



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

LAERTH DE SOUZA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE PISTA COM A CONSTRUÇÃO DE NOVAS
TAXIWAYS NO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE/GUARARAPES –
GILBERTO FREYRE.**

Recife, 2022

LAERTH DE SOUZA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE PISTA COM A CONSTRUÇÃO DE NOVAS
TAXIWAYS NO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE/GUARARAPES –
GILBERTO FREYRE.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de
Pernambuco para obtenção do grau de Engenheiro
Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientador: Prof^ª. Dra. Viviane Adriano Falcão

Recife, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Rodrigues, Laerth de Souza.

Avaliação da capacidade de pista com a construção de novas taxiways no aeroporto internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre. / Laerth de Souza Rodrigues. - Recife, 2022.

46 p. : il., tab.

Orientador(a): Viviane Adriano Falcão

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2022.

Inclui referências, anexos.

1. Capacidade Sistema de Pistas. 2. Método da FAA. 3. Estudo de Viabilidade Técnica Aeroporto de Recife. 4. Infraestrutura Aeroportuária . 5. Cálculo Capacidade de Pistas. I. Falcão, Viviane Adriano. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

LAERTH DE SOUZA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE PISTA COM A CONSTRUÇÃO DE
NOVAS TAXIWAYS NO AEROPORTO INTERNACIONAL DO
RECIFE/GUARARAPES – GILBERTO FREYRE.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de
Pernambuco para obtenção do grau de Engenheiro
Civil.

Aprovada em: 07/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

(Participação por videoconferência)

Profa. Dra. Viviane Adriano Falcão (UFPE - Orientador)

(Participação por videoconferência)

Prof. Dr. Reuber Arrais Freire (UFPE - Membro interno)

(Participação por videoconferência)

Eng. Civil Marcos Araújo de Souza Celestino (UFPE - Membro externo)

Dedico este trabalho a minha mãe, ao meu pai, a minha esposa, as minhas filhas, a minha irmã e irmão e aos meus lindos sobrinhos, eles que em todos os momentos permaneceram ao meu lado, me apoiando e acreditando em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo.

Aos meus pais (Gomes e Selma) que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e vibrando por mais esta etapa conquistada em minha vida.

Agradeço a minha esposa, minha companheira de vida, Elaine, por compreender e dividir todos meus momentos de estresse e ausência. Obrigada pelo carinho e amor de todos os dias e por ser meu exemplo de dedicação e luta.

A minha irmã, irmão, Cintia e Felipe, por me apoiarem em todas as minhas decisões e tirarem meus melhores sorrisos durante os momentos difíceis.

A minha família, que sempre esteve me apoiando em tudo, mesmo eu tão ausente. Obrigado!

A minha orientadora, Viviane Falcão, por ter apoiado e incentivado a realização deste projeto, pela paciência e dedicação durante as orientações. Agradeço as oportunidades em que aprendi com a grande mestre da infraestrutura aeroportuária.

Aos meus amigos, que apesar da distância continuaram ao meu lado e torcendo por mim.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil, pelos conhecimentos compartilhados.

À banca pela dedicação e contribuições oferecidas.

RESUMO

A capacidade de pista de um aeródromo compõe o lado ar de uma infraestrutura aeroportuária e constitui fator de extrema importância, pois quando mal projetado e não supre de forma eficiente sua demanda projetada, contribui para gargalos na operação e movimentação das aeronaves gerando assim atrasos, maiores índices de incidentes aeronáuticos e sobrecarga de trabalho para os controladores de tráfego aéreo. Estudos que mensurem a capacidade de pista de um determinado aeródromo constitui-se, portanto, fator de elevado interesse pela comunidade do setor de infraestrutura aeroportuária, pois este índice serve de alerta para órgãos de gerência de fluxo de tráfego aéreo para monitorar a demanda do movimento de aeronaves versus a capacidade do aeródromo, assim como para os operadores aeroportuários para verificar a saturação do aeroporto e assim programar-se para obras futuras no sistemas de pista com a finalidade de aumentar sua capacidade. Na região norte/nordeste os aeroportos com maior capacidade de pista são o de Manaus e Recife. O Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre compõe um desses aeroportos cuja infraestrutura precisa ser estudada e melhorada. A infraestrutura aeroportuária é dividida no lado aéreo e lado terra, sendo que neste trabalho foi analisado o lado aéreo, mais especificadamente a capacidade do sistema de pista do aeroporto internacional de Recife com e sem a construção de novas taxiways previstas no projeto de pavimentação do estudo de viabilidade técnico-econômica (EVTE). O objetivo deste estudo foi analisar através do método proposto pela FAA (Agência Reguladora da Aviação Civil nos Estados Unidos) os ganhos em capacidade de pista do Aeroporto Internacional do Recife com a construção de novas taxiways. Foram analisados dois cenários utilizando-se o método da FAA para verificar se haveria um aumento da capacidade de pista do aeroporto, Cenário I: condição atual do aeroporto do Recife sem a construção das taxiways “N”, “A”, “V” e “P” e levando-se em conta dados do movimento de aeronaves do ano de 2019; Cenário II: condição do aeroporto levando em consideração a construção das novas taxiways “N”, “A”, “V” e “P”, deslocamento da cabeceira 18 e dados do movimento de aeronaves do ano de 2019. O presente trabalho constatou que a construção das novas taxiways em nada aumentaria a capacidade de pista do Aeroporto do Recife.

Palavras-chaves: Capacidade Sistema de Pistas. Método da FAA. Estudo de Viabilidade Técnica Aeroporto de Recife. Infraestrutura Aeroportuária. Cálculo Capacidade de Pistas.

ABSTRACT

The runway capacity of an aerodrome makes up the airside of an airport infrastructure and is an extremely important factor, because when poorly designed and does not efficiently meet its projected demand, it contributes to bottlenecks in the operation and movement of aircraft, thus generating delays, greater aeronautical incident rates and work overload for air traffic controllers. Studies that measure the runway capacity of a given aerodrome is, therefore, a factor of high interest by the community of the airport infrastructure sector, as this index serves as a warning for air traffic flow management bodies to monitor the movement demand. of aircraft versus the capacity of the aerodrome, as well as for airport operators to check the saturation of the airport and thus plan for future works on the runway systems in order to increase its capacity. In the North/Northeast region, the airports with the greatest runway capacity are Manaus and Recife. Recife/Guararapes International Airport – Gilberto Freyre is one of those airports whose infrastructure needs to be studied and improved. The airport infrastructure is divided into the air side and the land side, and in this work the air side was analyzed, more specifically the capacity of the runway system of the international airport of Recife with and without the construction of new taxiways foreseen in the paving project of the study. of technical-economic feasibility (EVTE). The objective of this study was to analyze through the method proposed by the FAA (Civil Aviation Regulatory Agency in the United States) the gains in runway capacity at Recife International Airport with the construction of new taxiways. Two scenarios were analyzed using the FAA method to verify if there would be an increase in the airport's runway capacity, Scenario I: current condition of Recife airport without the construction of taxiways "N", "A", "V" and "P" and taking into account aircraft movement data for the year 2019; Scenario II: condition of the airport taking into account the construction of the new taxiways "N", "A", "V" and "P", displacement of threshold 18 and aircraft movement data for the year 2019. The present study found that the construction of the new taxiways would in no way increase the runway capacity of Recife Airport.

Keywords: Track System Capability. FAA method. Technical Feasibility Study Recife Airport. Airport Infrastructure. Track Capacity Calculation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Croqui lado ar/lado terra.....	15
Figura 2	Etapas para cálculo da capacidade de pista.....	24
Figura 3	Diagrama do uso de pista e figura a ser escolhida para cálculo da capacidade de pista básica.....	26
Figura 4	Movimento de Aeronaves em Recife, 20/12/2019.....	29
Figura 5	Aeroporto do Recife.....	31
Figura 6	Gráfico para determinar o C^*_{VFR}	32
Figura 7	Gráfico para determinar o C^*_{IFR}	32
Figura 8	Aeroporto do Recife 2019 com indicação das Taxiways.....	33
Figura 9	Aeroporto do Recife (2019) intervalo 5000'-7000'.....	34
Figura 10	Aeroporto do Recife Engenharia de Pavimentação fase 03 (intervalo 5000'-7000').....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação da Aeronaves.....	16
Tabela 2	Fator de correção da capacidade de pista devido layout do sistema de pistas...	18
Tabela 3	Fator de correção da capacidade de pista devido as Instalações de Auxílio à navegação aérea.....	18
Tabela 4	Categoria das Aeronaves.....	19
Tabela 5	Tempo médio de ocupação de pista durante o pouso (TOPP).....	20
Tabela 6	Tempo médio de ocupação de pista durante a decolagem (TOPD).....	20
Tabela 7	Média Aritmética entre TOPP e TOPD (MATOP).....	20
Tabela 8	Tempo Médio de Ocupação de Pista (TMOP) para Cabeceira 1.....	21
Tabela 9	Tempo Médio de Ocupação de Pista (TMOP) para Cabeceira 2.....	21
Tabela 10	Velocidade de Aproximação por Categoria de Aeronaves.....	22
Tabela 11	Classificação das Aeronaves.....	25
Tabela 12	Movimentação de Aeronaves em Janeiro,Outubro e Dezembro em Recife (2019).....	28
Tabela 13	Movimentação de Aeronaves em Janeiro,Outubro e Dezembro no Aeroporto do Recife (2019).....	29
Tabela 14	Porcentagem de Chegadas no Aeroporto do Recife.....	30
Tabela 15	Distância entre Taxiways Aeroporto do Recife – 2019.....	33
Tabela 16	Quadro resumo dos parâmetros para calculo da capacidade horária do Aeroporto do Recife 2019.....	34
Tabela 17	Fator Saída para condições VFR	36
Tabela 18	Fator Saída para condições IFR	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC - Agência Nacional da Aviação Civil

