



Centro Universitário de Brasília - UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas

FABRÍCIO DOS REIS SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO,
ESTUDOS DE CASO: AEROPORTO DE BRASÍLIA E DE
ATLANTA**

Brasília – DF
2016

FABRÍCIO DOS REIS SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO,
ESTUDOS DE CASO: AEROPORTO DE BRASÍLIA E DE
ATLANTA**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de bacharelado em Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas do Centro Universitário de Brasília- UniCEUB.

Orientador: Prof. Sandra P. Echeverria F.

Brasília – DF

2016

FABRÍCIO DOS REIS SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO,
ESTUDOS DE CASO: AEROPORTO DE BRASÍLIA E DE
ATLANTA**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de bacharelado em Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas do Centro Universitário de Brasília- UniCEUB.

Orientador: Prof. Sandra P. Echeverria F.

Brasília, 23 de junho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Eng^a Sandra Patrícia Echeverria Fernández (MSc)

Examinadora Interna: Eng^a Maruska Tatiana Nascimento da Silva (DSc)

Examinador Externo: Eng.^o Civil: Paulo Costa Fernandes

AGRADECIMENTOS

A cada um que contribuiu direta e indiretamente com este trabalho, com ideias, orientações, explicações e sugestões.

Entre todos esses que contribuíram, há que se falar que estão familiares, amigos, professores e colegas. Portanto, a meus pais, João e Heliete, minha irmã, Larissa, às minhas orientadoras Sandra e Maruska, aos colegas da Engevix e da Inframérica, José, Henrique e Paulo, a cada um de vocês, obrigado!

RESUMO

Este trabalho apresenta o processo de dimensionamento da estrutura de um pavimento aeroportuário, por meio de um comparativo entre os pavimentos calculados do Aeroporto Internacional de Brasília e o “Aeroporto mais movimentado do mundo”, o Aeroporto de Atlanta. Descreve-se a infraestrutura geral de cada aeroporto, apontando-se suas características principais, as dimensões de seus aeródromos, o Número de Classificação do Pavimento, o número PCN de suas Pistas de Decolagem e Pouso. Serão apresentados o método ACN-PCN, utilizado para designar a aeronave mais pesada que o pavimento suporta, o método americano, desenvolvido pela Federal Aviation Administration, FAA, para a determinação das espessuras de cada camada da estrutura juntamente com outras informações presentes nos Manuais de Dimensionamento de Aeródromo da Organização de Aviação Civil Internacional, OACI. E, para que se possa efetuar o comparativo, far-se-á o cálculo da estrutura do pavimento dos aeroportos Juscelino Kubitschek e Hartsfield-Jackson, indicando-se as divergências presentes. Para se proceder com os cálculos, colheram-se informações sobre a resistência do subleito, tráfego de dimensionamento, aeronave de dimensionamento e seu tipo de eixo de roda. A partir desses dados, fazendo-se uso de formulações e ábacos, foi possível dimensionar uma estrutura de pavimento para cada um dos aeroportos estudados. Após os cálculos, percebeu-se que os pavimentos, apesar de alguns detalhes díspares, apresentam desempenhos semelhantes. Como diferença, ressaltam-se o tráfego de dimensionamento, os elementos de composição da estrutura dos pavimentos, sendo que do Aeroporto de Atlanta é concebido em pavimento rígido e o do Aeroporto de Brasília em pavimento flexível, a espessura de cada uma de suas respectivas camadas que, conseqüentemente, varia, o número PCN, dado ao final do dimensionamento de cada estrutura, observando-se que para o Aeroporto JK resulta em 69 e para o HJ, 76, entre outras minúcias. Quanto às semelhanças, há que se falar da capacidade de suporte de cada um, sendo para este aeroporto cargas na ordem de 37 000 kg e para aquele, cargas com valor de até 34 500 kg, que são percentualmente próximas, além do fato de que ambos não apresentam limite de Pressão Máxima de Pneus e optaram pelo Método de Avaliação Técnico. Observa-se, por fim, que todos esses resultados levam à seguinte conclusão: o Aeroporto Internacional de Brasília, Juscelino Kubitschek, segue os padrões normativos do “Aeroporto mais ocupado do mundo”, o Aeroporto Internacional de Atlanta, Hartsfield Jackson.

Palavras-chave: Pavimento. Pavimento Aeroportuário. Aeródromo. Dimensionamento.

ABSTRACT

This work presents the sizing process of the structure of a pavement of an airport, by means of a comparative between the calculated pavements of the International Airport of Brasília and “The most busy Airport of the world”, the Atlanta’s Airport. Describes the general infrastructure of each one, pointing out their main features, the dimensions of their aerodromes, the number PCN of their Runways. Will be presented the CAN-PCN method, utilized for designate the heavier aircraft with the pavement supports, the American method, developed by FAA, to determine the thickness of each layer of the structure, with another informations presented in the ICAO Aerodrome Design Manual. And, to allow the execution of the comparative, will be done the calculation of the structure of the pavement of the airports Juscelino Kubitschek and Hartsfield-Jackson, indicating the existing differences. To proceed with the calculus, gathered up informations about the resistance of the subgrade, the designing traffic, the design aircraft and its gear type. From this data, making use of formulas and abacuses, it was possible to design na structure of a pavement for each studied airport. After doing the calculus, it was realized wich the pavements, although some disparate details, they present similar performances. As a difference, points up the designing traffic, the composition elements of the pavement structure, being that the Atlanta Airport is designed in a rigid pavement and the Brasília Airport in a flexible pavement, the thickness of each one and its layers that, consequently, varies, the PCN number, considering at the end of the designing of each structure, observing that JK Airport results in 69 and, for the HJ, in 76, among other niceties. About the similarities, we must speak the bearing capacity of each one, being the charges for this airport in the order of 37 000 kg and, for that, loads worth up 34 500 kg, wich are similar in percentage terms, beyond the fact that both doesn’t present Maximum Tire Pressure limits the they opted for the Technical Evaluation Method. It’s observed, lastly, that all the results lead to the following conclusion: The Brasilia International Airport, Juscelino Kubitschek, follows the normative standards of “the most busy airport of the world”, the Atlanta International Airport, Hartsfiled Jackson.

Keywords: Pavement. Airport Pavement. Aerodrome. Runways. Aerodrome Design.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	2
2.1	OBJETIVO ESPECÍFICO	2
3	METODOLOGIA	3
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4.1	AEROPORTOS EM ESTUDO	4
4.1.1	<i>AEROPORTO INTERNACIONAL PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHEK</i>	4
4.1.1.1	Introdução	4
4.1.1.2	Descrição	5
4.1.1.3	Sobre as Pistas de Decolagem e Pouso	6
4.1.2	<i>AEROPORTO INTERNACIONAL HARTSFIELD-JACKSON</i>	7
4.1.2.1	Introdução	7
4.1.2.2	Descrição	7
4.1.2.3	Sobre as Pistas de Decolagem e Pouso	9
4.2	PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM SEGUNDO A ANAC	11
4.2.1	<i>INTRODUÇÃO</i>	11
4.2.2	<i>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</i>	11
4.2.2.1	Localização e Orientação das Pistas	11
4.2.2.2	Comprimento Real das Pistas	13
4.2.2.3	Largura das Pistas de Pouso e Decolagem	14
4.2.2.4	Cálculo de Distâncias Declaradas	15
4.2.2.5	Declividades inseridas	17
4.2.2.6	Uniformidades e Irregularidades	17
5	METODOLOGIA	20
5.1	MÉTODO DE CÁLCULO DOS PAVIMENTOS	20
5.1.1	<i>INTRODUÇÃO</i>	20
5.1.2	<i>MÉTODO ACN-PCN</i>	20
5.1.2.1	Introdução	20
5.1.2.2	Número de Classificação de Pavimentos – PCN	21
5.1.2.3	Tipo de Pavimento	21
5.1.2.4	Categorias de Resistência do Subleito	22
5.1.2.5	Categorias de Pressão Máxima de Pneus	23
5.1.2.6	Métodos de Avaliação	23
5.1.2.7	Determinação da Espessura do Pavimento	23
5.1.2.7.1	Introdução	23

5.1.2.7.2	Pavimento Rígido	24
5.1.2.7.3	Pavimento Flexível	25
5.1.2.7.4	Ajuste da Pressão dos Pneus para o ACN	26
5.1.2.7.5	Sobrecarga e Frequência de Uso	31
5.1.2.7.6	Dimensionamento das Camadas do Pavimento	32
5.1.2.7.7	Pavimentos Flexíveis.....	32
5.1.2.7.8	Pavimentos Rígidos.....	39
5.1.2.7.9	Volume de Tráfego Alto	44
6	RESULTADOS.....	46
6.1	CÁLCULO DOS PAVIMENTOS COM OS MÉTODOS DEMONSTRADOS.....	46
6.1.1	<i>DIMENSIONAMENTO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA</i>	<i>46</i>
6.1.1.1	Tráfego de Dimensionamento	46
6.1.1.2	Dimensionamento do Pavimento Flexível	54
6.1.1.3	Comparação dos Dados Calculados com os Dados do Aeroporto	57
6.1.2	<i>DIMENSIONAMENTO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE ATLANTA.....</i>	<i>61</i>
6.1.2.1	Tráfego de Dimensionamento	61
6.1.2.2	Dimensionamento do Pavimento.....	65
6.1.2.3	Comparação dos Dados Calculados com os Dados do Aeroporto	68
7	CONCLUSÕES	73
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Aeroporto Internacional de Brasília	4
Figura 2 Imagem por satélite das edificações do Aeroporto de Brasília	5
Figura 3 Vista de cima do Aeroporto de Brasília, com destaque para as pistas de pouso e decolagem	6
Figura 4 Aeroporto de Atlanta	7
Figura 5 Planta das instalações do Aeroporto de Atlanta	8
Figura 6 Sistema de trens automatizados do Aeroporto de Atlanta Hartsfield-Jackson.....	9
Figura 7 Vista de cima do Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson Atlanta (08/2015).....	10
Figura 8 Ilustração das Distâncias Declaradas	16
Figura 9 Gráfico de Critérios de Irregularidades da Pista de Pouso e Decolagem	18
Figura 10 Gráfico de Conversão de Pavimento Rígido ACN	24
Figura 11 Gráfico de Conversão de Pavimento Flexível ACN	26
Figura 12 Gráfico de Ajuste de Pressão dos Pneus—aplicado somente para pavimentos rígidos.....	27
Figura 13 Requisitos do Pavimento Rígido	29
Figura 14 ACNs de vários tipos de aeronaves em pavimento rígido e flexível	30
Figura 15 Requisitos para Pavimentos Flexíveis.....	30
Figura 16 Curvas de dimensionamento de pavimento flexível, roda dupla.....	36
Figura 17 Requisitos mínimos da espessura da camada base	37
Figura 18 Efeito da Sub-base Estabilizada sobre o Módulo do Subleito	42
Figura 19 Curvas de Dimensionamento de Pavimento Rígido-Eixo de Roda Dual Tandem.	43
Figura 20 Aeronave A321, a Aeronave de Dimensionamento escolhida.....	52
Figura 21 Perfil Longitudinal do Pavimento Calculado, Pós Conversão	56
Figura 22 Diagrama do Aeroporto de Brasília	60
Figura 23 Aeronave A330-300, a Aeronave de Dimensionamento escolhida.....	64
Figura 24 Máximas Temperaturas da Cidade de Atlanta, Geórgia, 2000-2015	65
Figura 25 Temperaturas Mínimas da Cidade de Atlanta, Geórgia, 2000-2015.....	66
Figura 26 Perfil Longitudinal do Pavimento Calculado, Pós Conversão	68
Figura 27 Diagrama do Aeroporto de Atlanta, Hartsfield Jackson, destaque sobre os dados das pistas de decolagem e pouso.....	70
Figura 28 Curvas de dimensionamento de pavimentos rígidos para aeronaves de Eixo de Roda Dual Tandem.....	71
Figura 29 Curvas de dimensionamento de pavimentos rígidos – B-747-SP.....	72

