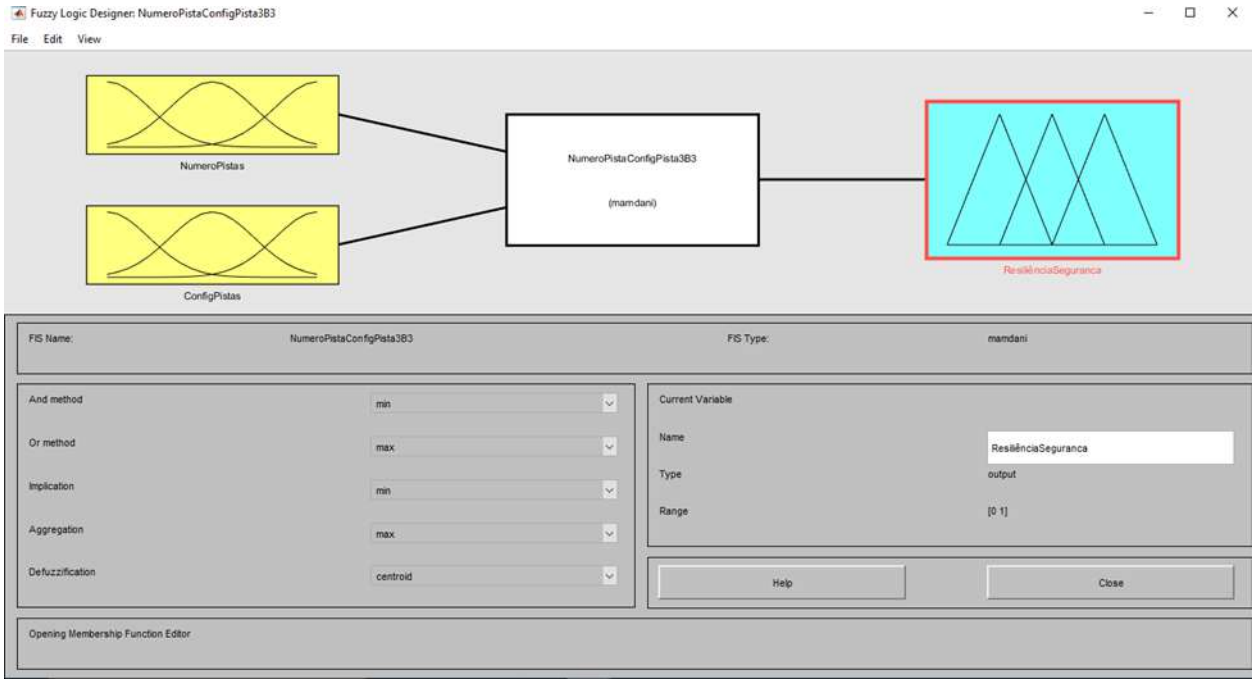


Figura 84 — Tela inicial do sistema – Número e configuração de pista

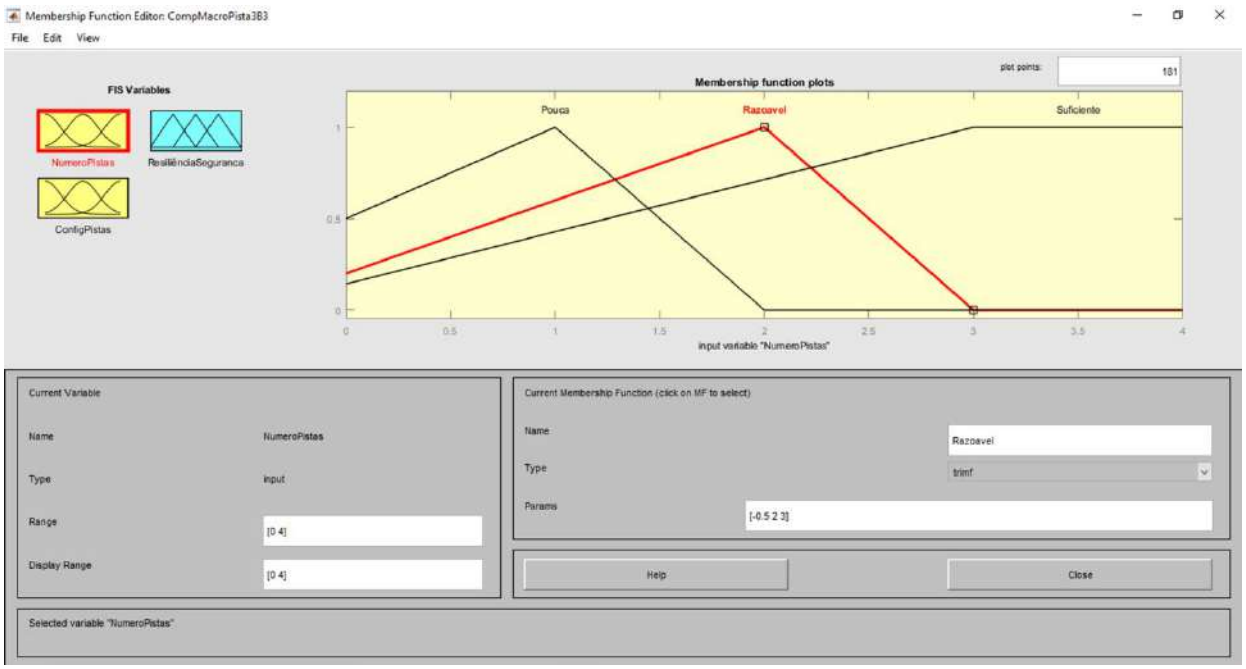


Figura 85 — Funções do número de pistas

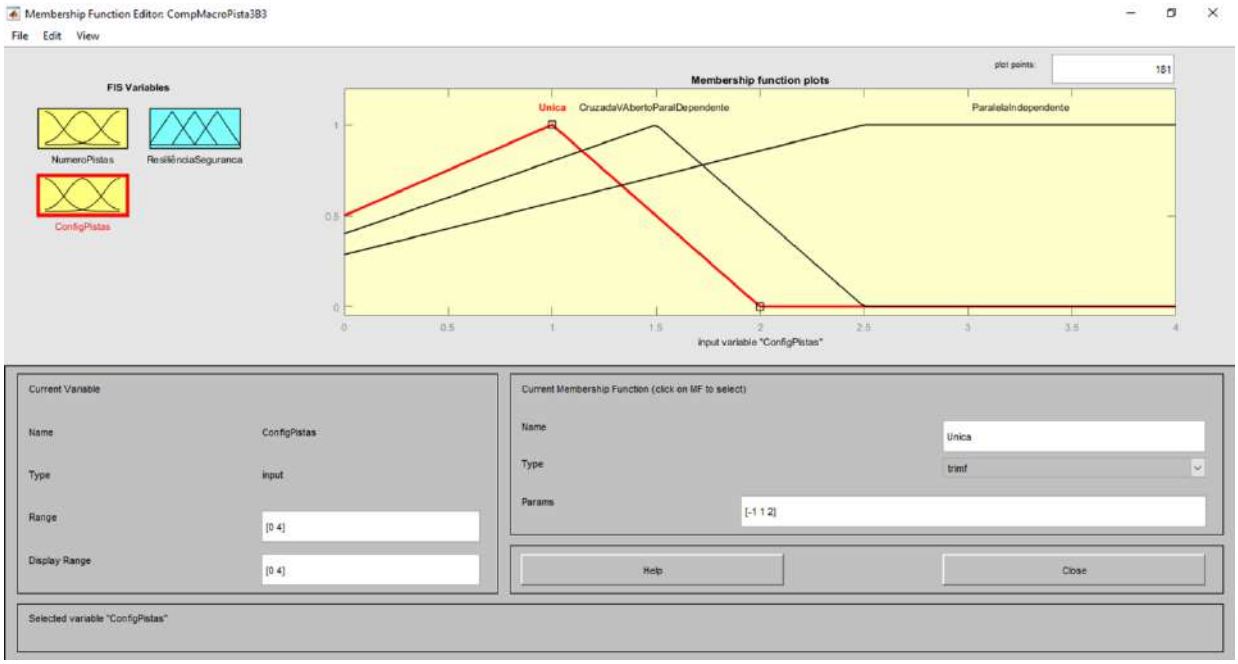


Figura 86 — Funções da configuração de pistas