CGNA - Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea

CTP - Capacidade Teórica de Pista

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo

IFR - Regras de Voo Por Instrumento

ILS - Instrument Landing System

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

MATOP - Tempo de Ocupação de Pista por Categoria de Aeronave

MCA - Manual do Comando da Aeronáutica

PMD - Peso Máximo de Decolagem

OACI - Organização de Aviação Civil Internacional

RWY – Pista

RESA – Runway End Safety Area

SBRF – Indicativo Internacional do Aeroporto Internacional de Recife

SMR - Separação Mínima Regulamentar

SS - Separação de Segurança

ST - Separação Total

TMOP - Tempo Médio Ponderado de Ocupação de Pista

TMST - Tempo Médio Ponderado entre dois Pousos Consecutivos

TOP - Tempo de Ocupação de Pista

TOPD - Tempo de Ocupação de Pista na Decolagem

TOPP - Tempo de Ocupação de Pista no Pouso

VFR - Regras de Voo Visual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa de Motivação.....	13
1.2	Objetivos Gerais e Específicos.....	14
1.3	Etapas de pesquisa.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Sistema Aeroportuário.....	16
2.2	Métodos de cálculos de capacidade de pistas.....	17
2.2.1	Método da FAA.....	17
2.2.2	Método FAA adaptado INFRAERO.....	18
2.2.3	Manual do Comando da Aeronáutica.....	20
3	ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL GILBERTO FREYRE.....	26
3.1	Caracterização do Aeroporto do Recife.....	28
3.2	Calculo da capacidade de pista atual.....	29
3.3	Calculo da capacidade de pista com a construção das taxiways N,A,V e P.....	36
4	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	39
5	CONCLUSÕES.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXOS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Com crescente aumento da demanda pelo modal aéreo no Brasil nos últimos anos, muitos aeroportos passaram a trabalhar nos limites de suas operações devido a uma infraestrutura aeroportuária que reduz a capacidade de pistas nos mesmos. Estes congestionamentos geram perdas econômicas e ambientais aos usuários do sistema, aumentam os riscos nas operações e a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo (ALVES & RÍOS, 2008).

Segundo Alexander e Seth (2003) um sistema eficiente de movimentos de passageiros e aeronaves entre aeroportos está diretamente ligado a duas características principais dos aeroportos: a demanda pelo serviço através dos exploradores das aeronaves de aviação regular e geral e pela capacidade do aeródromo. A infraestrutura aeroportuária envolve tanto o lado aéreo o que inclui a infraestrutura da pista principal, taxiways, auxílios a Navegação e de Meteorologia, e facilidades de sistemas de vigilância relacionadas ao Controle de Tráfego Aéreo. Assim como, da infraestrutura do lado térreo representada pelo terminal de passageiros, terminal de cargas e etc.

Dados disponibilizados pelo CGNA (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea) através do Anuário Estatístico de 2021, revelam que os principais aeroportos no cenário brasileiro com relação ao movimento de aeronaves se mantêm ainda na região sudeste do país, mais especificadamente nos aeroportos de Guarulhos, Congonhas e Brasília, respectivamente. Quando se trata da região norte/nordeste do Brasil o Aeroporto do Recife em número de movimentos de aeronaves é o primeiro no ano de 2021, seguido do Aeroporto de Salvador (CGNA, 2021).

Sobre a capacidade de pista, no site do CGNA no portal operacional, na região norte/nordeste os aeroportos com maior capacidade de pista são o de Manaus e Recife, ambos com 38 movimentos de aeronaves/hora de capacidade, enquanto os três maiores no cenário nacional são os Aeroportos de Brasília, Galeão e Guarulhos, com 80, 60 e 57 movimentos de aeronaves/hora, respectivamente. É importante ressaltar que a metodologia utilizada pelo CGNA para o cálculo do movimento de aeronaves está descrita na MCA 100-14 “Capacidade do Sistemas de Pistas”, publicada em 2009 (CGNA, 2022).

O Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre, vulgo Aeroporto do Recife apresenta-se ainda como maior terminal aeroportuário de Pernambuco e o mais

movimentado das regiões Norte e Nordeste, como citado anteriormente. Este está localizado a 11 km do centro da capital e recebe aproximadamente mais de 8,5 milhões de passageiros/ano.

O Aeroporto do Recife, diante de seu potencial econômico, compõe um dos aeroportos cuja infraestrutura precisa ser estudada e melhorada. Sendo assim, este projeto teve como objetivo analisar a capacidade de pista do referido aeródromo, sugerir implementações que venham a contribuir para o aumento da capacidade de pista através da análise do projeto de pavimentação previsto no EVTE (Estudo de Viabilidade Técnica Econômica). É importante destacar que este aeroporto foi concedido para a empresa privada AENA em 2019, segundo dados do Aeroporto Internacional do Recife (2018).

Portanto, a metodologia aplicada neste estudo consiste primeiramente na pesquisa bibliográfica que abrange normas nacionais e internacionais que regem o cálculo da capacidade do sistema de pistas, bem como artigos e publicações científicas referentes a tais temas. Posteriormente, foi aplicado o modelo determinado pela FAA para o cálculo da capacidade de pista em Recife, considerando o cenário atual da pista principal e taxiways, bem como o cenário futuro com a diminuição do comprimento da pista principal e a construção de novas taxiways, tais informações servirão como embasamento para verificar o aumento ou não da capacidade de pista com a construção de novas taxiways no Aeroporto do Recife.

1.1 Justificativa e motivação

A importância de tal estudo se faz necessário uma vez que segundo o Anuário Estatístico Operacional da INFRAERO 2018, o Aeroporto do Recife foi o primeiro na região Nordeste no ranking por Movimento de Passageiros, bem como por Movimento de Aeronaves, destacando assim a importância do aeródromo em seu cenário regional (INFRAERO, 2018).

Em termos econômicos e de acordo com o EVTE, o capital a ser gasto apenas com o sistema de pista que envolve obras na pista principal, custos de projeto, pistas de taxi, acostamento pista de pouso, acostamento pista de táxi, RESA (Runway End Safety Area), terraplanagem, nivelamento de faixa e obras civis de adequações na rede de drenagem giram em torno de 43 milhões de reais até o fim da concessão em 2048, assim sendo o presente estudo se torna de suma importância do ponto de vista do alto valor de capital investido na obra.

Outro ponto a ser destacado foi a necessidade de verificar se com a construção das novas taxiways previstas em três fases no estudo, de viabilidade técnico-econômica EVTE do

Aeroporto de Recife, houve um aumento da capacidade horária do movimento de aeronaves no referido aeródromo. Assim, aplicou-se o método da FAA para o referido cálculo para verificar se há ganho operacional com as alterações previstas comparado ao investimento realizado.

1.2 Objetivos gerais e específicos

O presente trabalho tem como objetivo analisar através do método proposto pela FAA (Agência Reguladora da Aviação Civil nos Estados Unidos) os ganhos em capacidade de pista do Aeroporto Internacional do Recife com a construção de novas taxiways.

Como objetivos específicos, pode-se listar:

- Análise de literatura sobre os métodos de avaliação de capacidade de pista;
- Investigar a capacidade horária da pista do Aeroporto do Recife com dados do movimento de aeronaves de 2019, considerando as condições de pista atuais;
- Investigar a capacidade horária da pista do Aeroporto do Recife com dados do movimento de aeronaves de 2019, considerando as condições de pista futura com a previsão da construção das novas taxiways “N”, “A”, “V” e “P”;
- Análise comparativa dos dois estudos feitos anteriormente.

1.3 Etapas de Pesquisa

Lista das atividades previstas e a que objetivo específico está vinculado

ATIVIDADES	OBJETIVO ESPECÍFICO
1 – Visitar a Torre de Controle Recife com a finalidade de detectar os principais problemas nas operações de pouso e decolagem, bem como na área de manobras.	Reconhecer os principais gargalos relacionados as operações das aeronaves na pista de pouso e área de manobras das aeronaves no referido aeródromo.

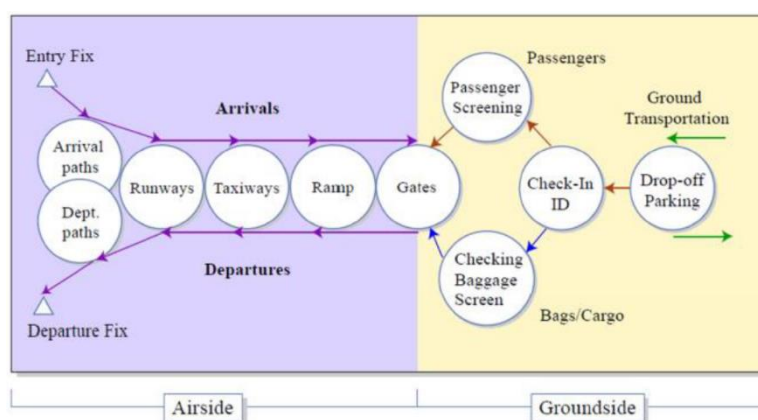
2 – Determinar os horários picos, assim como o período de estudo a ser considerado no aeroporto do Recife utilizando microdados disponibilizados no site da ANAC.	Investigar a capacidade horária da pista do Aeroporto do Recife e compará-lo com a demanda atual.
3 – Levantamento do Movimento de Aeronaves nos horários picos determinado anteriormente no aeroporto do Recife (cálculo do mix das aeronaves).	Investigar a capacidade horária da pista do Aeroporto do Recife e compará-lo com a demanda atual.
4 – Cálculo da Capacidade de Pistas pelo método FAA, com e sem a construção das TAXIWAYS “N”, “A”, “V” e “P”.	Investigar a capacidade horária da pista do Aeroporto do Recife e compará-lo com a demanda atual.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema Aeroportuário

Conforme Alexander e Seth (2003), o sistema aeroportuário pode ser dividido em dois: o lado ar e lado terra vide Figura 1 abaixo. O lado ar é planejado e administrado para receber o movimento de aeronaves no aeroporto tão logo chegue ou parta para o ar, os componentes do lado ar de um aeroporto podem ainda ser dividido no aeródromo em si onde se inclui as instalações físicas responsáveis diretamente pelo apoio/operação das aeronaves, ou ainda o espaço aéreo no entorno do aeródromo, logo após livrar o solo, após o pouso e a área de manobras levando a aeronave até seu pátio.