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 Quadro de Limites de Irregularidades Temporariamente Aceitáveis e Excessivas	19
Quadro 2 Extensão de Fatores de Equivalência Recomendada para Sub-base Estabiliz. ...	33
Quadro 3 Extensão de Fatores de Equivalência Recomendada para Base Estabiliz.	34
Quadro 4 Espessuras Requeridas para Áreas Críticas e Não Críticas.....	38
Quadro 5 Materiais Adequados para Acomodação de Pavimento Rígido	40
Quadro 6 Espessura de Pavimentos de Alto Nível de Saídas Expresso em Porcentagem da Espessura de 25 000 Saídas	44
Quadro 7 Fatores de Conversão.....	47
Quadro 8 Movimento de Aeronaves da Rede Infraero em dezembro de 2012.....	47
Quadro 9 Previsão de Tráfego do Aeroporto Internacional de Brasília sem os ajustes da Previsão Anual de Partidas.....	49
Quadro 10 Distribuição do número de Partidas Anuais pelos Destinos.....	50
Quadro 11 Previsão de Tráfego do Aeroporto Internacional de Brasília após os ajustes e discriminações da Previsão Anual de Partidas.....	51
Quadro 12 Partidas Anuais Equivalentes pela Aeronave de Dimensionamento.....	53
Quadro 13 Espessuras Finais Pavimento para o Aeroporto Internacional de Brasília	56
Quadro 14 Dimensões do Pavimento do Aeroporto de Brasília	58
Quadro 15 Características Físicas das Pistas de Decolagem e Pouso do AIB.....	59
Quadro 16 Distribuição de Partidas Anuais Totais para cada empresa.....	62
Quadro 17 Distribuição de Partidas Anuais Totais para cada modelo de aeronave	63
Quadro 18 Dimensões Calculadas do Pavimento do Aeroporto de Atlanta.....	67

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1.....	25
Fórmula 2.....	28
Fórmula 3.....	28
Fórmula 4.....	44
Fórmula 5.....	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Números e Letras Código para Especificação de Largura de Pista.....	15
Tabela 2 Situações em que se prescinde a Sub-base	40

ÍNDICE DE ABREVIações

ACN.....	Aircraft Classification Number
ADC.....	Aerodrome Chart
AIB.....	Aeroporto Internacional de Brasília
ANAC.....	Agência Nacional de Aviação Civil
ATL.....	Aeroporto de Atlanta
ASDA.....	Accelerate-Stop Distance Available
CBR.....	California Bearing Ratio
COMAER.....	Comando da Aeronáutica
DSWL.....	Derived Single Wheel Load
FAA.....	Federal Aviation Administration
IATA.....	International Air Transport Association
ISC.....	Índice de Suporte Califórnia
KATL.....	Aeroporto de Atlanta
L.....	Lima
LDA.....	Landing Distance Available
MTOW.....	Maximum Take-Off Weight
NCDC.....	National Centers for Environmental Information
NOAA.....	National Oceanic and Atmospheric Administration
R.....	Romeo
RBAC.....	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
SBBR.....	Aeroporto de Brasília
TODA.....	Take Off Distance Available
TORA.....	Take Off Run Available
OACI.....	Organização da Aviação Civil Internacional
PCN.....	Pavement Classification Number
T.....	Thickness

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

°C.....	Graus Celsius
cm.....	Centímetros
Kg.....	Quilograma
Km/h.....	Quilômetro por hora
Knot.....	Nó
m.....	Metros
m ²	Metros quadrados
m ³	Metros cúbicos
MN/m ³	Mega Newton por metro cúbico
MPa.....	Mega Pascal
Pol.....	Polegada

1 INTRODUÇÃO

A aviação civil é um meio de transporte que está em constante expansão, considerando-se o reflexo direto que esta causa numa população, como a facilitação no transporte de passageiros, a turismo ou a serviço, no deslocamento de mercadorias, para os produtos que exigem urgência na entrega, seja por questões de prazo de validade, ou para atendimento de necessidades de recursos especiais.

Dada a facilitação que a globalização tem causado aos países de todo o mundo, sabe-se é fundamental que haja infraestrutura para recebe-la em cada território. Um dos fatores de infraestrutura fundamentais para que haja uma comunicação e um contato direto com a globalização, além dos diversos elementos de comunicação, é a estrutura aeroportuária, que viabiliza não somente o transporte de informação, mas, também, de produtos e pessoas, de maneira rápida e eficiente.

Apresentada a importância dos aeroportos, é válido frisar a importância direta de suas pistas de decolagem e pouso, que influenciam diretamente na atividade das aeronaves. Com base nisso, este trabalho apresentará como se concebe o dimensionamento de um pavimento aeroportuário, como são definidas as espessuras de suas camadas, partindo-se do estabelecimento de um comparativo entre os aeroportos de Brasília e de Atlanta, apresentando-se informações gerais sobre cada, os elementos normativos que abrangem essa seara, nacional e internacionalmente, os critérios de dimensionamento, diante das circunstâncias de localização, os métodos de cálculo aplicados e a representação do cálculo de dimensionamento de cada camada presente em seus respectivos pavimentos.

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é mostrar as normativas pertinentes ao dimensionamento da estrutura dos pavimentos aeroportuários no Brasil e dos Estados Unidos, estabelecer um estudo de caso em que se efetua o dimensionamento da estrutura do pavimento do Aeroporto Internacional de Brasília e do “Aeroporto mais ocupado do mundo”¹, Hartsfield-Jackson, localizado em Atlanta, Geórgia, Estados Unidos.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Apresentar as características de cada aeroporto, detalhar tecnicamente os respectivos pavimentos, apresentar os métodos presentes no dimensionamento de um pavimento aeroportuário, dentre os diversos tipos existentes; comparar as dimensões de cada aeroporto, levantar critérios circunstanciais de projeto, conjuntos normativos empregados, nacionais e internacionais, para viabilizar a construção e operação de cada um e efetuar-se-á o dimensionamento dos mesmos pavimentos, valendo-se do embasamento teórico e das informações circunstanciais utilizados no cálculo real destes.

¹ AEROPORTO MAIS MOVIMENTADO DO MUNDO FICA NOS EUA VEJA LISTA DE 2014. **G1**. Turismo e Viagem. São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/turismo-e-viagem/noticia/2015/03/aeroporto-mais-movimentado-do-mundo-fica-nos-eua-veja-lista-de-2014.html> >. Acesso em: 08 jun. 2016. 10:56.

3 METODOLOGIA

No âmbito da Pavimentação Aeroportuária, delinea-se uma diversidade de fatores a serem estudados, como as pistas de decolagem e pouso, os pavimentos onde serão estacionadas as aeronaves, os elementos de drenagem, as questões qualitativas do solo em que se projeta o pavimento, como sua resistência, sua permeabilidade, seu comportamento quando saturado, congelado, ou sob altas pressões, seus requisitos normativos a serem seguidos, entre outros fatores.

Neste procedimento técnico de pesquisa, optou-se por fazer um Estudo de Caso em que se compara o Aeroporto Internacional de Brasília, Juscelino Kubitschek, e o Aeroporto Internacional de Atlanta, Hartsfield-Jackson, que, segundo o site da Delta Air Lines (2016), é o aeroporto mais movimentado do mundo, atendendo a mais de 90 milhões de passageiros a cada ano². Esta metodologia se dá na busca e apresentação de normas nacionais e internacionais, como o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154, fornecido pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e o Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavementes, fornecido pela ICAO (International Civil Aviation Organization); de informações diversas sobre cada aeroporto, características climáticas de cada local, nível de tráfego de aviões, suas cargas e detalhes sobre os projetos dos pavimentos, como a espessura de cada camada, a resistência deles, o tipo de pavimento, se rígido ou flexível, método de cálculo empregado, sua fundamentação, entre outros fatores.

² Delta Airlines. **O seu guia para o Aeroporto de Atlanta.** 2016. Disponível em: <http://pt.delta.com/content/www/en_US/traveling-with-us/where-we-fly/destinations/featured-locations/atlanta/guide-atl-airport.html> Acesso em: 25/04/2016, às 16:19.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 AEROPORTOS EM ESTUDO

Nesta seção são descritos os aeroportos de Brasília e de Atlanta, explicitando-se a localização de cada um, suas características gerais, dimensões, métodos adotados, considerações e resultados de cálculos e a quais funções cada pavimento foi proposto a atender.

4.1.1 AEROPORTO INTERNACIONAL PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHKEK

4.1.1.1 Introdução

O nome do aeroporto de Brasília, localizado no Distrito Federal, é uma homenagem ao ex-presidente do Brasil, Juscelino Kubitschek, responsável pela transferência da capital à região central do país. Seu nome oficial é Aeroporto Internacional de Brasília, Juscelino Kubitschek, e seus códigos IATA (Associação Internacional de Transportes Aéreos) e ICAO (Organização da Aviação Civil Internacional) são, respectivamente, BSB e SBBR.

Figura 1 - Aeroporto Internacional de Brasília



Fonte: http://www.copa2014.gov.br/pt-br/galeria/aeroportobsbmar2014#slide-4-field_imagens_da_galeria-41816

4.1.1.2 Descrição

Com as reformas iniciadas após a assunção da Administração do Aeroporto de Brasília, este passou por diversas obras de ampliação e reforma. Segundo o site oficial do Aeroporto de Brasília (2016), seu Terminal foi expandido de 60 mil metros quadrados para 110 mil metros quadrados, com uma capacidade dobrada de suas salas de embarque que passaram de 13 para 29 pontes de embarque. Somando-se a área do Terminal à das *taxiways* e das pistas de pousos e decolagens, obtém-se um total de 300 mil metros quadrados.