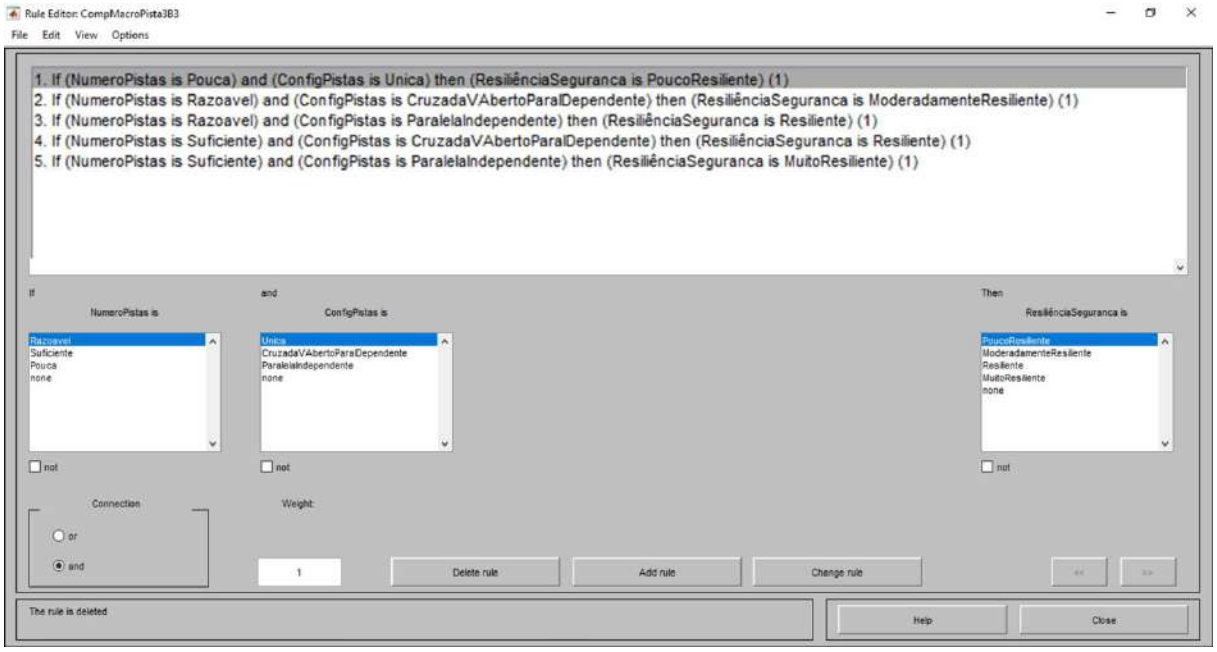


Figura 87 — Regras de inferência número e configuração da pista

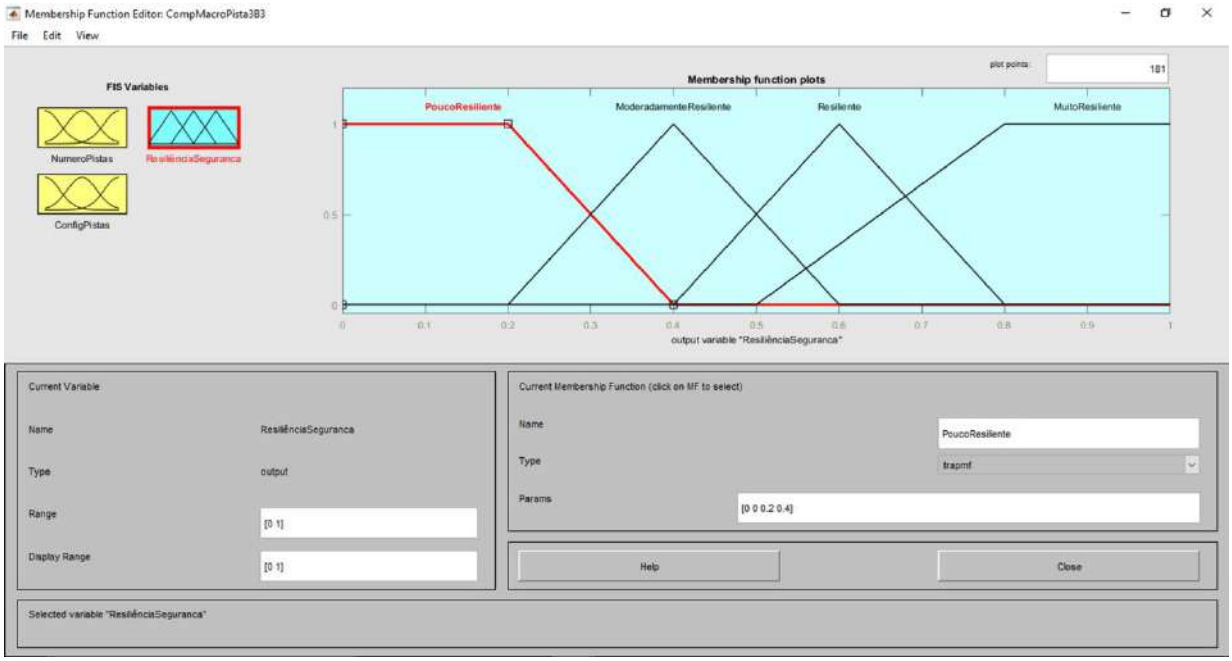


Figura 88 — Funções de saída: relação número e configuração de pistas

Figura 89 — Resultado SBRJ, SBGL,SBGR SBSP– Saída da relação número e configuração de pistas