Figura 1 – Croqui lado ar/lado terra.



Fonte: Alexander e Seth (2003).

O lado terra ainda, consiste nos componentes do aeroporto planejado e administrado para acomodar o movimento de veículos, passageiros e cargas e engloba as infraestruturas do terminal de passageiros, terminal de cargas, estacionamentos, pistas de acesso ao aeroporto e instalações públicas e privadas no entorno do aeroporto com o intuito de transporte de pessoas e cargas, segundo Alexander e Seth (2003).

Sob a ótica da segurança contra atos de interferência ilícita (AVSEC), ou ainda da infraestrutura e operação aeroportuária, o lado ar pode ser determinado como a área de movimento, terrenos adjacentes e instalações cujo o acesso é controlado, por analogia o lado terra se torna a área aeroportuária em que o uso é público, ou seja, o acesso não é controlado (ANAC, 2022).

Diante do exposto acima destaca-se a importância da aplicação de metodologias que mensurem a capacidade de pista de aeródromos para que os órgãos de fiscalização e administradores aeroportuários monitorem a demanda atual em relação as suas capacidades

máximas de pista, com a finalidade de planejarem investimentos futuros para a expansão do lado ar.

2.2 Métodos de Cálculo de Capacidade de pista.

O sistema de pista de pouso e decolagem faz parte de um sistema que inclui, além da pista principal, o conjunto de taxiways que dão acesso as pistas principais. É expressa no número de movimentos de aeronaves que podem ocorrer em um intervalo de 60 minutos. Os métodos encontrados na literatura para o cálculo da capacidade do sistema de pistas são três: Método FAA, Método FAA adaptado pela INFRAERO e a Metodologia feita pelo CGNA (Centro de Navegação Aérea). Este trabalho usou como base a Metodologia feita pela FAA.

2.2.1 Método FAA.

Método conhecido internacionalmente e tem como documento principal o documento *Advisory Circular 150/5065-5* que apresenta a capacidade máxima de uma pista representativa de um aeroporto americano padrão e leva em consideração as seguintes hipóteses (FAA, 1983):

- Presença de pista de taxi paralela ao longo de toda a pista de pouso e decolagem com múltiplas entradas e cruzamentos;
- Ausência de limitação do espaço aéreo; e
- Ao menos uma pista equipada com ILS.

O método descrito no documento leva em consideração aspectos que envolvem basicamente como dados de entrada: o mix de aeronaves, classificado conforme Tabela 1, porcentagens de pouso e toque e arremetida em horário pico, configuração e tipo de uso da pista principal, quando se tratar de mais de uma pista principal, considerar então a posição relativa entre as mesmas e o tipo de operação do Aeroporto (*Visual Flight Rules – VFR ou Instrumental Flight Rules IFR*).

Tabela 1 – Classificação da Aeronaves

Classe de Aeronaves	Peso Máximo de Decolagem (PMD)	Número de Motores	Classificação da Esteira de Turbulência
A	5700 Kg <	Um	Leve
B		Mais de Um	
C	5700 Kg < PMD < 136.000 Kg	Mais de Um	Grande
D	>136.000 Kg	Mais de Um	Pesada

Fonte: Adaptado da FAA – AC 150/5060-5,1983.

Classifica-se as aeronaves no horário pico, de acordo com a Tabela 1 acima e calcula-se então o índice-mix pela expressão:

$$\text{Índice} - \text{mix} = \%C + 3.\%D \quad (1)$$

Feito o cálculo do Índice mix, a capacidade de pista pode ser determinada de acordo com a figura 3.3 (ANEXO A) para operação VFR e figura 3.43 (ANEXO B) para operação IFR, figuras estas apresentadas na AC 150/5060-5, selecionadas de acordo com o design do tipo de pista e a que operação a mesma se destina: se apenas pouso ou decolagem ou ambas as operações. O Aeroporto Internacional do Recife tem uma configuração de pista única e a mesma é destinada as ambas operações de pouso e decolagem.

A etapa final calcula-se a Capacidade Horária Básica, parâmetro de saída obtido por meio de ábacos presentes nas figuras 3.3 e 3.43, conforme descrito acima e em função de dados de entrada como o Índice-mix de aeronaves e o percentual de chegadas. Multiplica-se então a Capacidade Horária Básica por coeficientes que envolvem operações de toque e arremetida e o número de taxiways de saída na pista principal, tabelas estas presentes nas figuras 3.3 e 3.43 e que variam de acordo com a operação VFR ou IFR (FAA, 1983).

Por ser um método reconhecido internacionalmente e de fácil utilização, optou-se por este método para análise do cálculo da capacidade de pista do Aeroporto de Recife. Além disso, a pista de Recife obedece a todas as hipóteses requeridas pelo método.

2.2.2 Método FAA adaptado INFRAERO.

Proposto em 2002 pela INFRAERO, consiste no cálculo da capacidade de pista tendo como referência a Metodologia da FAA até a etapa do cálculo da Capacidade horária básica e leva em consideração as seguintes premissas segundo Infraero (YUGUE, 2013):

- Porcentagem iguais de pouso e decolagem; e
- Ausência de limitação do espaço aéreo.

Para o cálculo da capacidade, são necessários os parâmetros descritos abaixo:

- Mix de aeronaves;
- Número e pistas e posição relativas das mesmas;
- Presença de pistas de táxi;
- Número e posição dos acessos à pista; e

- Instrumentação de auxílios à navegação existentes.

Ainda de acordo com Yugue (2013):

“A capacidade horária da pista pode ser calculada pelo produto da capacidade encontrada na circular da FAA de acordo com o índice-MIX por dois fatores de correção”.

O primeiro fator de correção representado pela Tabela 2, diz respeito ao layout do sistema de pista, anexando ao cálculo da capacidade a presença ou não de pista de táxi e a posição da mesma em relação a pista principal.

Tabela 2 – Fator de correção da capacidade de pista devido layout do sistema de pistas.

Sistema de Pista de Pouso e Decolagem	Fator de Correção
Apenas uma saída localizada em qualquer posição ao longo da pista	0,30
Apenas uma saída e uma pista de taxi de acesso a uma das cabeceiras	0,50
Pista de taxi paralela com acesso a ambas as cabeceiras	0,70
Pista de taxi paralela com acesso a ambas as cabeceiras e uma saída intermediária	0,88
Pista de taxi paralela com acesso a ambas as cabeceiras e duas ou três saídas intermediárias	0,94
Pista de taxi paralela com acesso a ambas as cabeceiras e quatro ou mais saídas intermediárias	1

Fonte: Adaptado de Yugue,2013.

O segundo fator de correção diz respeito à presença dos auxílios a navegação aérea presentes na pista. A tabela abaixo apresenta tais valores de correção em função das facilidades da pista (TABELA 3).

Tabela 3 – Fator de correção da capacidade de pista devido as Instalações de Auxílio à navegação aérea.

Instalações do aeroporto	Fator de Correção
Radar, ILS, ALS, VOR, DME, NDB (facultativo),PAPI ou VASIS	1
ILS, ALS (facultativo) ou Radar, VOR, DME, NDB (facultativo), PAPI ou VASIS	0,96
VOR, DME (facultativo) ou Radar, NDB, PAPI ou VASIS	0,9
VOR ou NDB, PAPI ou VASIS(facultativo)	0,87

Fonte: Adaptado de Yugue,2013.

A presença destes dois fatores de correção têm como proposta fazer uma adaptação da Metodologia proposta pela FAA para a realidade dos aeroportos brasileiros, pois o modelo americano tem como premissas a presença de pista de taxi paralela ao longo de toda a pista de pouso e decolagem com várias entradas e sem cruzamentos e de que, ao menos, uma pista é equipada com ILS, o que não é realidade dos principais sistemas de pistas brasileiros.

2.2.3 Manual do Comando da Aeronáutica.

No Brasil, o método de Cálculo de capacidade de pista é feito pelo CGNA e tem como documento norteador a MCA 100-14 “Capacidade do Sistemas de Pistas”, publicada em 2009.

A metodologia para cálculo da capacidade horária de pista, usa o tempo médio de ocupação de pista. Como hipótese leva em consideração a possibilidade de ocorrência de uma decolagem entre dois pousos seguidos, com a separação mínima regulamentar (SMR) apresentada na ICA 100-12 Regras do Ar.

No cálculo da capacidade de pista categoriza-se o movimento de aeronaves no período de pelo menos uma semana de acordo com a velocidade de cruzamento das aeronaves na cabeceira, conforme Tabela 4 apresentada abaixo, considera-se que o tempo de ocupação de pista calculado nos passos posteriores deve pertencer a um dos dias levantados da semana em estudo.

Tabela 4 – Categoria das Aeronaves.

Categoria	Velocidade de Cruzamento na Cabeceira (kt)
A	90 kt<
B	91 kt a 120 kt
C	121 kt a 140 kt
D	141 kt a 165 kt
E	166 kt a 210 kt

Fonte: BRASIL, 2015.

Calcula-se então o tempo médio de ocupação no pouso (TOPP) e o tempo médio de ocupação de pista na decolagem (TOPD). Posteriormente, verifica-se o tempo de ocupação de pista por categoria de aeronaves (MATOP) através da média aritmética simples entre o TOPP e TOPD para cada categoria das aeronaves. Ressalta-se que este processo é feito para ambas as cabeceiras da pista e que o TOPP considera o tempo de ocupação de pista durante o pouso contado no momento do cruzamento da cabeceira até abandonar a pista e o TOPD como o tempo de decolagem a partir do momento que a aeronave abandona o ponto de espera até o cruzamento da cabeceira oposta.