Ao longo de sua estrutura, há 80 opções de serviços e estabelecimentos comerciais, sendo distribuídos 10 para cada píer, além dos que estão na área pública do Terminal, disponibilizando serviços bancários e uma praça de alimentação. Há que se falar da loja Dufry, que, ocupando uma área de 1600 metros quadrados, é a primeira loja do país com formato *walkthrough*, que possibilita ao passageiro embarcar e passar pela inspeção de raio-x sem sair da loja. Há também 1500 metros quadrados reservados para a Sala VIP do Aeroporto de Brasília, que atende a 45% dos passageiros que estão em voos de conexão.

Figura 2 Imagem por satélite das edificações do Aeroporto de Brasília



Fonte: Google Earth

4.1.1.3 Sobre as Pistas de Decolagem e Pouso

A partir da Carta de Aeródromo (ADC) do Aeroporto de Brasília, disponibilizada pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), tem-se que as pistas de pouso e decolagem daquele possuem as seguintes dimensões:

1. Pista 11L – 29 R – possui 3200 metros de comprimento e largura de 45 metros;
2. Pista 11R – 29 L – apresenta um comprimento de 3300 metros e uma largura, também, de 45 metros.

Observa-se que as categorias das pistas do Aeroporto Juscelino Kubitschek, tanto as de largura das Pistas de Decolagem e Pouso quanto às do sistema de luz de aproximação de precisão³ não foram explicitadas em seu site oficial⁴ nem em sua Carta de Aeródromo⁵.

11L-29R

Figura 3 Vista de cima do Aeroporto de Brasília, com destaque para as pistas de pouso e decolagem



Fonte: Google Earth. Aeroporto Internacional de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

³ Conteúdo não apresentado neste trabalho.

⁴ AEROPORTO DE BRASÍLIA. **Investimentos**. Lago Sul, 2016. Disponível em: <<http://www.bsb.aero/br/o-aeroporto/investimentos/>>. Acesso em: 28 mar. 2016. 15:26.

⁵ BRASIL. **Carta de Aeródromo, Brasília, SBBR, de 25 de junho de 2015**. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. COMAER. Brasília 2015.

4.1.2 AEROPORTO INTERNACIONAL HARTSFIELD-JACKSON

4.1.2.1 Introdução

O Aeroporto Internacional de Atlanta, Hartsfield-Jackson, cujo nome oficial é The Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport, que possui como código IATA, ATL, e como código ICAO, KATL, está localizado na cidade de Atlanta, no estado de Geórgia, nos Estados Unidos.

Figura 4 Aeroporto de Atlanta



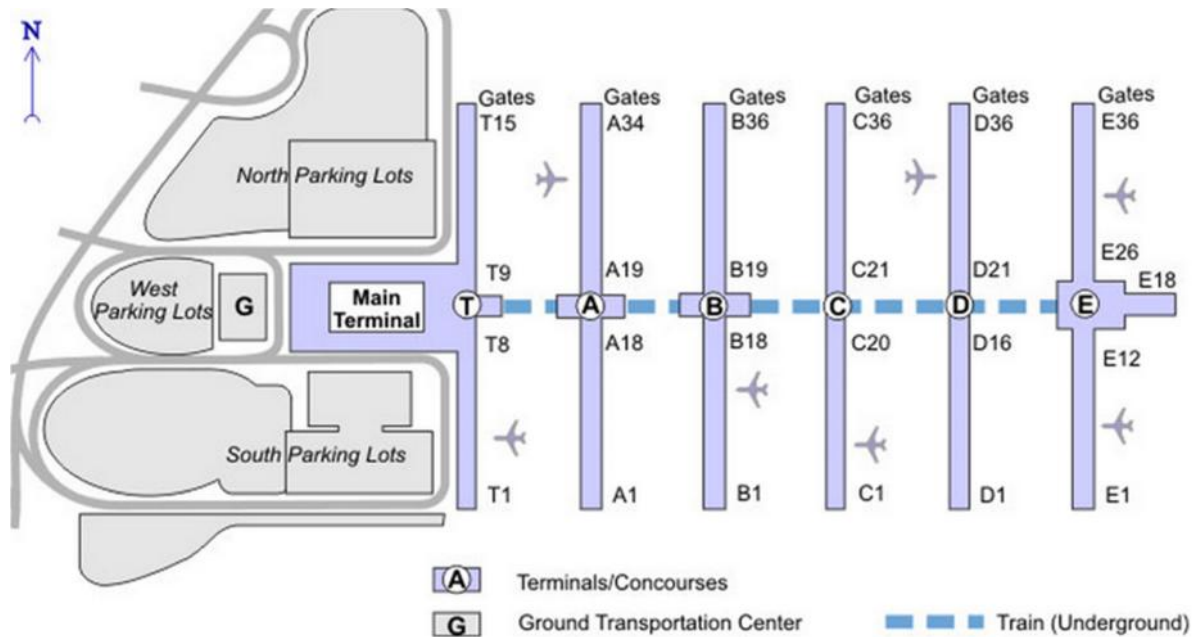
Fonte: <http://www.airportcheck.nl/wp-content/uploads/2012/01/Atlanta-Hartsfield-Jackson-International-Airport.jpg>

4.1.2.2 Descrição

O site oficial do Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson descreve esse aeroporto como um complexo de viagens aéreas com uma área total de 19,02 milhões de metros quadrados, o equivalente aproximado de 4600 campos de futebol de tamanho padrão. As dimensões de seu complexo de terminais medem pouco mais de

2,07 milhões de metros quadrados, abrangendo os terminais domésticos e internacionais e os pátios T, A, B, C, D e F, sendo que há, numa totalidade de 207 portões, 167 portões para voos domésticos e 40 portões para voos internacionais.

Figura 5 Planta das instalações do Aeroporto de Atlanta



Fonte: <http://travelskills.com/tag/atl/>

Dadas suas dimensões, para a locomoção de pessoas entre os diversos pátios, o aeroporto lança mão de quatro trens operando a cada 2 minutos, com um carregamento diário de mais de 200 mil pessoas. Além disso, segundo o site Atlanta-Airport (2016) também informa que o aeroporto fornece 263 concessões de lojas ao longo do aeroporto, sendo 114 relacionados a comidas e bebidas, 90 lojas de conveniência, 3 free-shops e 56 pontos de atendimento, incluindo bancos, serviço postal, casas lotéricas, máquinas de venda automática e uma loja de engraxate. É importante observar que o Aeroporto Hartsfield-Jackson apresenta um impacto econômico direto de mais de US\$ 32,5 bilhões sobre a metrópole de Atlanta.⁶

1.1 ⁶ ATLANTA AIRPORT. ATL Fact Sheet. Atlanta, 2014. Disponível em: <http://www.atlanta-airport.com/Airport/ATL/ATL_FactSheet.aspx>. Acesso em: 16 mar. 2016. 15:45.

Figura 6 Sistema de trens automatizados do Aeroporto de Atlanta Hartsfield-Jackson



Fonte: <http://www.atlanta.net/br-pt/transportation/>

4.1.2.3 Sobre as Pistas de Decolagem e Pouso

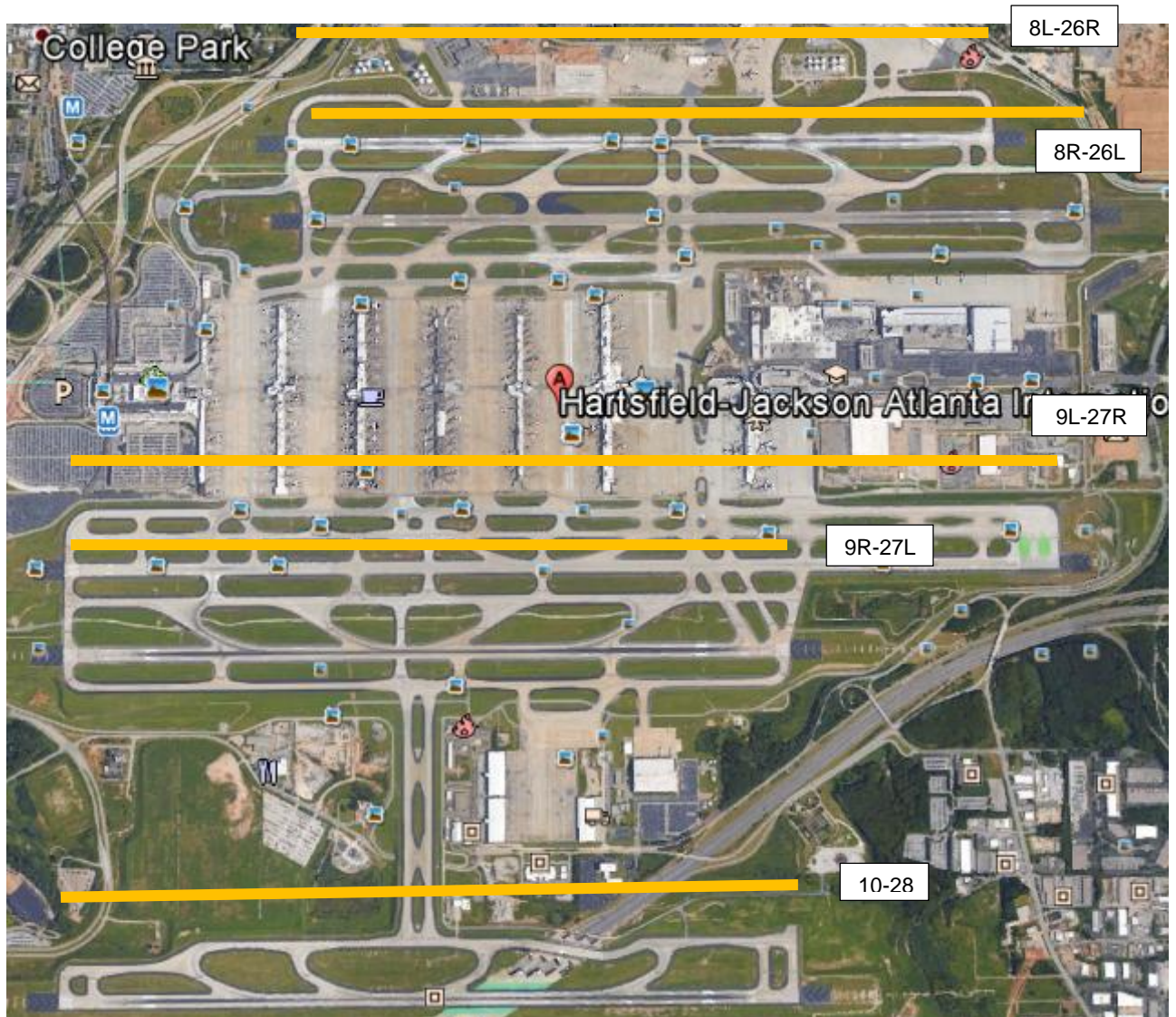
Segundo o site do aeroporto de Atlanta, Hartsfield-Jackson⁷ possui 5 pistas de decolagem e pouso, cujas características são apresentadas a seguir:

1. Pista 9R-27L – possui um comprimento de 9 000 pés, em torno de 2743 metros, é de Categoria 3 e a largura de seu pavimento está próxima de 150 pés (45,7 m).
2. Pista 9L-27R – mede 11890 pés, em torno de 3624 metros, é de Categoria 1, e seu pavimento mede 150 pés (45,7 m) de largura, aproximadamente.
3. Pista 8R-26L – cujo comprimento é de 10 000 pés, próximo de 3048 metros, é de Categoria 2, e a medida de seu pavimento é de 150 pés (45,7 m).
4. Pista 8L-26R – com dimensões de 9 000 pés, aproximadamente 2 743 metros, é de Categoria 3, e a largura de seu pavimento é de 150 pés (45,7 m).
5. Pista 10-28 – apresenta medidas de 9 000 pés de comprimento, próximo de 2743 metros, e 150 pés (45,7 m) de largura no pavimento, cuja categoria é a número 2.