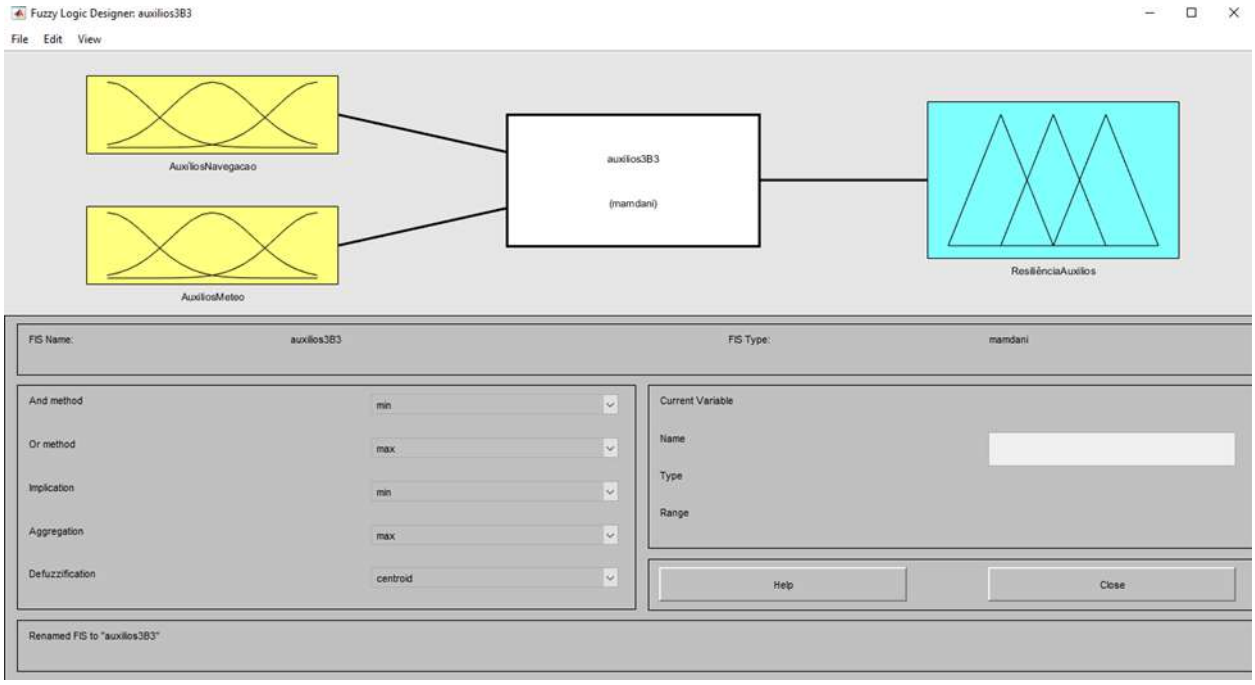


Figura 90 — Tela inicial do sistema – auxílios de navegação e meteorológicos

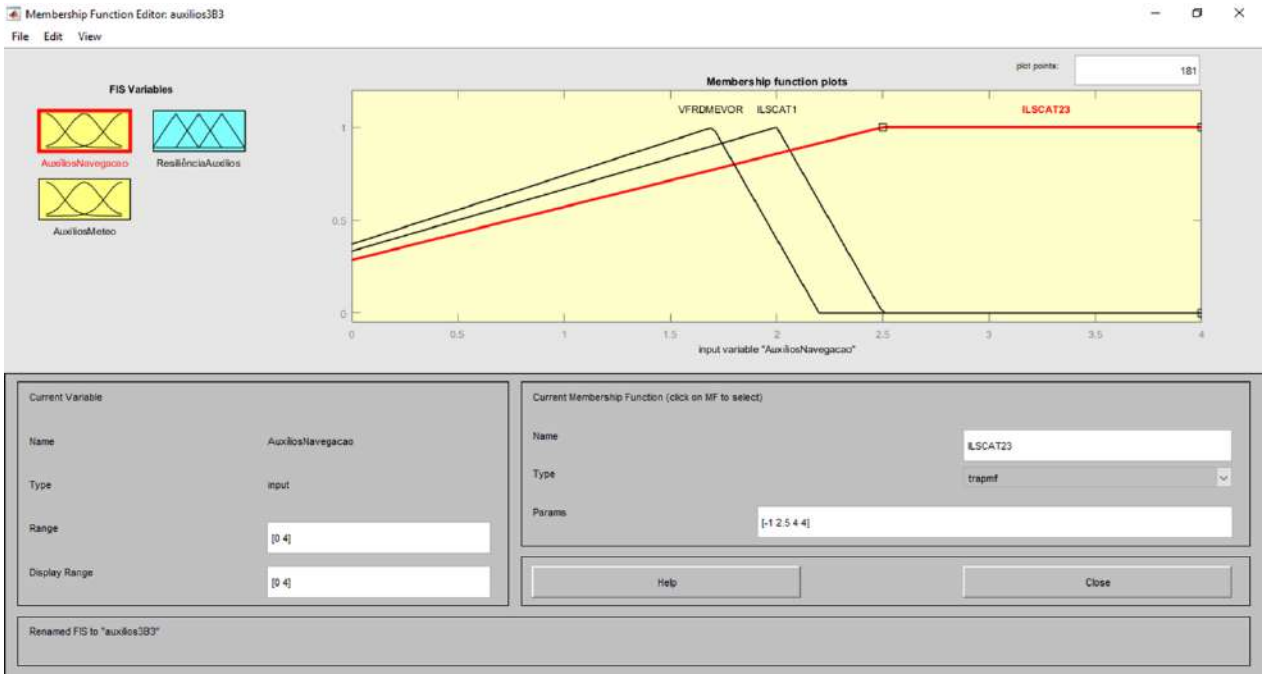


Figura 91 — Funções dos auxílios de navegação