O passo seguinte consiste em calcular o tempo médio ponderado de ocupação de pista (TMOP) que basicamente é a média ponderada entre os tempos de ocupação de pista por categoria de aeronave (MATOP), utilizando o MIX de aeronaves como fator de ponderação. Ressalta-se que o tempo médio de ocupação de pista (TMOP) deve ser calculado para cada

cabeceira de pista do aeródromo, devido as variadas configurações de pistas de táxi para cada cabeceira utilizável. Segue tabelas abaixo (TABELAS 5,6,7,8 e 9) com os valores apresentados por incógnitas para melhor entendimento dos cálculos.

Tabela 5 – Tempo médio de ocupação de pista durante o pouso (TOPP).

CABECEIRA 1		CABECEIRA 2	
CATEGORIA	TOPP (s)	CATEGORIA	TOPP (s)
A	a	A	f
B	b	B	g
C	c	C	h
D	d	D	i
E	e	E	j

s = segundos. Fonte: Do autor.

Tabela 6 – Tempo médio de ocupação de pista durante a decolagem (TOPD).

CABECEIRA 1		CABECEIRA 2	
CATEGORIA	TOPD (s)	CATEGORIA	TOPD (s)
A	k	A	p
B	l	B	q
C	m	C	r
D	n	D	s
E	o	E	t

s = segundos. Fonte: Do autor.

Tabela 7 – Média Aritmética entre TOPP e TOPD (MATOP).

CABECEIRA 1		CABECEIRA 2	
CATEGORIA	MATOP (s)	CATEGORIA	MATOP (s)
A	$\frac{a + k}{2}$	A	$\frac{f + p}{2}$
B	$\frac{b + l}{2}$	B	$\frac{g + q}{2}$
C	$\frac{c + m}{2}$	C	$\frac{h + r}{2}$
D	$\frac{d + n}{2}$	D	$\frac{i + s}{2}$
E	$\frac{e + o}{2}$	E	$\frac{j + t}{2}$

s = segundos. Fonte: Do autor.

Tabela 8 – Tempo Médio de Ocupação de Pista (TMOP) para Cabeceira 1.

CABECEIRA 1		
CATEGORIA	MATOP (s)	Índice Mix (%)
A	$\frac{a + k}{2}$	K
B	$\frac{b + l}{2}$	W
C	$\frac{c + m}{2}$	X
D	$\frac{d + n}{2}$	Y
E	$\frac{e + o}{2}$	Z
TMOP 1 (s)	$K \cdot \frac{a + k}{2} + W \cdot \frac{b + l}{2} + X \cdot \frac{c + m}{2} + Y \cdot \frac{d + n}{2} + Z \cdot \frac{e + o}{2}$	

s = segundos. Fonte: Do autor.

Tabela 9 – Tempo Médio de Ocupação de Pista (TMOP) para Cabeceira 2.

CABECEIRA 2		
CATEGORIA	MATOP (s)	Índice Mix (%)
A	$\frac{f + p}{2}$	K
B	$\frac{g + q}{2}$	W
C	$\frac{h + r}{2}$	X
D	$\frac{i + s}{2}$	Y
E	$\frac{j + t}{2}$	Z
TMOP 2 (s)	$K \frac{f + p}{2} + W \cdot \frac{g + q}{2} + X \cdot \frac{h + r}{2} + Y \cdot \frac{i + s}{2} + Z \cdot \frac{j + t}{2}$	

s = segundos. Fonte: Do autor.

O cálculo da capacidade física de pista, para o intervalo de uma hora (CFP), é apresentado abaixo, sendo a equação 2 para a Cabeceira 1 e a equação 3 para a Cabeceira 2.

$$\frac{3600 \text{ segundos}}{\left(K \cdot \frac{a+k}{2} + W \cdot \frac{b+l}{2} + X \cdot \frac{c+m}{2} + Y \cdot \frac{d+n}{2} + Z \cdot \frac{e+o}{2}\right)} \quad \text{mov/h} \quad (2)$$

$$\frac{3600 \text{ segundos}}{\left(K \cdot \frac{f+p}{2} + W \cdot \frac{g+q}{2} + X \cdot \frac{h+r}{2} + Y \cdot \frac{i+s}{2} + Z \cdot \frac{j+t}{2}\right)} \quad \text{mov/h} \quad (3)$$

O cálculo da capacidade física do aeroporto (CFA) é o resultado da média ponderada entre os valores da capacidade física de pista (CFP), ponderados pelo percentual anual de utilização das cabeceiras, de acordo com a equação abaixo (EQUAÇÃO 4):

$$\left(\frac{3600 \text{ segundos}}{\left(K \cdot \frac{a+k}{2} + W \cdot \frac{b+l}{2} + X \cdot \frac{c+m}{2} + Y \cdot \frac{d+n}{2} + Z \cdot \frac{e+o}{2}\right)}\right) \cdot \%C1 + \frac{3600 \text{ segundos}}{\left(K \cdot \frac{f+p}{2} + W \cdot \frac{g+q}{2} + X \cdot \frac{h+r}{2} + Y \cdot \frac{i+s}{2} + Z \cdot \frac{j+t}{2}\right)} \cdot \%C2 \quad (4)$$

Onde %C1 corresponde ao percentual anual de utilização da cabeceira 1 e %C2 o percentual anual de utilização da cabeceira 2.

Coleta-se também por categoria das aeronaves o tempo gasto de voo entre o marcador externo e a cabeceira da pista. Após, conhecendo-se o comprimento do segmento da aproximação final, divide-se tal valor pelo tempo médio de voo percorrido entre o marcador externo e a cabeceira da pista e calcula-se a velocidade de aproximação por categoria, passo este apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Velocidade de Aproximação por Categoria de Aeronaves.

CATEGORIA	TEMPO (s)	VELOCIDADE (m.n/s)
A	t_a	$\frac{\Delta Ap}{t_a}$
B	t_b	$\frac{\Delta Ap}{t_b}$
C	t_c	$\frac{\Delta Ap}{t_c}$
D	t_d	$\frac{\Delta Ap}{t_d}$
E	t_e	$\frac{\Delta Ap}{t_e}$
<i>Distância na Aproximação Final = ΔAp</i>		

s = segundos; m.n/s= milhas náuticas por segundo. Fonte: Do autor.

Com as velocidades de aproximação por categoria calcula-se a velocidade média ponderada para aproximação final (VMP), através da ponderação das velocidades de aproximação por categoria pelas suas respectivas porcentagens do mix de aeronaves, de acordo com a expressão abaixo.

$$K \cdot \frac{\Delta Ap}{t_a} + W \cdot \frac{\Delta Ap}{t_b} + X \cdot \frac{\Delta Ap}{t_c} + Y \cdot \frac{\Delta Ap}{t_d} + Z \cdot \frac{\Delta Ap}{t_e} \quad \text{m. n/s} \quad (5)$$

Determina-se então uma separação de segurança (SS) que é calculada como sendo a velocidade média ponderada para aproximação final (VMP) multiplicada pelo tempo médio de ocupação de pista (TMOP). Soma-se então a (SS) à separação mínima regulamentar (SMR) de tal maneira a possibilitar a decolagem de uma aeronave entre dois pousos consecutivos. Por fim, chega-se a separação total (ST).

$$SS = VMP \cdot TMOP \quad (6)$$

$$ST = SS + SMR \quad (7)$$

O quociente entre ST e VMP, obtém-se o Tempo Médio Ponderado entres dois pousos consecutivos (TMST). Dividindo-se uma hora pelo TSMT, encontra-se o número de pousos (P) possíveis com a separação proposta. Subtraindo-se uma aeronave do total de pousos, chega-se ao número possível de decolagens (D). Por fim o cálculo da capacidade teórica de pista (CTP) se dá pela soma do número de pousos (P) e número de decolagens (D). Abaixo apresenta-se o passo final desta metodologia.

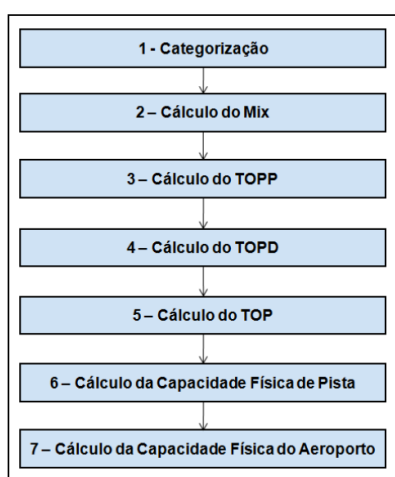
$$\frac{ST}{VMP} = TMST \quad (8)$$

$$\frac{3600 \text{ segundos}}{TMST} = P \quad (9)$$

$$CTP = P + (P - 1) \quad (10)$$

Para melhor entendimento do fluxo de cálculos, a Figura 2 abaixo apresenta um quadro resumo dos passos necessários até chegar ao cálculo da capacidade de pista, de acordo com a MCA 100-14.

Figura 2 – Etapas para cálculo da capacidade de pista.



Fonte: CASTELO BRANCO, 2009.

3. ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL GILBERTO FREYRE.

Nesta etapa do projeto apresenta-se todo o passo-a-passo seguido para o cálculo da capacidade da pista 18/36 do Aeroporto de Recife, sendo que toda metodologia é baseada no Capítulo 3 da circular AC 150/5060-5/1983, na qual são elencadas algumas hipóteses do modelo:

- Os valores se baseiam nas regras e práticas de controle de tráfego aéreo observadas nos aeroportos norte-americanos;
- Porcentagens iguais de chegadas e partidas;
- Saídas e acessos de pista suficientes e sem cruzamento;
- Espaço aéreo sem limitações;
- Pelo menos uma pista equipada com ILS, o que é o caso do Aeroporto de Recife, pois opera com procedimento de precisão na cabeceira da pista 18;
- Para o cálculo anual considera-se 10% do tempo em operação VFR.