1.2 ⁷ ATLANTA AIRPORT. ATL Fact Sheet. Atlanta, 2014. Disponível em:
<http://www.atlanta-airport.com/Airport/ATL/ATL_FactSheet.aspx >. Acesso em: 16 mar. 2016. 15:45.

É importante ressaltar que, nas categorias das pistas acima, o site oficial não especificou se são referentes à largura das pistas ou se são quanto ao sistema de luzes de aproximação de precisão. No entanto, pode-se inferir que são em referência à segunda opção, em virtude de que todas as pistas do Aeroporto de Atlanta possuem a mesma largura, sendo que as categorias se divergem entre si.

Figura 7 Vista de cima do Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson Atlanta (08/2015)



Fonte: Google Earth. Atlanta International Airport, North Terminal Parkway, Atlanta, GA, Estados Unidos

4.2 PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM SEGUNDO A ANAC

4.2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as diversas informações relevantes para o dimensionamento de uma pista de pouso e decolagem do Brasil. Com o objetivo de se estabelecer um comparativo entre o que é adotado em território nacional com o que o é nos Estados Unidos, serão a seguir explicitados quais fatores são determinantes para um projeto de aeródromo, quais serão relativos e escolhidos pelo projetista, as dimensões necessárias em seus diversos elementos para que se garanta decolagem e pouso com segurança e conforto para os usuários, a resistência de cada camada de pavimento, classificações, entre outras questões presentes no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154, disponibilizado pela ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil.

4.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

4.2.2.1 Localização e Orientação das Pistas

Quando em fase de planejamento, existem diversos fatores importantes a serem considerados para um projeto de um aeródromo. Entre eles, os mais estudados possuem a seguinte classificação: tipo de operação, condições climatológicas, a topografia do local do aeródromo, de suas aproximações e vizinhanças e o tráfego aéreo no entorno do aeroporto.

Quanto ao tipo de operação, é necessário que se considere se o aeródromo funcionará sob todas as condições meteorológicas ou somente sobre as condições meteorológicas visuais e se suas operações ocorrerão no período diurno, noturno ou durante ambos.

Nas condições climatológicas, deve-se estabelecer um estudo da distribuição de ventos da área para que se possa determinar o fator de utilização do aeródromo. Por fator de utilização, tem-se que, segundo o RBAC nº 154 da ANAC, é o período de tempo, medido em porcentagem, em que uma pista ou um sistema de pistas de pouso e decolagem não têm sua utilização limitada em razão de componentes de ventos de través. Designa-se como ventos de través aqueles que

seguem contra a lateral das aeronaves. E esse mesmo regulamento conceitua tais componentes como os componentes de vento de superfície que atravessam a pista perpendicularmente ao seu eixo, de modo a aumentar os riscos de acidentes aéreos.

Nesse estudo, levam-se em consideração as seguintes disposições:

- Os dados estatísticos referentes aos ventos são normalmente disponibilizados em faixas de velocidade e direção. Caso haja alguma lacuna de informação segura, como a real distribuição dos ventos, deve-se considerar a distribuição como uniforme;

- Fatores que podem implicar na redução dos valores dos componentes máximos de ventos médios de través, que incluem:

1. As grandes variações que podem haver nas características de tratamento e nos componentes máximos permissíveis de vento de través;
2. A natureza e o grau de predomínio das rajadas;
3. A natureza e o grau de predomínio das turbulências;
4. Se há disponível uma pista de pouso e decolagem secundária;
5. A largura da pista;
6. As condições superficiais da pista – pois a presença de água e gelo são determinantes para uma efetiva redução do componente permissível de vento de través; e
7. A força do vento, relacionada ao componente que limita o vento de través.

Após a verificação dos ventos da área em estudo, procede-se à determinação do componente de vento de través, que não pode exceder aos seguintes limites dados pelo RBAC nº 154⁸:

“(i) 37 km/h (20 kt), no caso de aeronaves cujo comprimento básico de pista é maior ou igual a 1.500 m, exceto quando houver, com certa frequência, uma baixa ação de frenagem na pista devido a um coeficiente de atrito longitudinal insuficiente,

⁸ BRASIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154**, de 12 de junho de 2012. Emenda nº 1. Agência Nacional de Aviação Civil. SIA, 2012. p. 25.

quando, então, deve ser assumido um componente de vento de través que não exceda 24 km/h (13 kt);
(ii) 24 km/h (13 kt), no caso de aeronaves cujo comprimento básico de pista é maior ou igual a 1.200 m e menor que 1.500 m; e
(iii) 19 km/h (10 kt), no caso de aeronaves cujo comprimento básico de pista for menor que 1.200 m.”

Outro fator importante está associado à topografia do local do aeródromo, de suas aproximações e das suas vizinhanças, quanto à conformidade das superfícies limitadoras de obstáculos; a que uso está e será submetido o solo, para que se possibilite a determinação e orientação de um layout que proporcione proteção ao máximo, na medida do possível, de áreas como zonas residenciais, escolas e hospitais contra os ruídos causados pelas aeronaves; quanto aos comprimentos da pista, atual e futuramente; quanto aos custos da construção e à possibilidade de se instalar auxílios visuais e não visuais de modo adequados para aproximação.

E o fator que resta se refere ao tráfego aéreo no entorno do aeródromo, no qual se verifica a proximidade de outros aeródromos ou rotas ATS – que, segundo o site da ANAC, em seu diretório chamado ANACpédia, são rotas com a finalidade de proporcionar serviços de tráfego aéreo – a densidade do tráfego aéreo e o controle que se estabelece sobre ele e os procedimentos adotados de aproximação perdida, que, também presente no referido site, é uma aproximação frustrada da aeronave por algum fator que frustrou a referência visual.

4.2.2.2 Comprimento Real das Pistas

As pistas de pouso e decolagem são compostas por pista principal e pista secundária. Por pista principal, entende-se que é a pista de pouso e decolagem em sentido estrito. Enquanto que por pista secundária, sabe-se que são pistas de comprimento semelhante ao da principal, porém, só são utilizadas de modo a se obter o mínimo 95 por cento de fator de utilização.⁹

⁹ BRASIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154**, de 12 de junho de 2012. Emenda nº 1. Agência Nacional de Aviação Civil. SIA, 2012. p. 26.

As pistas principais devem cumprir o requisitado pelas aeronaves quanto aos ventos de través, nunca inferior a isso. As especificações não devem, necessariamente, considerar operações de aeronaves com seu peso máximo. E nas condições a serem consideradas constam a elevação, temperatura, inclinação da pista, umidade e as características da superfície da pista.

É válido citar a possibilidade de se combinar pista de pouso e decolagem com zona de parada (*stopway*) e zona desimpedia (*clearway*), sem deixar de observar os requisitos operacionais de cada aeronave.

Zona de parada e zona desimpedia são representadas por um aumento do comprimento de pista, limitado à metade do comprimento de rolagem e decolagem disponível, destinado a garantir a uma aeronave que, após iniciada a decolagem, se aborte ou se conclua a operação de maneira devidamente segura.

4.2.2.3 Largura das Pistas de Pouso e Decolagem

Seguem as especificações sobre as dimensões adequadas a características peculiares das aeronaves, referidos pelos números e letras código apresentados. De acordo com o tipo de aeronaves que atuará sobre o pavimento, definir-se-á a largura mínima das pistas do aeródromo, assim como seus acostamentos.

Para as pistas de letra código D, E e F, por exemplo, é imprescindível a existência de acostamento nas duas extremidades da pista, de modo simétrico. Sendo que, para as duas primeiras, implantam-se acostamentos quando a largura da pista for menor que 60 metros e, para a última, a única condição é enquadrar-se nessa letra código. Após definido o caso em que o acostamento se encontra, deve-se definir sua largura como 60 metros para os casos D e E e 75 metros para o caso F.

Tabela 1 Números e Letras Código para Especificação de Largura de Pista

Número do código	Letra do código					
	A	B	C	D	E	F
1ª	18 m	18 m	23 m	–	–	–
2ª	23 m	23 m	30 m	–	–	–
3	30 m	30 m	30 m	45 m	–	–
4	–	–	45 m	45 m	45 m	60 m