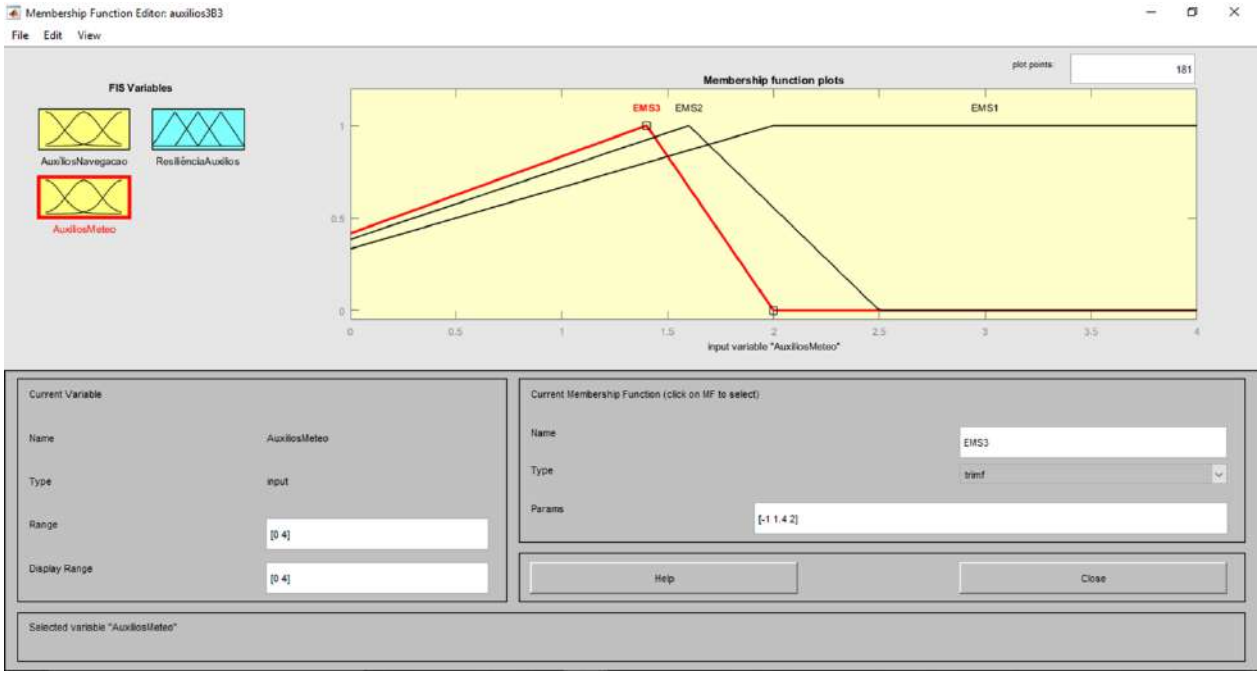


Figura 92 — Funções dos auxílios meteorológicos

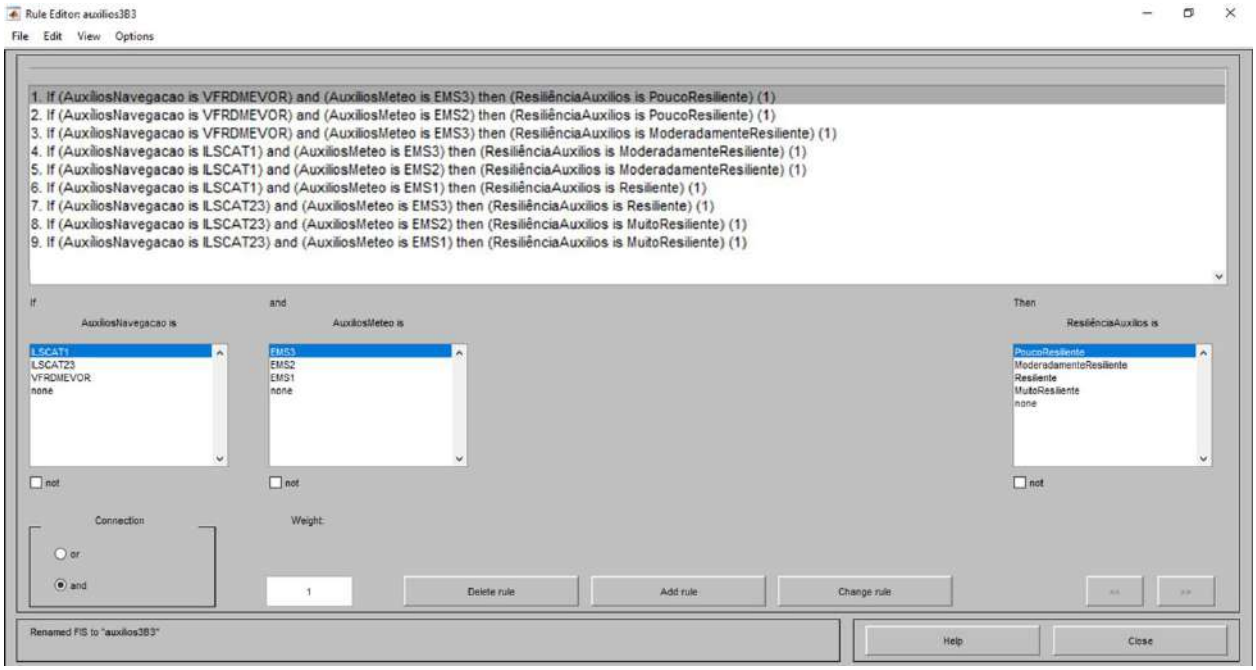


Figura 93 — Regras de inferência auxílios de navegação e meteorológicos