A partir disto pode-se elencar uma sequência de passos a serem seguidos para o cálculo da capacidade de pista do aeroporto de Recife. Inicialmente calcula-se tomando como base dados do movimento de aeronaves do ano de 2019, devido a ser um ano em que a aviação não tinha ainda sido atingida pela pandemia de COVID-19 levando-se também em consideração a não construção das taxiways N,A,V e P, ou seja, a situação atual do aeródromo, posteriormente analisa-se novamente o método já feito, porém com a alteração do parâmetro de fator de saída “N” alterado, devido a construção das novas taxiways.

I) Determina-se o Mix das Aeronaves de Categoria C e D

Nesta etapa calcula-se o Índice Mix das Aeronaves C e D, referente ao ano de 2019 no Aeroporto do Recife. Dados extraídos do movimento de aeronaves de categorias A e D (TABELA 11), provenientes de microdados coletados no site da ANAC, no mês pico, do dia pico e hora pico, após análise de dados do relatório de movimento de aeronaves do Aeroporto de Recife. É importante ressaltar que neste trabalho foi analisado a hora-pico do dia-pico do mês pico (ANAC, 2019).

Tabela 11- Classificação das Aeronaves

Classe da Aeronave	Peso Máximo de Decolagem (PMD)	Número de Motores	Classificação Esteira de Turbulência
A	5700 kg<	1	<i>Small (S)</i>
B		2	
C	5700kg - 136.000kg	Mais de 1	<i>Large (L)</i>
D	>136.000kg	Mais de 1	<i>Heavy (H)</i>


Fonte: AC 150/5060-5/1983.

O valor do **índice-mix**= (%C) +(3. %D). Desta fórmula percebe-se a importância da determinação do percentual de grandes aeronaves, pois são estas levadas em conta na metodologia.

II) Escolhe-se a configuração de pista que melhor representa a utilização de pista do Aeroporto do Recife, levando em consideração o design do sistema de pistas: pista única, duas pistas paralelas com separação convencional, duas pistas transversais etc; e a configuração das operações: destinadas somente ao pouso, apenas para decolagens ou ambas as operações.

No Aeroporto Internacional Gilberto Freyre tem-se uma pista única destinada simultaneamente a pousos e decolagens o que leva-se a considerar para os cálculos seguintes a Figura 3-3, conforme anexo A, para avaliação em condições VFR e Figura 3-43, conforme anexo B, para IFR, demonstrados no modelo abaixo (FIGURA 3).

Figura 3 – Diagrama do uso de pista e figura a ser escolhida para cálculo da capacidade de pista básica.

RUNWAY USE DIAGRAM	DIAG. NO.	RUNWAY SPACING ^A IN FEET (s)	FIGURE NO.			
			FOR CAPACITY		FOR DELAY	
			VFR	IFR	VFR	IFR
	1	N.A.	3-3	3-43	2-70	2-89

Fonte: AC 150/5060-5/1983).

III) Cálculo da Capacidade Horária:

Calcula-se a capacidade horária básica (C*), determinada pelo índice-mix de aeronaves e a porcentagem de aeronaves para pouso, posteriormente determina-se o fator de toque e arremetida (T) e fator de saída (E). Os valores de C*, T e E são obtidos por meio de ábacos e tabelas presentes nas figuras 3-3 para o aeródromo operando em condições VFR e 3-43 para condições IFR, figura estas representadas pelos anexos A e B, respectivamente. É importante

ressaltar que foi considerado para o fator de saída “E” dois cenários, com e sem a construção das taxiways “N”, “A”, “V” e “P”, nesta etapa verifica-se a diferença da Capacidade Horária entre os dois casos, devido o fator de saída E. Algumas considerações no cálculo do fator saída E, devem ser consideradas como:

- Uma saída só pode ser considerada efetiva se sua localização for dentro do intervalo de distância a partir da cabeceira e determinado pelo mix de aeronaves.
- As saídas devem ser espaçadas por pelo menos 750 pés (225 metros), caso contrário será considerada uma saída apenas.

$$C_{IFR} = C_{IFR}^* \cdot T \cdot E \quad (11)$$

$$C_{VFR} = C_{VFR}^* \cdot T \cdot E \quad (12)$$

IV) Cálculo da Capacidade Balanceada de pista através da expressão:

Pondera-se o valor da Capacidade Horária pela quantidade de procedimentos visuais e por instrumentos no período considerado, obtendo a capacidade de todo o sistema de pistas (C_w).

$$C_w = \%VFR \cdot C_{VFR} + \%IFR \cdot C_{IFR} \quad (13)$$

3.1 Caracterização do Aeroporto de Recife.

O Aeroporto Internacional de Recife/Guararapes – Gilberto Freyre faz parte do bloco nordeste de concessão junto com os aeroportos de Maceió, Aracaju, João Pessoa, Campina Grande e Juazeiro do Norte, foi concedido para iniciativa privada por um leilão realizado em março de 2019, no qual estabeleceu-se o período de concessão de 30 anos para a empresa Aena Desarrollo Internacional.

Em um sítio aeroportuário de cerca de 4.2 milhões de m² o aeroporto possui uma única pista principal com comprimento de 3007 m x 45 m, 11 pontes de embarque, capacidade para 21 posições de estacionamento de aeronaves e um terminal de passageiros com área de 52.000 m². Este sistema de infraestrutura aeroportuário permite a capacidade de movimentação de aproximadamente 8.7 milhões de passageiros/ano, assim como uma movimentação diária por

volta de 24.800 pessoas, dados estes fornecidos no site da própria Aena (AENA BRASIL, 2020).

Quanto as condições meteorológicas do aeródromo, com base em dados coletados de METAR de novembro de 2014 a outubro de 2017, dados estes apresentados no EVTE do Aeroporto de Recife pelo consórcio GCA, conclui-se que 96,3 % do tempo as condições meteorológicas são VMC, ou seja visibilidade maior que 5 km e teto maior que 1500 pés e em relação ao vento 90,2% do tempo favorece o uso da cabeceira 18 (AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE, 2018).

Segundo o anuário estatístico de 2021 disponibilizado pelo CGNA, o aeródromo é o 7º colocado no ranking de aeródromos com uma média diária de 213 movimentos, ocupando assim o primeiro lugar nas regiões norte/nordeste do país. No que tange as classes de aviação presente no aeródromo, 85% do movimento de aeronaves são da aviação comercial, 12% para aviação geral e 3% destinado a aviação militar (CGNA, 2021).

Ressalta-se que dos 85% do movimento de aeronaves que são da aviação comercial, 98,6% dos movimentos tiveram como destino e origem aeroportos nacionais, sendo os maiores fluxos de voos destinados a aeroportos da região nordeste e sudeste e quando se fala dos principais trechos voados como origem o aeroporto do Recife, temos os aeroportos de Guarulhos, Congonhas e Fortaleza. Em relação ao ranking de rotas internacionais saindo ou chegando do aeroporto de Recife a outros países, a maior parte se destina a países da Europa e têm Lisboa em Portugal seu maior fluxo de tráfego internacional com mais de 70% dos movimentos de aeronaves entre as duas cidades.

3.2 Calculo da capacidade de pista atual.

Foram coletados e tratados os dados de movimentos de aeronaves disponibilizados no site da ANAC, e seguiu-se os passos seguintes:

- I) Determina-se o Mix das Aeronaves de Categoria C e D.

Nesta fase foram coletados microdados dos movimentos de aeronaves no aeroporto do Recife no ano de 2019, estes dados foram coletados no site da (ANAC, 2019).

Conforme o Anuário estatístico de tráfego aéreo 2019 feito pelo CGNA, o aeroporto do Recife no referido ano teve o maior movimento de aeronaves nos meses de Janeiro, Outubro e

Dezembro, sendo assim foram analisados os dados de movimentos de aeronaves dos referidos meses sendo apresentado uma tabela resumo abaixo (CGNA, 2019).

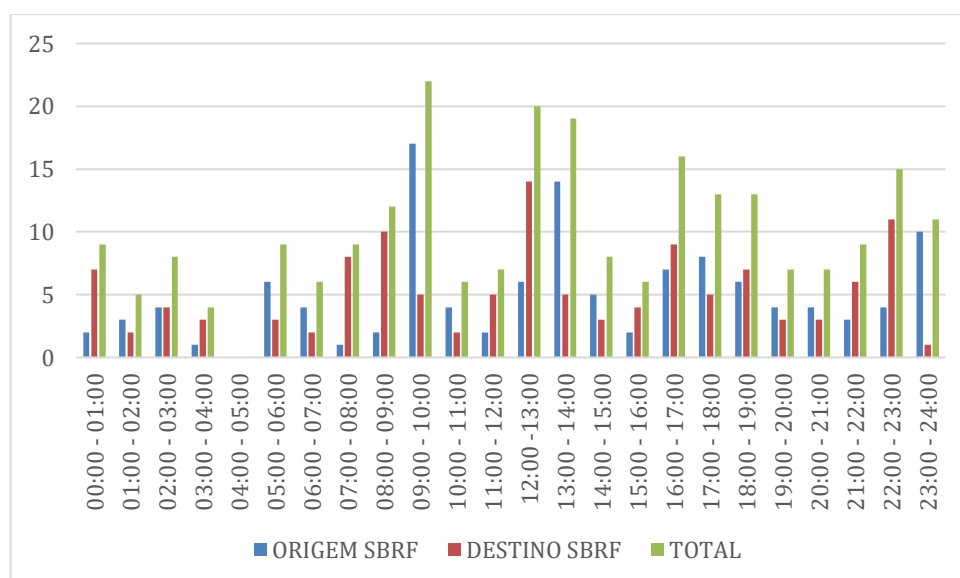
Tabela 12- Movimentação de Aeronaves em Janeiro, Outubro e Dezembro no Aeroporto do Recife (2019).