Fonte: Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154

4.2.2.4 Cálculo de Distâncias Declaradas

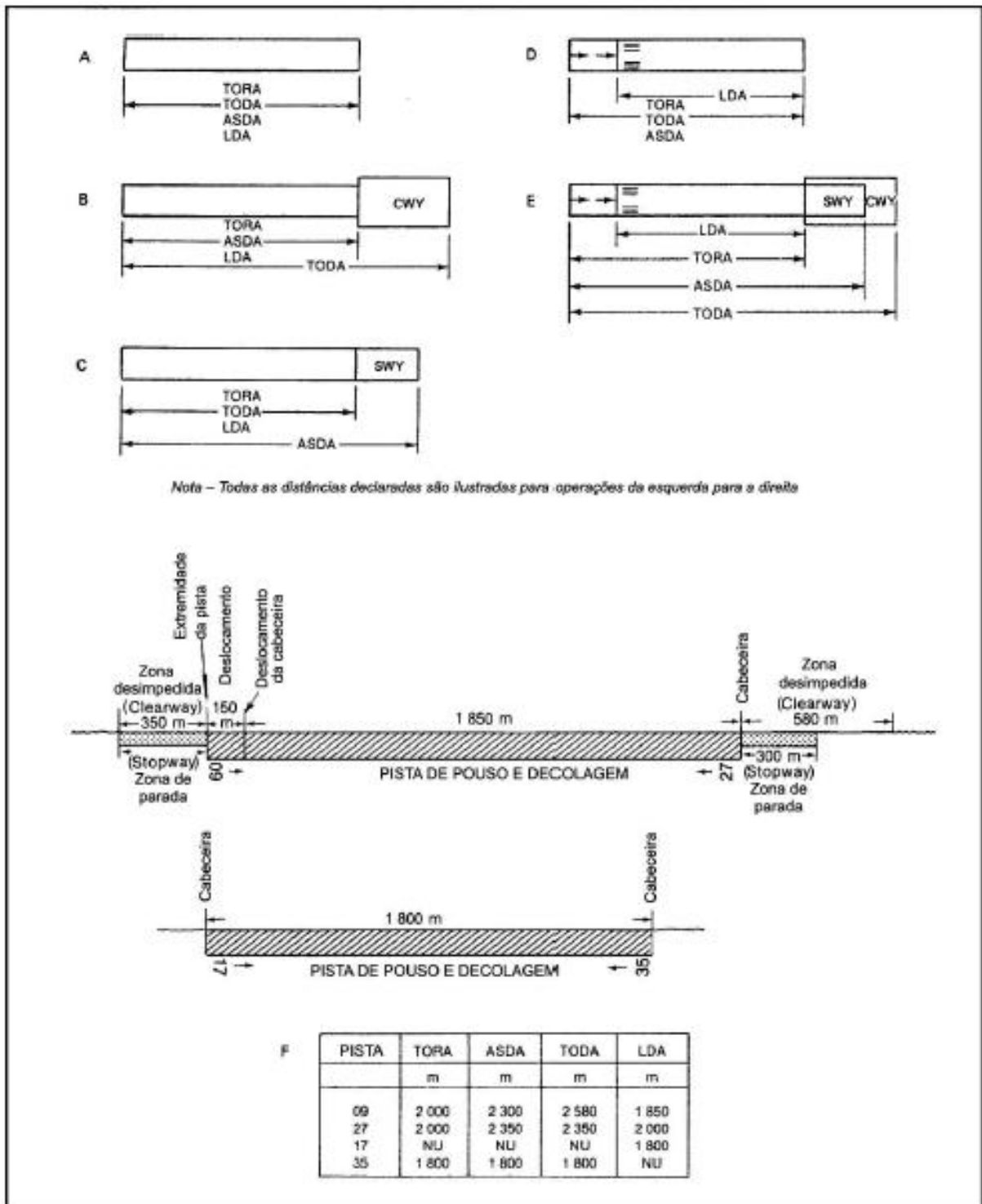
As distâncias declaradas são compreendidas por pista disponível para corrida de decolagem (TORA – Take Off Run Available), distância disponível para decolagem (TODA – Take Off Distance Available), distância disponível para aceleração e parada (ASDA – Accelerate-Stop Distance Available) e a distância disponível para pouso (LDA – Landing Distance Available), sendo que, seus tamanhos são variáveis, de acordo com a situação e circunstância do local em que o aeródromo será construído.

Para pistas de pouso não dotadas de uma zona de parada ou zona desimpedida e se a cabeceira estiver numa extremidade da pista, as distâncias supracitadas terão comprimentos iguais ao comprimento total da pista. Segue ilustração na Figura 08, letra A. No caso de haver uma pista com uma zona desimpedida, o comprimento desta estará incluso na distância TODA, conforme ilustra a Figura 08, letra B. Quando ocorre de a pista ser dotada de uma zona de parada, está estará incluída no comprimento da ASDA, como ilustrado na Figura 08, letra C. Caso haja uma pista com cabeceira recuada, por razões diversas, a distância de recuo da cabeceira será reduzida da distância LDA, conforme a letra D da figura abaixo.

Nada impede que ocorram várias dessas características numa única pista de pouso e decolagem, o que culminará, conseqüentemente, na modificação de cada distância, de acordo com os princípios apresentados. Segue abaixo figura ilustrativa dos casos acima expressos, retirada do RBAC nº 154, da ANAC.¹⁰

¹⁰ BRASIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154**, de 12 de junho de 2012. Emenda nº 1. Agência Nacional de Aviação Civil. SIA, 2012. p. 218.

Figura 8 Ilustração das Distâncias Declaradas



Fonte: Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154

4.2.2.5 Declividades inseridas

As declividades dos pavimentos de aeródromos enquadram-se entre Longitudinais e Transversais. As primeiras referem-se à inclinação do eixo da pista, que ocorre gradualmente, a uma distância calculada, e a última é referente a adequação do pavimento para que se evite o acúmulo de água em sua superfície.

As especificações apresentadas pelo Regulamento 154, sobre as Declividades Longitudinais são as seguintes:

- 1,5% para os casos em que o número de código for 4;
- 1,75% quando o número de código for 3; e
- 2% nos casos que se adequam aos números de código 1 ou 2.

Quanto às Declividades Transversais, tem-se que:

- Serão declinadas em 2,5% as pistas cujo número de código for 3 ou 4; e
- 3% será adotado como inclinação onde o número de código for 1 ou 2.

É importante citar que, partindo-se da borda da pista, nos seus 3 primeiros metros, adota-se declividade negativa de até 5% com o objetivo de facilitar sua drenagem.

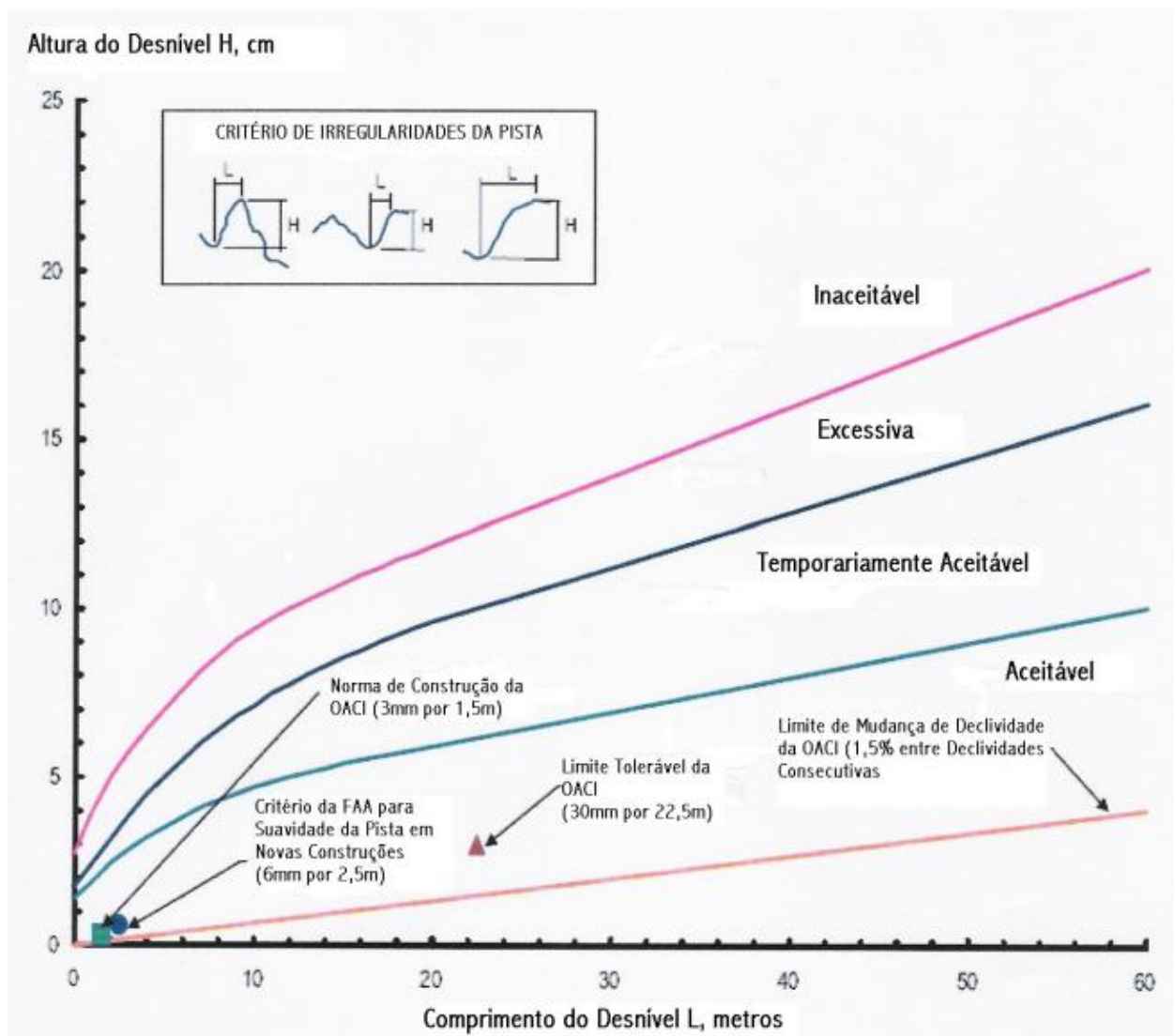
4.2.2.6 Uniformidades e Irregularidades

Das uniformidades e irregularidades que podem apresentar-se no pavimento, existem tolerâncias que são consideradas em sua avaliação. Acompanhando-se a orientação fornecida pelo Regulamento 154 da ANAC, um teste simples que pode ser feito, inicialmente, é que se faça uso de uma régua de 3 metros de comprimento e colocá-la sobre qualquer ponto da pista, em qualquer direção. Exceto pelo seu eixo central, que apresenta maior abaulamento no pavimento, deve-

se checar se entre a superfície da pista e a borda inferior da régua, nas suas extremidades, existe um desvio de até 3 milímetros.¹¹

O gráfico a seguir, referente a irregularidades isoladas, diferentemente de efeitos recorrentes ao longo de um trecho de pista, demonstra as tolerâncias presentes numa pista de decolagem e pouso, tanto os adotados pela OACI quanto pela FAA.

Figura 9 Gráfico de Critérios de Irregularidades da Pista de Pouso e Decolagem



Fonte: Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154

¹¹ BRASIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154**, de 12 de junho de 2012. Emenda nº 1. Agência Nacional de Aviação Civil. SIA, 2012. p. 220.

Observa-se no gráfico, pouco acima da Curva Aceitável, nos menores comprimentos do desnível L, o limite anteriormente citado de 3 milímetros num comprimento de 1,5 metro, adotado pela OACI. Um pouco acima, nota-se o critério da Federal Aviation Administration, FAA, que está sob o limite de 6 milímetros por 2,5 metros, para a suavidade da Pista em Novas Construções. O Limite Tolerável da OACI é dado por 30 milímetros por um Comprimento do Desnível L de 22,5 metros.

O Quadro a seguir apresenta os limites temporariamente aceitáveis e excessivos numa pista de pouso e decolagem. Caso os limites temporariamente aceitáveis sejam ultrapassados, será necessário que haja a imediata correção do desvio, para que se garanta a segurança dos usuários do aeródromo e dos que estiverem a ele próximos.