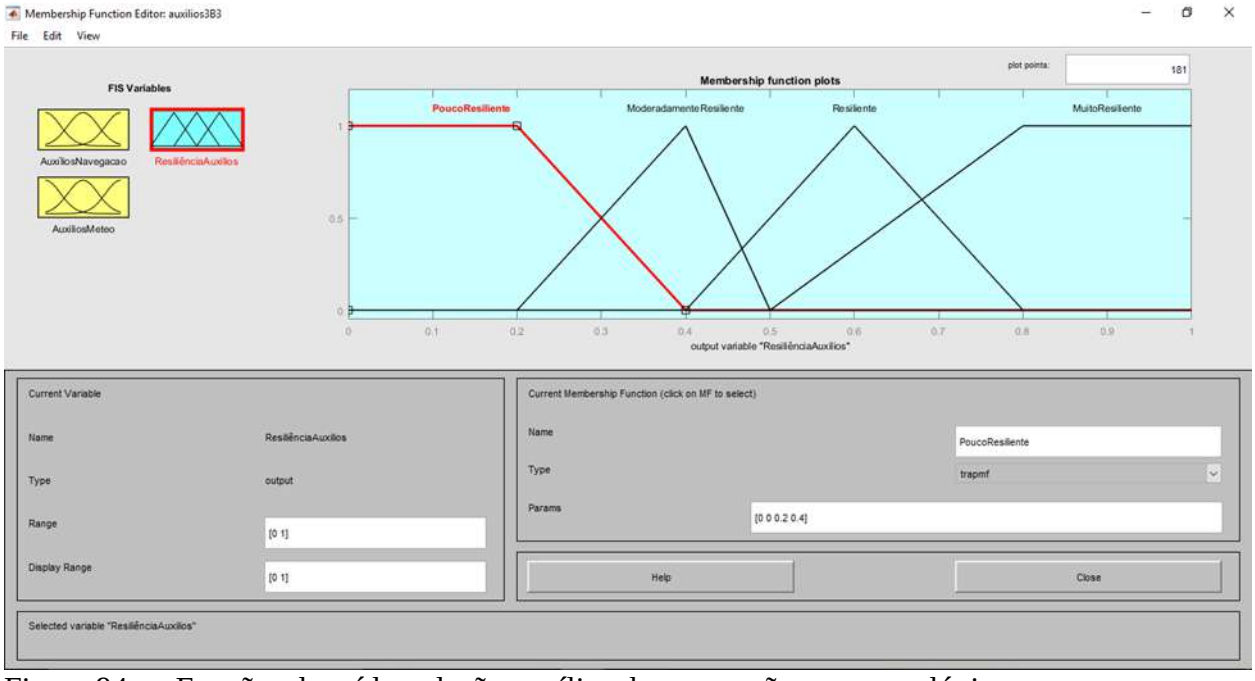


Figura 94 — Funções de saída: relação auxílios de navegação e meteorológicos

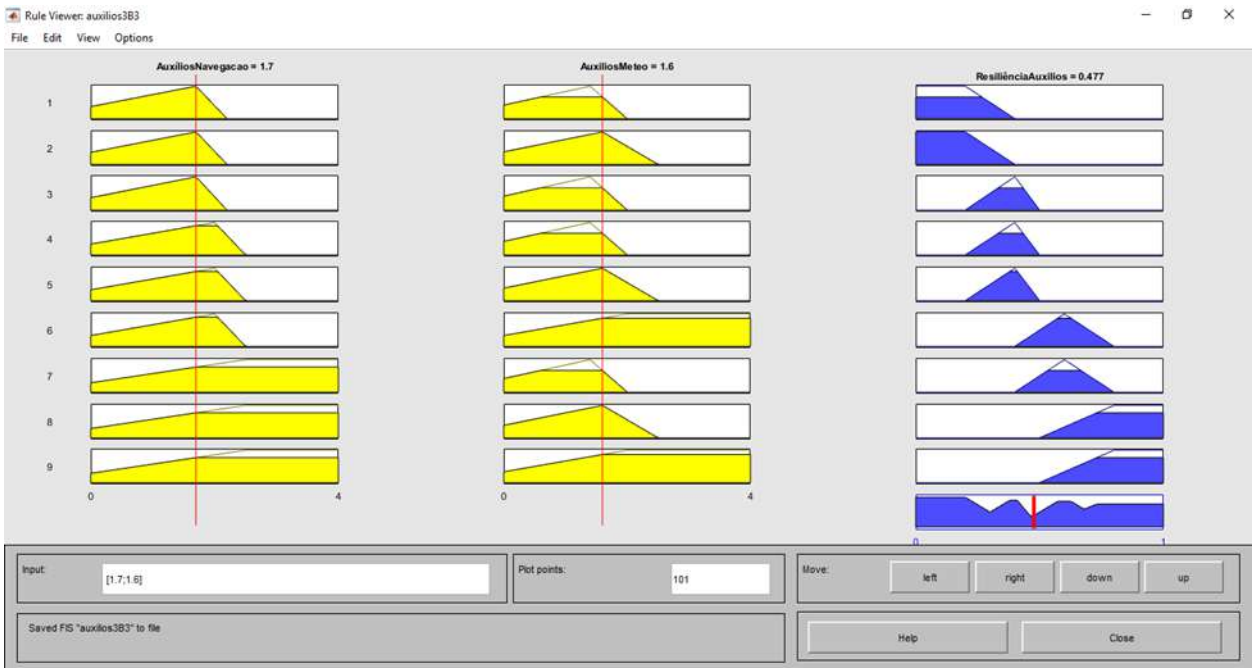