Mês	Aeronaves com origem em Recife	Aeronaves com destino a Recife	Total	Dia Pico
Janeiro	112	114	226	22/01/2019
Outubro	105	106	211	29/10/2019
Dezembro	119	122	241	20/12/2019

Fonte: ANAC, 2019.

A partir da tabela acima (TABELA 12), conclui-se que no dia 20/12/2019 foi constatado o dia pico no aeroporto do Recife, desta maneira se faz necessário o cálculo do movimento de aeronaves na hora pico deste dia para que assim seja possível calcular a porcentagem de aeronaves categoria C e D na hora pico e por consequência o cálculo do índice mix de aeronaves. Na tabela abaixo observa-se os resultados do referido dia em estudo (FIGURA 4).

Figura 4 - Movimento de Aeronaves em Recife, 20/12/2019.



Fonte: Do autor.

Conclui-se então, que no referido dia no intervalo entre 09:00hs – 10:00hs foi o período com o maior movimento de aeronaves de 22 movimentos, sendo 17 aeronaves partindo do aeroporto de Recife e 5 chegando no mesmo intervalo.

Próximo passo foi verificar quais tipos de aeronaves e classificá-las conforme a (TABELA 11). Já os dados da hora pico foram analisados e apresentados abaixo na Tabela 13, onde foi apresentado o mix de aeronaves do dia pico e hora pico estudado.

Tabela 13- Mix de Aeronaves em Recife na hora pico 09-10hs do dia 20/12/2019.

Equipamento	Aeronaves com origem em Recife	Aeronaves com destino a Recife	Classificação da Aeronave
AT72	4	0	C
AT76	1	0	C
A332	1	0	D
A20N	6	0	C
A320	0	1	C
B733	0	1	C
B737	2	1	C
B738	1	2	C
E195	2	0	C
TOTAL	17	5	-

Fonte: Do autor.

Logo pela interpretação da (TABELA 13) acima, teremos um total de 21 aeronaves categoria “C” e 1 aeronave categoria “D”. É importante ressaltar que para o cálculo do mix de aeronaves é considerado a porcentagem de movimentos de aeronaves categoria C e D na hora pico do dia pico.

Com os dados obtidos calcula-se então o mix de aeronaves, conforme apresenta-se abaixo:

$$\text{Índice} - \text{mix} = \%C + 3. \%D \quad (14)$$

$$\text{i) } \%C = 100\% \cdot \frac{21}{22} \quad 3. \%D = 3 \cdot 100\% \cdot \frac{1}{22}$$

$$\text{ii) } \text{Índice} - \text{mix} = 100\% \cdot \left(\frac{21}{22} + 3 \cdot \frac{1}{22} \right) = 109,09 \%$$

O próximo passo será então determinar a porcentagem pousos.

II) Determinação da porcentagem de pousos.

Foi determinada a média do movimento de aeronaves com destino ao aeroporto de Recife nos meses de Janeiro/2019, Outubro/2019 e Dezembro/2019, assim como do dia 20/12/2019 e do horário pico do referido dia, abaixo na Tabela 14, observa-se os valores calculados.

Tabela 14- Porcentagem de Chegadas no Aeroporto do Recife

% de Aeronaves com destino a Recife	
Janeiro de 2019	50
Outubro de 2019	50
Dezembro de 2019	50
20/12/2019	50
09-10 do dia 20/12/2019	23

Fonte: Do autor.

A partir da tabela acima (TABELA 14), adota-se uma entre as 3 porcentagens de chegadas para aplicação do método: 40%, 50% e 60%. A partir da análise descrita no modelo do documento anexado para cálculo da capacidade horária para aeródromos operando em condições VFR (ANEXO A) e para cálculo da capacidade horária para aeródromo operando em condições IFR (ANEXO B), pode-se concluir que para um mesmo índice de mix de aeronaves, no geral quanto maior o percentual de aeronaves chegando no aeródromo, menor será a capacidade horária básica C^* que por consequência chega-se a valores menores no cálculo da capacidade horária.

A partir do que foi dito anteriormente com a finalidade de não super mensurar o cálculo da capacidade horária do aeroporto do Recife, utilizou-se o percentual de chegadas como sendo de 50% nas próximas etapas.

III) Escolhe-se a configuração de pista que melhor representa a utilização de pista.

Figura 5 – Aeroporto do Recife



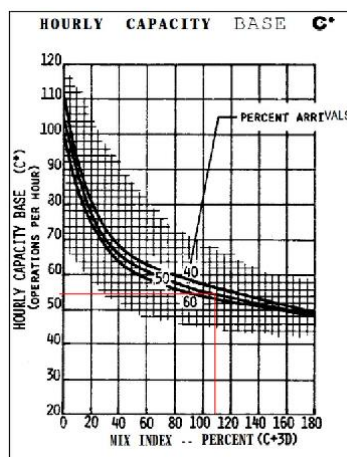
Fonte: Google Earth

Conforme Figura 5, no aeroporto do Recife tem-se apenas uma pista para uso simultâneo de pouso e decolagem, com uso predominante durante a maior parte do ano, cerca de 90% da cabeceira 18, de acordo com dados da EVTE sobre análises meteorológicas de Recife (AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE, 2018). Sendo assim utiliza-se para o cálculo da capacidade horária em condições VFR a figura 3-3 do AC 150/5060-5/1983, representado neste trabalho no anexo A e para avaliação em condições IFR a figura 3-43 do mesmo documento representado pelo anexo B.

IV) Cálculo da Capacidade Horária do Aeroporto de Recife.

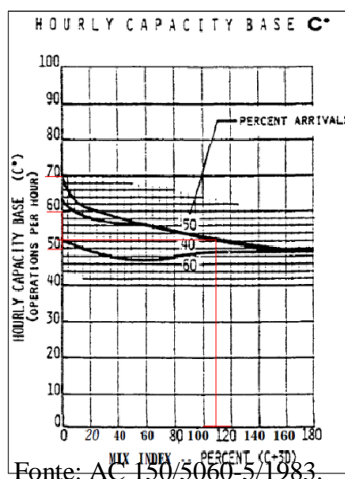
Abaixo apresenta-se através da Figura 6 o cálculo da Capacidade horária básica (C^*) para condições VFR. Na ordenada do mix de aeronaves utiliza-se o valor de 109,09% que foi rebatido para a ordenada y (capacidade horária básica) utilizando a curva correspondente a porcentagem de pouso de 50%, acha-se então o valor de 54 movimentos.

Figura 6 – Gráfico para determinar o C^*_{VFR}



Fonte: AC 150/5060-5/1983.

Processo análogo foi feito para determinar o C^*_{IFR} e chega-se no valor de 52 movimentos, conforme apresentado pela figura abaixo (FIGURA 7).

Figura 7 – Gráfico para determinar o C^*_{IFR} 

O passo seguinte foi calcular o fator T (relacionado com o movimento de aeronaves que realizam o procedimento de toque e arremetida no aeródromo em estudo). O método determina que para aeródromos operando em condições visuais seja utilizado o fator $T=1$ para um índice mix entre 0-180%, pois o índice mix calculado anteriormente foi de 109,09% e o valor de $T=1$ para aeródromos operando em condições por instrumento.

A etapa final consiste no cálculo do fator saída T que nesta fase foi calculado levando em consideração as taxiways existentes antes da expansão do aeródromo. Abaixo apresenta-se a Figura 8, retirada através do google Earth, com a representação das taxiways existentes no ano de 2019.

Figura 8 – Aeroporto do Recife 2019 com indicação das Taxiways

Fonte: Google Earth (Adaptado).

Para o cálculo do fator saída leva-se em consideração que para o parâmetro N somente serão contabilizados duas taxiways consecutivas espaçadas com pelo menos 750 pés ou 228,6

metros, como descrito na Tabela 15, abaixo apresenta-se um quadro resumo com as distâncias entre as taxiways para que se verifique o número de saídas.

Tabela 15- Distância entre Taxiways Aeroporto do Recife – 2019

Distância em metros	
Taxiway M - B	1050
Taxiway B - L	780
Taxiway L - C	720
Taxiway J - G	350
Taxiway G - F	350
Taxiway F - E	500
Taxiway E - D	700

Fonte: Do autor.

O método também determina que somente sejam analisadas taxiways que estejam dentro de um determinado intervalo que varia conforme o índice-mix de aeronaves e o tipo de operação do aeródromo que para o intervalo de 81-120 % é necessário que se analise somente as taxiways presentes no intervalo entre 5000 pés a 7000 pés da cabeceira da pista, seja para o aeródromo operando em condições visuais seja operando por condições por instrumento, ou seja serão contabilizados taxiways no intervalo entre 1524 metros a 2133,6 metros. A figura abaixo, apresenta duas linhas que descrevem a distância de 5000 pés e 7000 pés a partir cabeceira da pista (FIGURA 9).

Figura 9 – Aeroporto do Recife (2019) intervalo 5000’-7000’



Fonte: Google Earth (Adaptado).

A partir da figura acima pode-se concluir então que o número de saídas que foi contabilizado no gráfico corresponde a N=3, pois estão presentes dentro do intervalo considerado as taxiways F,E e L. Ressalta-se também que é atendido o critério de duas taxiways

consecutivas serem espaçadas de pelo menos 228,6 metros o que é o caso do espaçamento entre as taxiways F e E, cerca de 500 metros.

Concluída a escolha do número de saídas, calculou-se a capacidade horária do aeroporto de Recife, abaixo apresenta-se através de um quadro resumo os resultados que foram encontrados para cada caso (TABELA 16).