Quadro 1 Quadro de Limites de Irregularidades Temporariamente Aceitáveis e Excessivas

Irregularidade da superfície da pista de pouso e decolagem	Comprimento mínimo aceitável da irregularidade (m)								
	3	6	9	12	15	20	30	45	60
Altura (ou profundidade) da irregularidade da superfície da pista de pouso e decolagem temporariamente aceitável (cm)	3	3,5	4	5	5,5	6	6,5	8	10
Altura (ou profundidade) excessiva da irregularidade da superfície da pista de pouso e decolagem (cm)	3,5	5,5	6,5	7,5	8	9	11	13	15

Fonte: Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154

5 METODOLOGIA

5.1 MÉTODO DE CÁLCULO DOS PAVIMENTOS

5.1.1 INTRODUÇÃO

Serão apresentados a seguir o método adotado pelo Brasil na reforma do aeródromo do Aeroporto Internacional de Brasília e pelos Estados Unidos da América, no Aeroporto Internacional de Atlanta, para que se descubra a resistência do pavimento, por meio do número de classificação da aeronave, chamado de ACN-PCN, segundo os parâmetros do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil número 154 (RBAC nº 154), da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), especificamente para o Brasil, da OACI, Organização de Aviação Civil Internacional, e da Federal Aviation Administration (FAA).

É importante observar que, o conjunto de normas gerais que regeram a reforma do Aeroporto de Brasília também rege os pavimentos de diversos aeroportos espalhados pelo mundo, inclusive o *Hartsfield-Jackson*, dado que o *Aerodrome Design Manual* é de cunho internacional e obrigatório, abrangendo métodos do Canadá, do Reino Unido, da França e dos Estados Unidos. Há que se falar da importância do que foi desenvolvido pela FAA, com seus métodos é que orientam na definição das espessuras das camadas tanto dos pavimentos rígidos quanto dos flexíveis. O RBAC nº 154, fornecido pela ANAC, segue as orientações do Anexo 14 do *Aerodrome Standards*, também disponibilizado pela OACI, quanto aos padrões que uma pista de decolagem e pouso devem apresentar.

O material que será, posteriormente, apresentando, possui, também citações de autores externos às normas, porém com trabalhos relacionados ao assunto aqui tratado.

5.1.2 MÉTODO ACN-PCN

5.1.2.1 Introdução

O Método tem como função encontrar o Número de Classificação do Pavimento (ACN-PCN) que engloba fatores como o Número de Classificação do Pavimento (PCN), o tipo de pavimento para que haja a determinação ACN-PCN, a

categoria de resistência do subleito, a categoria de pressão máxima admitida aos pneus e o método de avaliação adotado.

5.1.2.2 Número de Classificação de Pavimentos – PCN

Sabe-se que o Número de Classificação de Pavimentos, PCN, possui a função de informar quais são os tipos de aeronave, cujos Números de Classificação de Aeronave (ACN) forem iguais ou menores que o PCN do pavimento, que podem nele operar com segurança e conforto, sujeitando-se apenas, em alguns casos, aos limites de pressão dos pneus ou no peso total da aeronave. Sabe-se que o número PCN é uma indicação relativa da resistência de determinado pavimento quanto à carga de roda simples padrão que esse pavimento resiste. Haja vista que é permitido que se pode reportar diferentes PCNs, por questões de variabilidade sazonal significativa. O que gera maior operacionalidade das funções rotineiras, diminuindo-se assim, a geração de maiores transtornos. A majoração do número ACN-PCN é expressa nas figuras 10 e 11, a posteriori.

5.1.2.3 Tipo de Pavimento

Os tipos de pavimento aeroportuário se subdividem em Pavimento Rígido e Flexível. O Pavimento Rígido é composto por concreto, apresentando menor deformabilidade e alta resistência às solicitações. No Aeroporto de Brasília, optou-se por utilizá-lo nas áreas onde os aviões ficam estacionados, visto que, nesse estado, representam elevadas cargas pontuais aplicadas por meio dos pneus da aeronave. O Pavimento Flexível possui um comportamento diferente. Apresentando maior deformação sob certos esforços, deformabilidade a partir de determinadas temperaturas e um bom desempenho nas pistas de pouso e decolagem, cujas cargas são dinâmicas e por curtos períodos, evidenciando-se a razão de sua função no Aeroporto JK. Dentre as diversas misturas possíveis, a mais usual para aeródromos é a de concreto betuminoso.¹²

¹² ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 85.

5.1.2.4 Categorias de Resistência do Subleito

As categorias de Resistência do Subleito são caracterizadas pelo módulo de reação do subleito K , para os pavimentos rígidos, tendo como unidade de medida o MN/m^3 (Mega Newton por metro cúbico), e pelo CBR (California Bearing Ratio), também chamado de ISC (Índice de Suporte Califórnia), um fator adimensional utilizado para os pavimentos flexíveis.

As categorias de resistência apresentadas pelo Regulamento Brasileiro de Aviação Civil número 154 são as seguintes¹³:

1. Alta Resistência – descrito por $K = 150 MN/m^3$, essa categoria representa os valores de K que estão acima de $120 MN/m^3$, para os pavimentos rígidos e, para os pavimentos flexíveis, um CBR igual a 15, porém, para os subleitos com valores acima de 13. É importante ressaltar que, aos subleitos com tal categoria é dado o Código A como classificação, também importante para outras determinações, como descrito anteriormente.
2. Resistência Média – a faixa de valores assim classificados é dada por K entre $60 MN/m^3$ e $120 MN/m^3$, tendo como representante $K = 80 MN/m^3$. Para os pavimentos flexíveis, os valores de CBR que estão entre 8 e 13, caracteriza-se por CBR = 10. O código dessa categoria é o Código B.
3. Resistência Baixa – possui como caracterização, $K = 40 MN/m^3$, para os subleitos com K variando entre $25 MN/m^3$ e $60 MN/m^3$. O CBR dessa categoria é igual a 6, com variações de subleitos entre 4 a 8. O código dado nessa categoria é o Código C.
4. Resistência Muito Baixa – é uma categoria dada aos fatores K abaixo de $25 MN/m^3$, sendo representado por $K = 20 MN/m^3$, para os pavimentos rígidos. Quanto aos pavimentos flexíveis, o valor do CBR é igual a 3, para os subleitos que estão abaixo de 4. O Código dessa categoria é o D.

¹³ BRASIL. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154, de 12 de junho de 2012. Emenda nº 1. Agência Nacional de Aviação Civil. SIA, 2012. p. 22.

5.1.2.5 Categorias de Pressão Máxima de Pneus

As categorias a seguir referem-se à pressão máxima permitida proveniente de cada pneu das aeronaves:

1. Alta – não há limite de pressão. O código estabelecido para tal categoria é o W;
2. Média – possui como pressão limite o valor de 1,5 MPA e recebe como caracterização o Código X;
3. Baixa – a pressão dessa categoria é limitada por 1,0 MPA e seu código é o de letra Y;
4. Muito Baixa – possui limite de pressão igual a 0,5 MPA e possui o Código Z como estabelecido.

5.1.2.6 Métodos de Avaliação

O Método de Avaliação é dado por Avaliação Técnica ou por uso da experiência com aeronaves. O primeiro método é baseado em estudos específicos e técnicos a respeito das características do pavimento, com aplicação de método de avaliação de pavimentos. Seu Código de representação é a letra T. O segundo é representado pelo conhecimento empírico do tipo e da massa de uma determinada aeronave que pode operar regular e satisfatoriamente no aeródromo que estiver sob estudo. Por conhecimento empírico utiliza-se o Código U.

5.1.2.7 Determinação da Espessura do Pavimento

5.1.2.7.1 Introdução

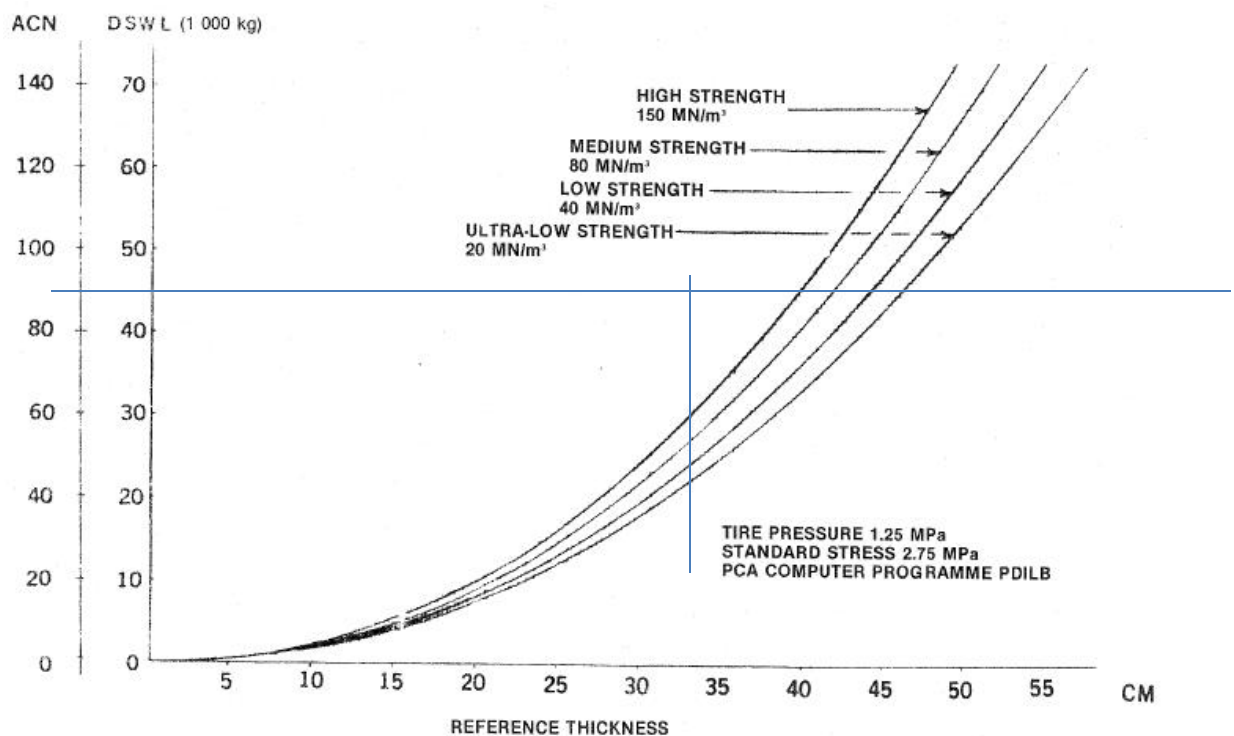
Serão apresentados nessa seção, como é o procedimento para definição da Espessura das Camadas de Pavimentos Aeroportuários Rígidos e Flexíveis, diante do exposto pelo Manual de Dimensionamento de Aeródromos da OACI, em sua

segunda edição, do ano de 1983, parte 3, específica para o dimensionamento dos pavimentos dos aeroportos.