Figura 95 — Resultado SBRJ: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos

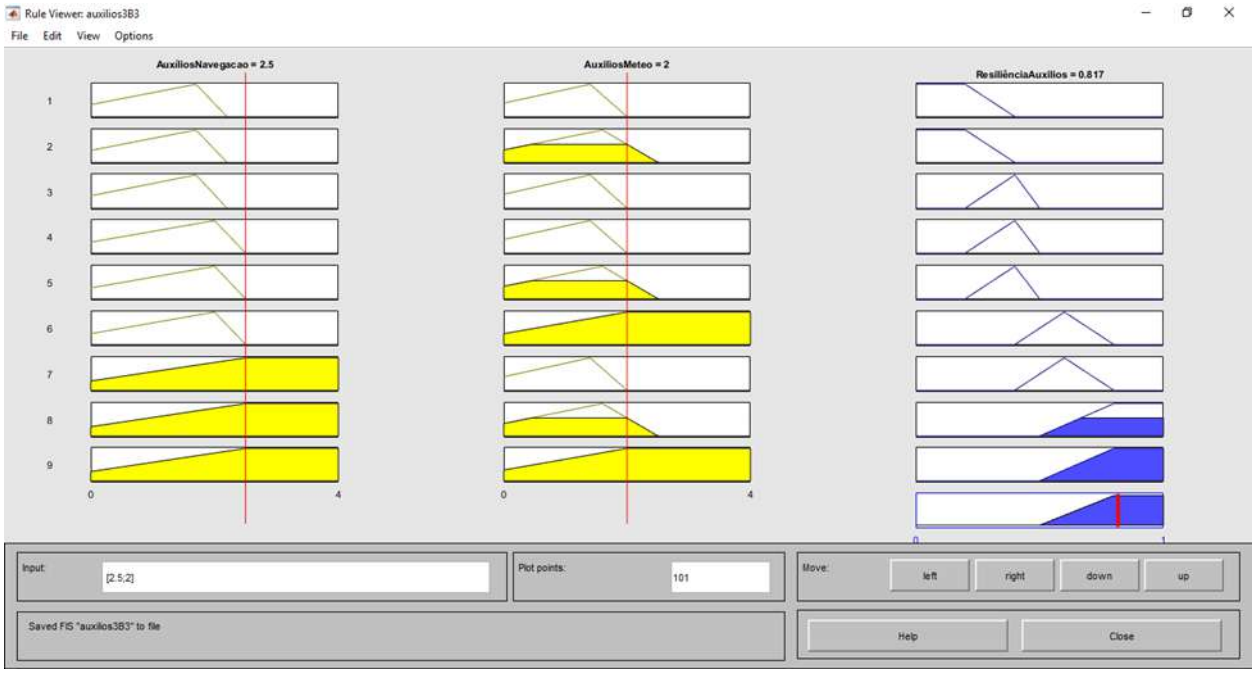


Figura 96 — Resultado SBRJ: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos

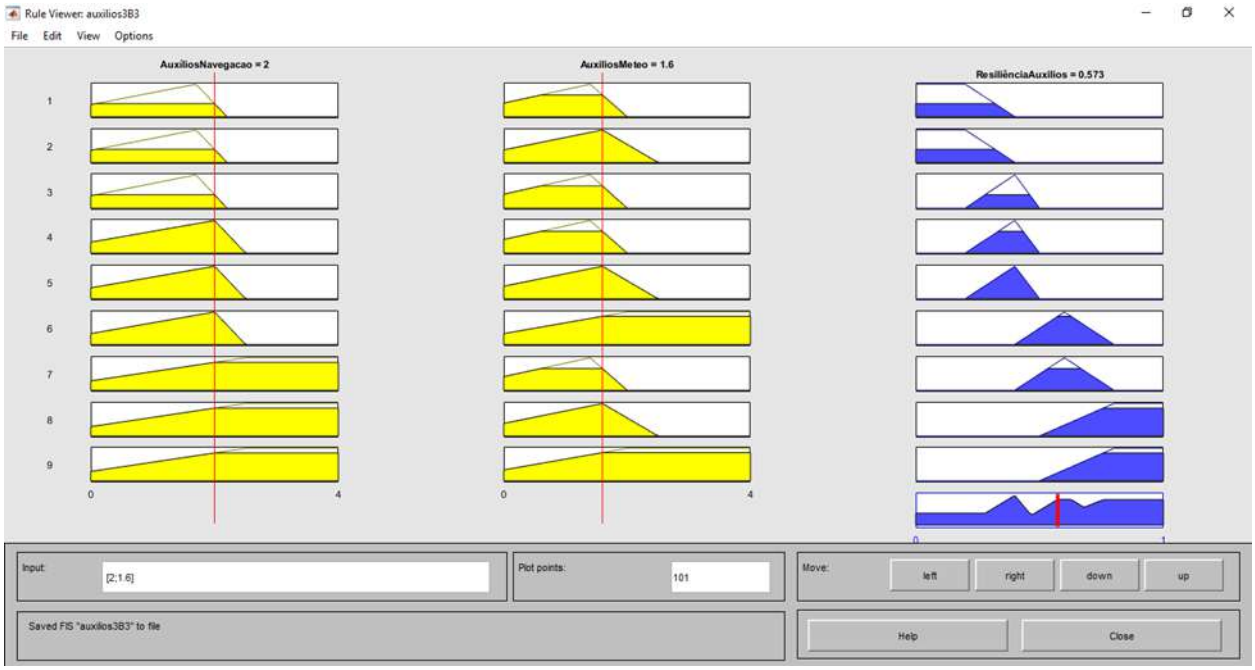


Figura 97 — Resultado SBSP: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos

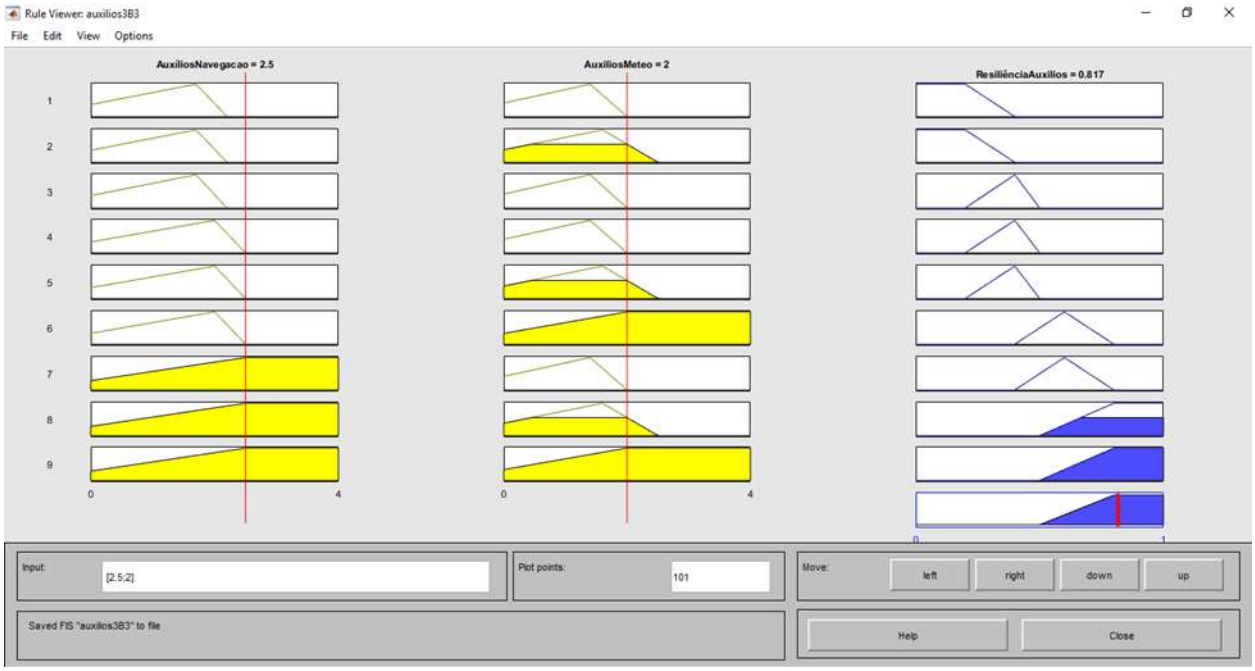


Figura 98 — Resultado SBGR: Saída da relação auxílios de navegação e meteorológicos