Tabela 16- Quadro resumo dos parâmetros para cálculo da capacidade horária do Aeroporto do Recife -2019

VFR		IFR	
C*	54	C*	52
T	1	T	1
E	0,94	E	0,92

Fonte: Do autor.

Por fim, com os parâmetros encontrados o cálculo da capacidade horária do aeroporto do Recife foi $C_{VFR}=54.1.0,94= 51$ movimentos/hora e o $C_{IFR}=52.1.0,92= 48$ movimentos/hora.

V) Cálculo da Capacidade Balanceada de pista através da expressão:

$$C_W = \%VFR. C_{VFR} + \%IFR. C_{IFR} \quad (15)$$

No período pico considerado, do dia 20/12/2019 de 09:00 – 10:00 hs, foi considerado que cerca de 5% dos pousos ocorreram por procedimentos visuais e o restante por instrumento.

O resultado foi então:

$$C_W = 5\%. 51 + 95\%. 48 = 48 \text{ movimentos/hora}$$

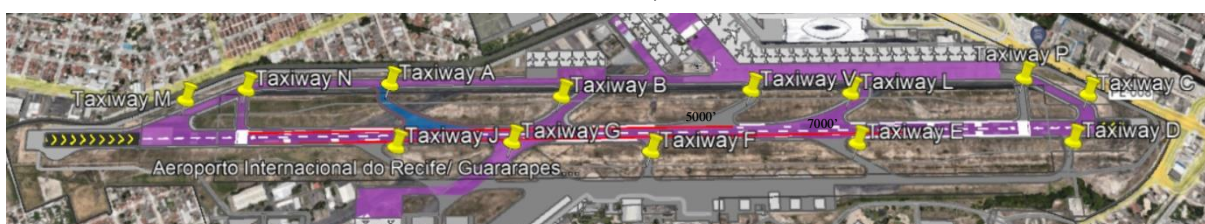
3.3 Cálculo da capacidade de pista com a construção das taxiways “N”, “A”, “V” e “P”.

Considerando-se que anteriormente já foi calculado o índice mix de aeronaves e por consequência a capacidade horária básica referente ao ano de 2019, sendo assim os parâmetros a serem utilizados foram os mesmos presentes apresentados na Tabela 16, excetuando-se os

novos parâmetros de número de saídas “E” devido a construção das novas taxiways, assim como pela diminuição prevista no comprimento da pista no EVTE do aeroporto do Recife.

Abaixo na Figura 10, apresenta-se o intervalo considerado de 5000’- 7000’ a partir da nova cabeceira de pista já deslocada para um índice mix de 109,09%, conforme planta de pavimentação fase 03, apresentada no estudo EVTE do aeródromo de Recife (AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE, 2018).

Figura 10 – Aeroporto do Recife Engenharia de Pavimentação fase 03 (intervalo 5000’- 7000’)



Fonte: Google Earth, (Adaptado).

De acordo com a Figura 10 e as Tabelas 17 e 18, pode-se inferir que com o deslocamento da cabeceira o número de saídas “N” para fins de cálculo para cômputo de saídas não se alterou, permaneceu 0,94 para operação em VFR e 0,92 para operação em condições IFR, pois as taxiways que estão presentes dentro do intervalo agora são: “V”, “E” e “L”, ao invés das taxiways “F”, “E” e “L” permanecendo assim o mesmo número de N=3.

Tabela 17- Fator Saída para condições VFR

Índice-Mix (%C+3.%D)	Intervalo de Saída (Distância em pés desde a cabeceira)	Fator Saída (E)								
		40% Percentual de Chegadas			50% Percentual de Chegadas			60% Percentual de Chegadas		
		N=0	N=1	N=2 ou 3	N=0	N=1	N=2 ou 3	N=0	N=1	N=2 ou 3
0 a 20	2000 a 4000	0,72	0,87	0,94	0,70	0,86	0,94	0,67	0,84	0,92
21 a 50	3000 a 5500	0,79	0,86	0,94	0,76	0,84	0,93	0,72	0,81	0,90
51 a 80	3500 a 6500	0,79	0,86	0,92	0,76	0,83	0,91	0,73	0,81	0,90
81 a 120	5000 a 7000	0,82	0,89	0,93	0,80	0,88	0,94	0,77	0,86	0,93
121 a 180	5500 a 7500	0,86	0,94	0,98	0,82	0,91	0,96	0,79	0,91	0,97

Fonte: AC 150/5060-5/1983 (Adaptado).

Tabela 18- Fator Saída para condições IFR

Índice-Mix (%C+3.%D)	Intervalo de Saída (Distância em pés desde a cabeceira)	Fator Saída (E)								
		40% Percentual de Chegadas			50% Percentual de Chegadas			60% Percentual de Chegadas		
		N=0	N=1	N=2 ou 3	N=0	N=1	N=2 ou 3	N=0	N=1	N=2 ou 3
0 a 20	2000 a 4000	0,81	0,91	0,96	0,33	0,35	0,39	0,32	1,00	1,00
21 a 50	3000 a 5500	0,79	0,86	0,92	0,77	0,35	0,92	0,39	0,38	1,00
51 a 80	3500 a 6500	0,81	0,97	0,93	0,77	0,33	0,91	0,90	0,38	1,00
81 a 120	5000 a 7000	0,83	0,89	0,94	0,30	0,36	0,92	0,33	0,91	0,97
121 a 180	5500 a 7500	0,86	0,94	0,98	0,33	0,91	0,96	0,79	0,39	0,95

Fonte: AC 150/5060-5/1983 (Adaptado).

Ressalta-se ainda que a distância entre as taxiways “V” e “L” cumprem a distância mínima prevista pelo método de pelo menos 750 pés de distância, no caso em estudo a distância entre as mesmas é de cerca de 1000 pés.

Sendo assim, os valores dos cálculos subsequentes não se alterarão e chega-se ao mesmo resultado apresentado anteriormente, considerando que cerca de 5% dos pousos ocorreram por procedimentos visuais e o restante por instrumento, o valor de 48 movimentos/hora se repete.

4. DISCUSSÕES DE RESULTADO

Mckinsey & Company (2010) afirma que o crescimento acelerado no setor aeroportuário trouxe para o setor desafios de capacidade e estima-se que para o lado ar com relação ao sistema de pistas, grandes aeroportos no Brasil como Guarulhos, Brasília e Porto Alegre precisarão de investimentos até 2030. Na região norte/nordeste aeroportos como Recife e Salvador necessitarão de investimentos também até o ano 2030.

Em relação ao lado terra o mesmo autor ressalta a precária infraestrutura dos principais aeroportos da região de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e outros grandes aeroportos do Brasil em relação aos terminais de passageiros, de tal maneira que dos 20 aeroportos analisados 10 já se encontravam saturados, 4 atingiriam o pico em 2014, Curitiba e Recife em 2020 e os 4 restantes em 2030 (MCKINSEY & COMPANY, 2010).

Dados do CGNA (2022) sobre a capacidade do sistema de pistas dos principais aeroportos do Brasil estes são apresentados pelo CGNA em seu portal operacional apresenta o movimento de 38 movimentos/hora no Aeroporto do Recife, vale lembrar que os valores estipulados pelo CGNA representam, segundo informações daquela instituição, 80% da capacidade teórica máxima.

Neste estudo, o valor alcançado usando o método da FAA foi de 48 movimentos/hora para ambos os cenários, ou seja, uma diferença de cerca de 26% maior, tomando-se como base o movimento de cálculo de aeronaves feito pelo CGNA.

Os resultados obtidos pelo método da FAA demonstram valores maiores e isso pode ser atribuída a não adesão da realidade brasileira às condições de operação consideradas pela FAA, de fato, a separação entre tráfegos mantida nos órgãos de controle de tráfego aéreo americano é cerca da metade do que se mantém no Brasil.

Não foram encontrados muitos estudos que usem o método da FAA para cálculo da capacidade de pista no aeroporto de Recife para fins de comparação, a não ser o que foi realizado por Alves e colaboradores que usa dados do movimento de aeronaves de 2010 e obtém-se o valor de 50 movimentos/hora, próximo ao valor obtido neste estudo de 48 movimentos/hora (ALVES; FRAGA, 2012).

De acordo com o EVTE o início das obras para construção da taxiway “N” prevista para fase II é de 2027 a 2028 e para taxiway “P” prevista para fase III de 2037 a 2038, as mesmas tem como finalidade se ter acesso mais rápido as novas cabeceiras deslocadas, enquanto que a taxiway “A” com construção para fase III teria como função saída rápida de pista para pouso

na cabeceira 36 e taxiway “V” prevista também para mesma fase e com a mesma função, porém na cabeceira oposta. Ressalta-se que a construção das taxiways são determinadas através da comparação e evolução entre a capacidade instalada e a demanda prevista do sistema de pista ao longo do tempo de concessão.

Tratando-se dos motivos pelos quais são necessários a diminuição do comprimento de pista do Aeroporto de Recife segundo EVTE dos atuais 3007 metros para 2797 metros são: a falta de RESA nas duas cabeceiras da pista, assim como pelo fato de a maioria das aeronaves que operam no aeroporto serem aeronaves de no máximo categoria 4E, ou seja, aeronaves que precisam de um comprimento básico de pista acima de 1800 metros e distância entre as rodas externas do trem de pouso principal entre 9 metros e 14 metros exclusive, de acordo com o RBAC 154 (ANAC, 2021).

A metodologia utilizada no EVTE para o cálculo da capacidade horária do sistema de pista foi o preconizado na MCA 100-14 (BRASIL, 2015), porém este método usa como entrada valores de tempo coletados e cronometrados in loco, relacionados as operações de aproximação, pouso e decolagem na pista. Na impossibilidade da coleta desses dados foram gerados dados aleatórios massivos variando segundo distribuição triangular e aplicou-se o método de Monte Carlo utilizando-se como valores máximos e mínimos de velocidade de cruzamento da cabeceira, conforme aqueles estipulados na MCA 100-14 para cada categoria de aeronaves, dividiu-se também a amostra da categoria de aeronaves em estudo, de acordo com o índice mix de aeronaves calculado no EVTE.