5.1.2.7.2 Pavimento Rígido

Segundo o Manual, após a determinação do ACN, que pode ser obtido com os fabricantes das aeronaves, encontrar-se-á as espessuras requeridas para cada aeromodelo e, então, proceder-se-á com um ábaco de conversão apresentado no manual e demonstrado a seguir. Sabe-se que é um gráfico para o caso em que a Pressão de Pneus é de 1,25 Mpa, porém, o estresse padrão a ser suportado pelo concreto é de 2,75 Mpa.

Figura 10 Gráfico de Conversão de Pavimento Rígido ACN



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Observa-se que existem 4 curvas de dimensionamento, expressas de maneira hiperbólica, sendo que cada uma delas se refere às Categorias de Resistência do Subleito. Tomando-se como exemplo um ACN cujo valor é 60, com sua respectiva conversão para a Carga de Roda Única Derivada (DWSL) igual à metade do ACN, 30 000 quilogramas, tem-se que a espessura de referência está próxima de 33 centímetros.

5.1.2.7.3 Pavimento Flexível

Valendo-se do procedimento CBR dos Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE)¹⁴, a definição da espessura do pavimento flexível é dada pela fórmula demonstrada abaixo, que define o gráfico dado posteriormente:

$$t = \sqrt{\frac{D_s^3}{C_1 C} - \frac{D_s^3}{C_2 P}}$$

(Fórmula 01)

Sendo que:

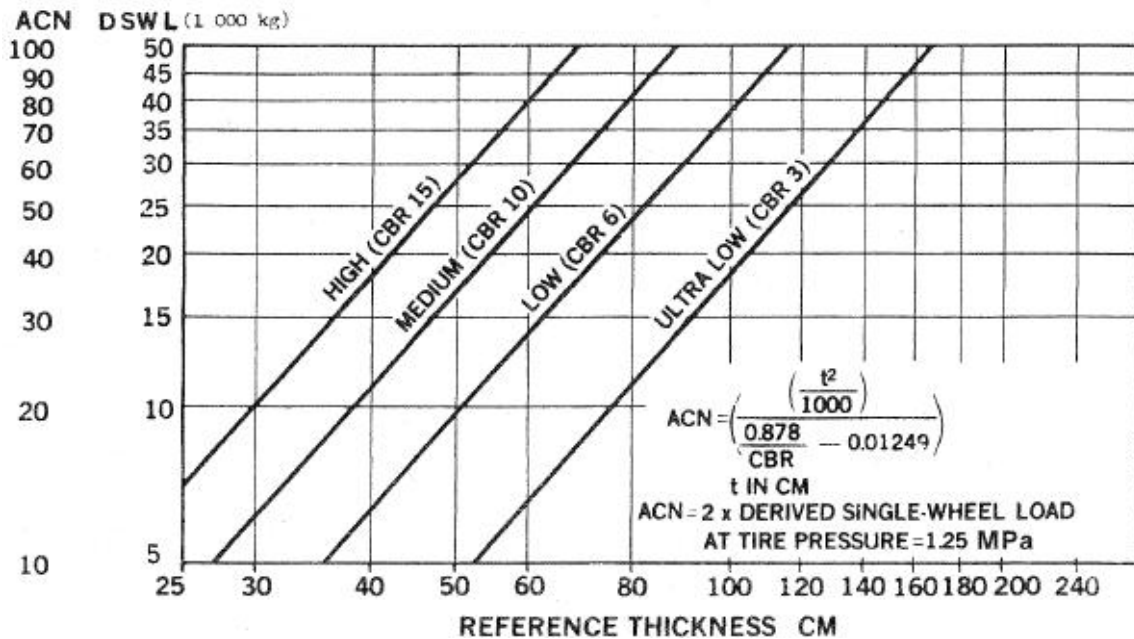
- t – espessura de referência, com valor em centímetros;
- D_s – para a carga de uma roda única, a pressão de 1,25 MPa;
- P_s = 1,25 Mpa;
- CBR – subleito padrão com 3, 6, 10 e 15 como valores padrão;
- C₁ = 0,5695; e
- C₂ = 32,035.

Munindo-se do gráfico resultante da formulação acima descrita e dos Fatores de Deflexão de Boussinesq, para que se estabeleça a equivalência do efeito dado pela aterrissagem sobre todas as rodas de uma aeronave para uma única carga derivada, o projetista deve seguir os passos que serão explicitados logo adiante:

- a) Determina-se a espessura de referência requerida para determinada aeronave, dado pelo Gráfico de Requerimento do Pavimento, publicado pelo fabricante e a Categoria do Subleito;
- b) A partir do passo a), tendo-se como referência a espessura do pavimento e o CBR correspondente, faz-se uso da Figura 11;
- c) Obtém-se o DSWL e, conseqüentemente, o ACN, que é o dobro do valor do primeiro. Observa-se que a correção da pressão dos pneus não é necessária.

¹⁴ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 10.

Figura 11 Gráfico de Conversão de Pavimento Flexível ACN

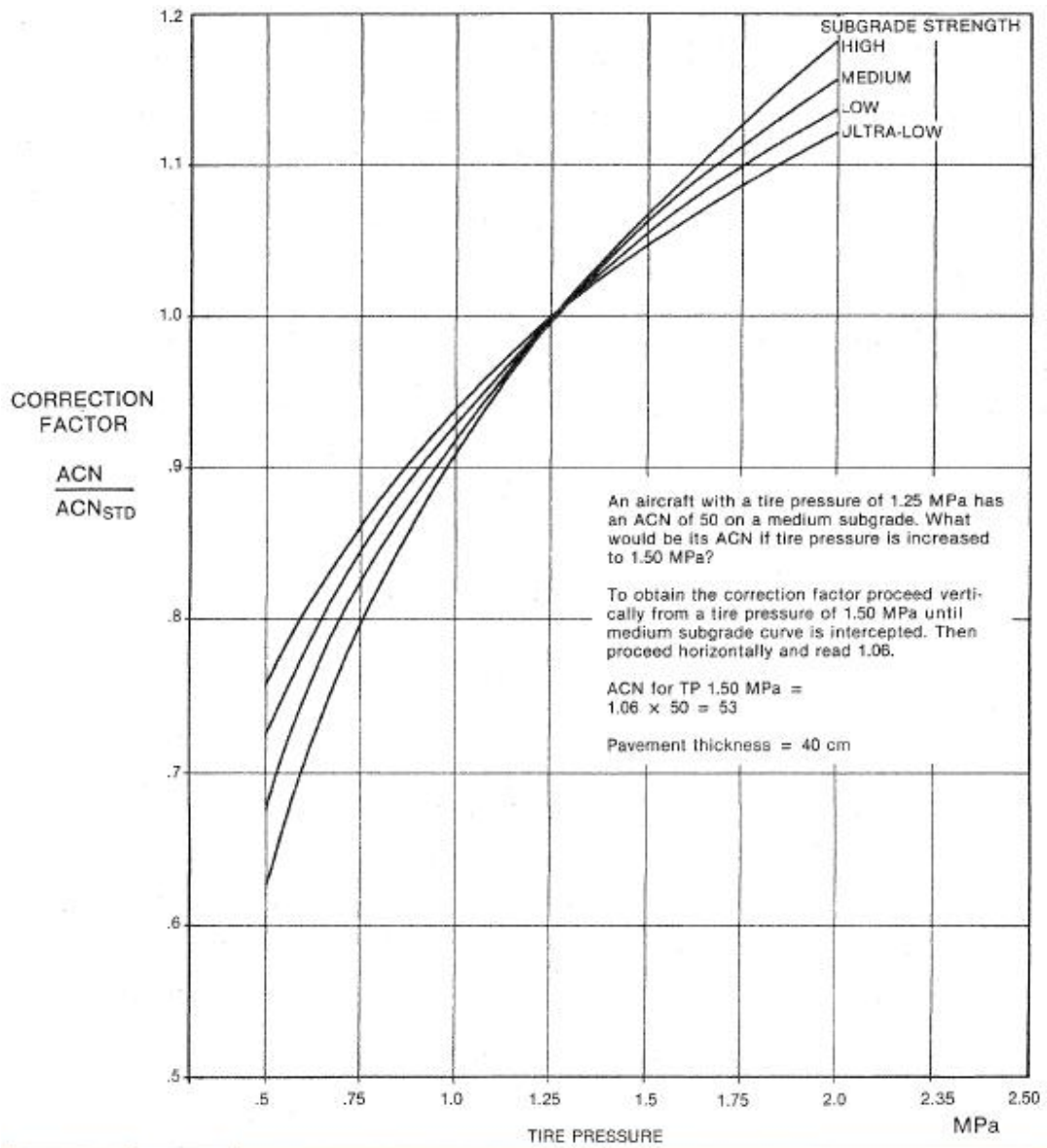


Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983.

5.1.2.7.4 Ajuste da Pressão dos Pneus para o ACN

Geralmente, as aeronaves possuem a inflação de seus pneus correspondente à sua massa bruta, mantendo-a de maneira independente das variações das massas na decolagem. Entretanto, existem situações em que a redução tanto das massas quanto da Pressão dos Pneus mostra-se mais produtivas, requerendo-se, assim, o cálculo da redução do ACN. Diferentemente do aplicado ao pavimento flexível, faz-se uso do gráfico ilustrado na Figura 12, a seguir, para que se estabeleça o ajuste da Pressão dos Pneus para ACN. É importante citar que o gráfico foi constituído pelo software PDILB.

Figura 12 Gráfico de Ajuste de Pressão dos Pneus—aplicado somente para pavimentos rígidos



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Quanto aos pavimentos flexíveis, o manual da OACI informa que, ao invés de um ábaco, faz-se uso da fórmula do CBR de acordo com a seguinte fórmula:

$$A \frac{R}{p} = A \frac{M}{p}$$

(Fórmula 02)

Resultando na seguinte fórmula, para os valores de $C1=0,5695$ e $C2=32,035$, citados na página 39:

$$\left[\frac{\frac{1}{C1 C} - \frac{1}{C2 P r}}{\frac{1}{C1 C} - \frac{1}{C2 m}} \right]^{15}$$

(Fórmula 03)

O Aerodrome Design Manual (1983, p. 12) apresentou também um exemplo ilustrativo da aplicação de tais fórmulas, explicitado da seguinte maneira:

“Exemplos trabalhados:

Exemplo 1: Encontre o ACN do Padrão B727-200 com 78 500 kg em um pavimento rígido sobre um subleito com resistência média (i.e., $k = 80 \text{ MN/m}^3$). A pressão das rodas principais é 1,15 MPa.

Solução: O ACN da aeronave na tabela no Apêndice 5 desse Manual é 48.