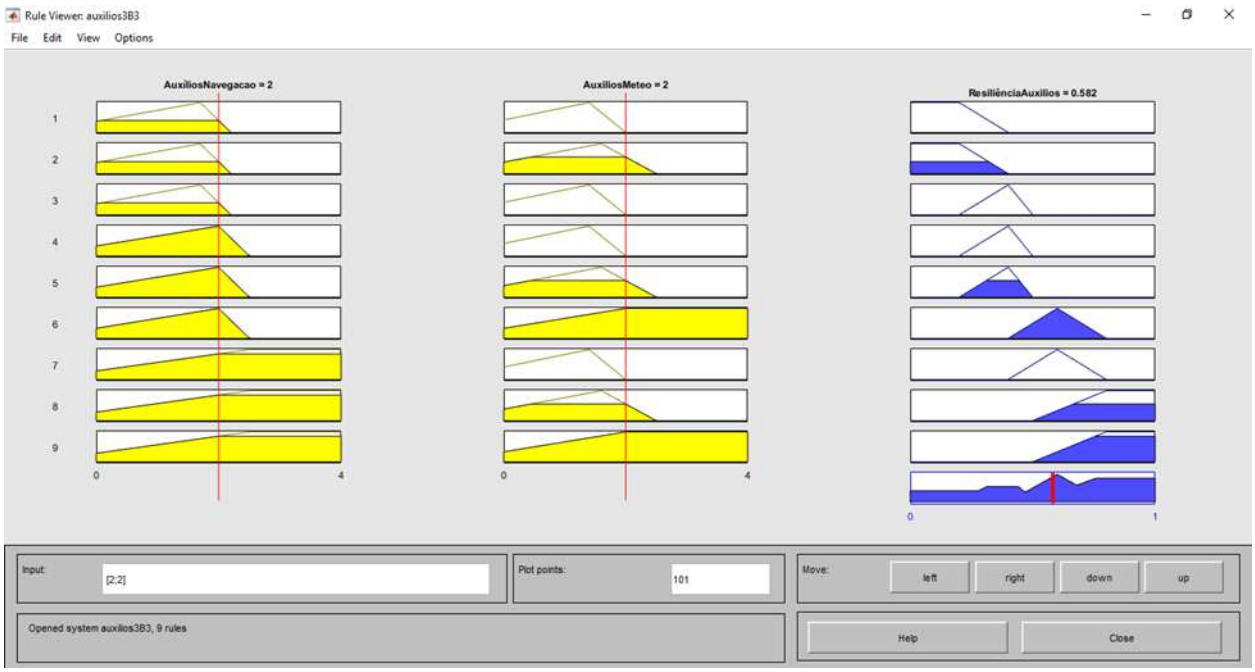


Figura 99 — Resultado SBRJ - Saída implantação EMS 1 e ILS CAT I

Figura 100 — Resultado SBRJ - Ampliação da pista para 1.5 km e instalação de antiskid

ANEXO 8

SCRIPT PARA OBTENÇÃO DA CURVA DE RESILIÊNCIA DE CADA AEROPORTO

```
close all;
clear all;
clc;
x=[1 2 3];
% Pertinencias SBRJ
y1=[0.513 0.632 0.477];
y12=[0.648 0.632 0.573];%Manter
comprimento e implantar antiskid
%Implantação de ILS

% Pertinencias SBGL
y2=[0.653 0.632 0.817];
% Pertinencias SBSP
y3=[0.584 0.632 0.573];
% Pertinencias SBGR
y4=[0.653 0.632 0.817];

%ATUAL
figure
bar(x,y1,0.1,'r');
hold on
p1=polyfit(x,y1,3)
xp1=0:0.01:4;
yp1=polyval(p1,xp1);
plot(x,y1,'o',xp1,yp1)
ylabel('Pertinência');
xlabel('1 - CompMacro   2 -
NumConfigur   3 - Auxilios');
title('Equalizador SBRJ - ATUAL')
axis([0 4 0 1])

%
%
figure
bar(x,y12,0.1,'r');
hold on
p12=polyfit(x,y12,3)
xp12=0:0.01:4;
yp12=polyval(p12,xp12);
plot(x,y12,'o',xp12,yp12)
ylabel('Indice de Resiliencia');
xlabel('1 - CompMacro   2 -
NumConfigur   3 - Auxilios');
title('Equalizador SBRJ - OPCAO 1')
axis([0 4 0 1])

figure
bar(x,y2,0.1,'b');
hold on
p2=polyfit(x,y2,3)
xp2=0:0.01:4;
yp2=polyval(p2,xp2);
plot(x,y2,'o',xp2,yp2)
ylabel('Pertinência');
xlabel('1 - CompMacro   2 -
NumConfigur   3 - Auxilios');
title('Equalizador SBGL')
axis([0 4 0 1])

figure
bar(x,y3,0.1,'g');
hold on
p3=polyfit(x,y3,3)
xp3=0:0.01:4;
yp3=polyval(p3,xp3);
plot(x,y3,'o',xp3,yp3)
ylabel('Pertinência');
xlabel('1 - CompMacro   2 -
NumConfigur   3 - Auxilios');
title('Equalizador SBSP')
axis([0 4 0 1])

figure
bar(x,y4,0.1,'k');
hold on
p4=polyfit(x,y4,3)
xp4=0:0.01:4;
yp4=polyval(p4,xp4);
plot(x,y4,'o',xp4,yp4)
ylabel('Pertinência');
xlabel('1 - CompMacro   2 -
NumConfigur   3 - Auxilios');
title('Equalizador SBGR')
axis([0 4 0 1])
```