Assim sendo, não foi seguido de forma fiel o que é descrito no Manual do Comando da Aeronáutica que é bem claro em dizer (BRASIL, 2015): “É de extrema importância que sejam seguidos, rigorosamente, todas instruções contidas neste manual, para que sejam alcançados resultados satisfatórios.”. Ou seja, no cálculo da capacidade de pista feita pelo EVTE não se levou em consideração peculiaridades relacionadas ao modus operandi dos órgãos ATC e restrições relacionadas aos modelos operacionais e manuais da torre de controle e controle de aproximação.

Por fim o encurtamento da pista e a construção de novas taxiways no Aeroporto do Recife deveria ser palco de maiores discussões e pesquisas, visando não somente adequações de seguranças previstas no RBAC 154 e questões econômicas, mas também levando em consideração outros modelos de estudo de capacidade de pista como o proposto pela FAA e INFRAERO e metodologias de simulações feitas em ambiente virtual com o uso de softwares tais como TAAM (Total Airspace and Airdrome Modeler) e o REDIM (Runway Exit Design

Interactive Model), ambos programas capazes de analisar impactos de atrasos, restrição nas operações de controle de tráfego aéreo e avaliação na melhor posição para construção de saídas de pista (ANAC, 2021).

5 CONCLUSÃO

A construção de novas taxiways, assim como da expansão do lado terra no aeroporto do Recife deveria ser palco de discussões mais aprofundadas e estudos na área de infraestrutura aeroportuária que corroborem ou não com uma positiva relação custo-benefício, no presente trabalho se pode perceber que o encurtamento da pista de pouso e decolagem com o deslocamento da cabeceira da pista, com o objetivo da construção da RESA em ambas as cabeceiras não terá efeito na prática para o aumento da capacidade do movimento de aeronaves, segundo o cálculo para capacidade de pista proposto pela FAA.

Logo, diante do que foi apresentado sugere-se que novos estudos na geometria da localização das novas taxiways sejam feitos com a finalidade de que seja aumentado o número de saída de pista no intervalo de 5000 pés a 7000 pés da cabeceira da pista 18, com o objetivo de aumentar o parâmetro N para 4, conforme o método da FAA desta maneira se chegaria efetivamente a um aumento da capacidade do movimento de aeronaves.

Quanto ao método utilizado é de extrema importância ressaltar alguns pontos que o modelo do FAA utilizado para cálculo dos sistemas de pistas dos aeroportos despreza como: questões referentes à espaço aéreo e restrições na capacidade dos sistemas de pistas provocados por tráfego de aeródromos próximos, inexistência de saídas de fim de pista, inexistência de taxiways paralelas às pistas cobrindo toda sua extensão, não são consideradas características geométricas das saídas (como diferença entre saídas rápidas em comparação com as de 90 graus) e ainda não são consideradas distâncias entre os sistemas de pistas e o pátio.

É evidente também que outras soluções poderiam ter sido discutidas, como a construção de uma nova pista paralela ou que se cruzasse a pista 18/36 o que poderia ser feita em um terreno cedido pela união do lado do pátio militar, assim como novos estudos de viabilidade técnico-econômico para a construção de novos aeródromos de grande porte na região metropolitana do Recife com a constatação da saturação no movimento de aeronaves no Aeroporto Internacional Gilberto Freyre.

REFERÊNCIAS

AENA BRASIL. **Características Aeroporto Internacional do Recife Guararapes – Gilberto Freyre**. 2020.

AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE. **Estudos de Engenharia e Afins**. Relatório 02 - Consórcio GCA. 2018.

ALEXANDER, T.W; SETH, B.Y. **Airport Plannig & Management**. 5 th Edition. McGraw-Hill, 2003. p.572.

ALVES, A.J.P; FRAGA, R. Capacidade do lado aéreo dos aeroportos brasileiros. Journal of Transport Literature. v.6, n.4. p. 178-89. 2012.

ALVES, C. J. P.; RÍOS, G. A. B. L. **Utilização de um modelo de simulação para a análise da capacidade de pista do SBKP**. Simpósio de Transporte Aéreo. Rio de Janeiro, 2008.

ANAC, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Instruções para a elaboração e apresentação das demonstrações contábeis – Microdados**. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/empresas-aereas/Instrucoes-para-a-elaboracao-e-apresentacao-das-demonstracoes-contabeis/microdados/microdados>> Acesso em: 13 ago. 2022.

ANAC, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Segurança da Aviação Civil Contra Atos de Interferência Ilícita – Operador de Aeródromo**. RBAC 107. EMENDA N°07, p.49. 2022. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2022/bps-v-17-no-18-02-a-06-05-2022/rbac-107-emd-07/visualizar_ato_normativo> Acesso em: 10 out. 2022.

ANAC, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Projetos de Aeródromos**. RBAC 154. EMENDA N°07, p.238. 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-154/@@display-file/arquivo_norma/RBAC154EMD06.pdf> Acesso em: 05 ago. 2022.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Capacidade do sistema de pistas: MCA 100-14**, Rio de Janeiro, 2015.

CASTELO BRANCO, V.M.S. **Infraestrutura aeroportuária para a Copa do Mundo da FIFA em 2014: Estudo para Belo Horizonte**. 2009. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CGNA, CENTRO DE GERENCIAMENTO DA NAVEGAÇÃO AÉREA. **Anuário estatístico de tráfego aéreo 2021**. Departamento de Controle de Espaço Aéreo. 2021.

CGNA, CENTRO DE GERENCIAMENTO DA NAVEGAÇÃO AÉREA. **Anuário estatístico de tráfego aéreo 2019**. Departamento de Controle de Espaço Aéreo. 2019.

CGNA, CENTRO DE GERENCIAMENTO DA NAVEGAÇÃO AÉREA. **Portal Operacional Centro de Gerenciamento da Navegação Aéreo – capacidade de pista**. 2022. Disponível em: <<http://portal.cgna.decea.mil.br/>>. Acesso em: 20 set. 2022.

FAA, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Airport Capacity and Delay**. US Department of Transportation. AC: 150/5060-5.AAS- 100. 1983.

ICAO. **Aerodrome Design Manual – Part 2 taxiways, Aprons and Holding Bays**, 4. Ed. 2005, 153 p.

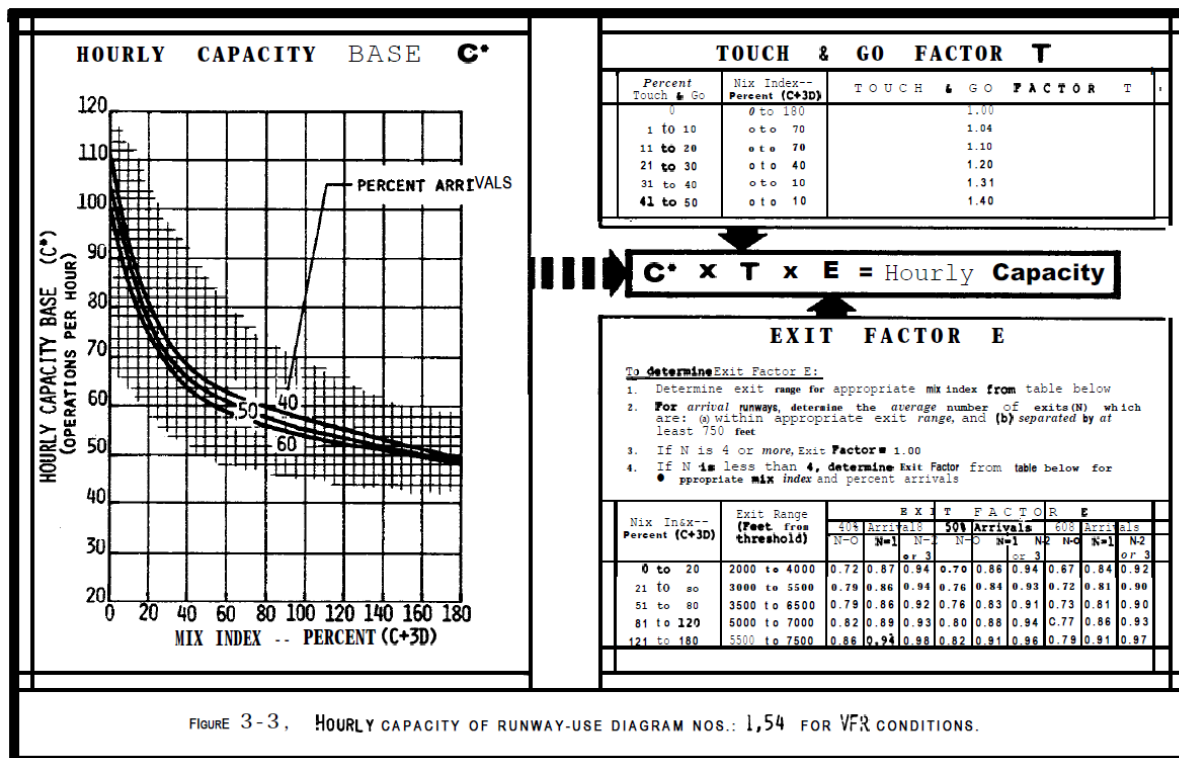
INFRAERO. **Anuário Estatístico Operacional 2018** - Elaborado em MAIO/2019.

MCKINSEY & COMPANY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado**. Rio de Janeiro. 2010.

YUGUE, P. **Avaliação de Capacidade Atual de Sítio Aeroportuário Destinado à Aviação Regional**. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil – Aeronáutica. Orientador Prof. Dr. Cláudio Jorge Pinto Alves. Instituto tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2013.

ANEXOS

ANEXO A



ANEXO B