É possível determinar o ACN da aeronave usando a Figura 1-4 e o gráfico de requisito do pavimento para a aeronave na Figura 1-7. Esse método envolve as operações a seguir:

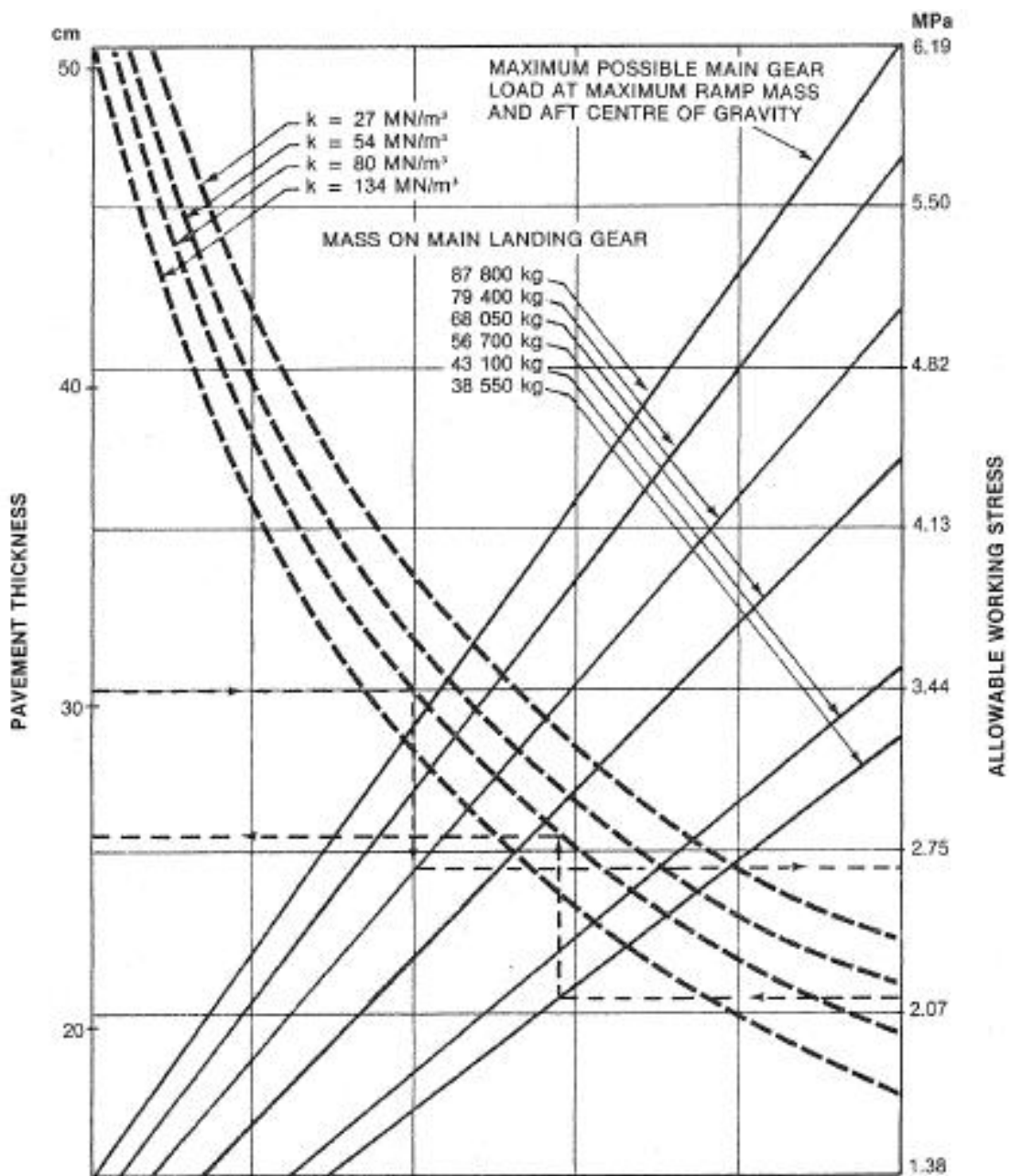
- a) na Figura 1-7, faz-se a leitura da espessura de concreto necessário para a massa de aeronave de 78 500 kg, o subleito k com o valor de 80 MN/m^3 , e o estresse padrão do concreto de $2,75 \text{ Mpa}$ como 31,75 cm; e
- b) entra a Figura 1-4 com a espessura e leitura do ACN da aeronave para a resistência média do subleito de 48.¹⁶

¹⁵ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 12.

¹⁶ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 12.

Haja vista que a figura tida como “Figura 1-4” é a Figura 10, anteriormente ilustrada; e o ábaco da “Figura 1-7” supracitada é apresentado a seguir, com os requisitos do pavimento rígido. É importante observar que o ábaco abaixo é dado para a máxima carga de referência, com valores exatos de k . Para as cargas com valor de k inferiores ao máximo, as curvas se apresentam exatas a um valor de 80 MN/m^3 para k , no entanto, para outros valores, ocorrem pequenos desvios. A parcela da tabela do Apêndice 5 utilizada no exemplo acima está ilustrada logo após.

Figura 13 Requisitos do Pavimento Rígido



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

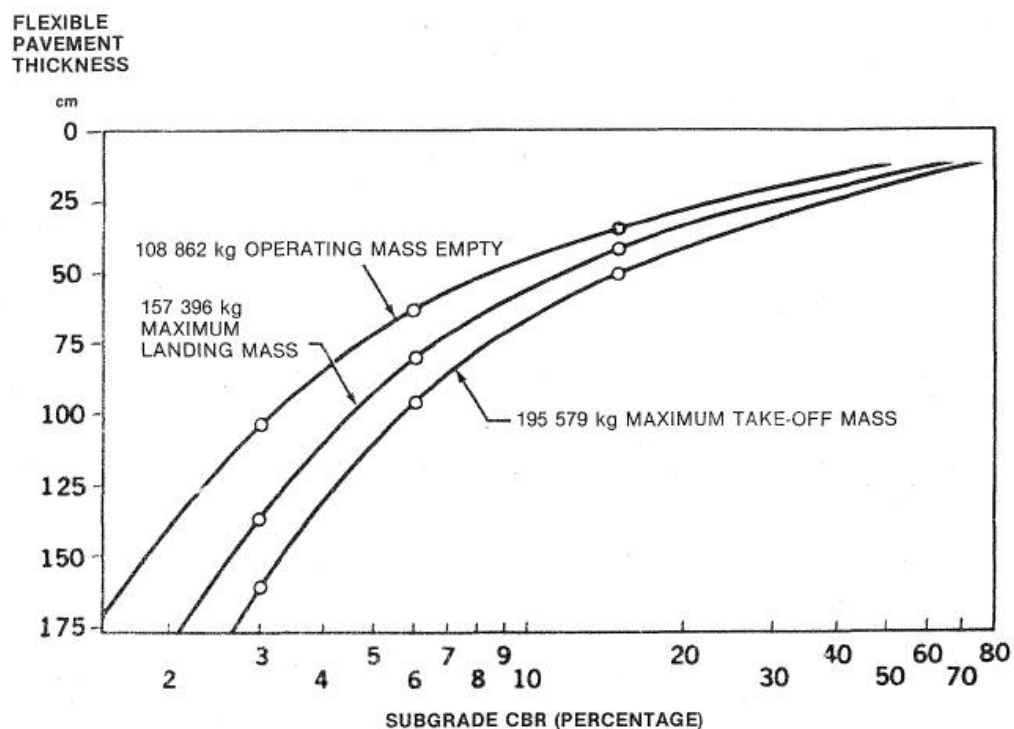
Figura 14 ACNs de vários tipos de aeronaves em pavimento rígido e flexível

Aircraft type	All-up mass (kg)	Load on one main gear leg (%)	Tire pressure (MPa)	ACN FOR RIGID PAVEMENT SUBGRADES - MN/m ³				ACN FOR FLEXIBLE PAVEMENT SUBGRADES - CBR			
				High 150	Medium 80	Low 40	Ultra-low 20	High 15	Medium 10	Low 6	Very low 3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B727-200 (Standard)	78 471 44 293	48.5	1.15	48 24	50 26	53 27	56 29	43 22	45 23	51 25	56 29
B727-200 (Advanced)	84 005 44 270	48.0	1.02	49 23	52 24	55 26	58 28	45 21	48 22	55 24	60 29
B727-200 (Advanced)	86 636 44 347	47.7	1.06	51 23	54 25	58 26	60 28	47 22	50 22	56 24	61 28
B727-200 (Advanced)	89 675 44 470	46.9	1.15	54 23	57 25	60 27	62 28	49 21	51 22	58 24	63 28
B727-200 (Advanced)	95 254 45 677	46.5	1.19	58 24	61 25	64 27	67 29	52 22	55 22	62 25	66 29

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Caso o pavimento do exemplo expresso fosse flexível, o gráfico utilizado seria o seguinte:

Figura 15 Requisitos para Pavimentos Flexíveis



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

A previsão do método ACN-PCN para aeronaves leves está relacionada aos veículos cujo peso é menor que 5 700 kg, focando em apenas dois elementos: a massa de aeronave máxima e a máxima pressão de pneu permitida.

5.1.2.7.5 Sobrecarga e Frequência de Uso

É fato que um pavimento sustentará um determinado número de repetições durante seu período projeto de uso. Caso ele sofra baixas sobrecargas, seu período de vida útil será findado mais lentamente. O que resulta nos seguintes critérios explicitados pelo Manual da OACI (1983, p. 17)¹⁷:

- Para os pavimentos flexíveis que recebem aeronaves com ACN não excedente a 10% do PCN reportado, considera-se que tais adversidades não afetam o pavimento;
- Aeronaves com ACNs que não excedam em até 5% o PCN reportado de pavimentos rígidos ou compostos, nos quais a camada do pavimento rígido é o elemento primário da estrutura, não afetam o pavimento;
- Caso a estrutura do pavimento seja desconhecida, “o limite dos 5%” pode ser aplicado;
- O número de sobrecargas anuais não devem exceder aos 5% do total de movimentos de aeronaves sobre o pavimento;

Recomenda-se também que não se apliquem esses critérios caso as pistas de decolagem e pouso demonstrem sinais de desgaste ou falhas. Outro fator importante é que se atente para os períodos em que ocorrem a penetração de água ou o congelamento no pavimento, o que gera uma queda em sua resistência requerendo, assim, que se evite atividades de sobrecarga e que seja feita a constante

¹⁷ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 17.

verificação do pavimento para a correção de possíveis irregularidades, diminuindo-se, os riscos de possíveis acidentes.

5.1.2.7.6 Dimensionamento das Camadas do Pavimento

Segundo Janaína Lima de Araújo (2009), em seu trabalho sobre o dimensionamento do Aeroporto Internacional de Brasília, o método utilizado para a pavimentação aeroportuária brasileira é o criado pela FAA (Federal Aviation Administration), em conformidade com a circular AC 150/5320-6D, de 1995, que abrange soluções técnicas para pavimentos novos ou em restauração de pavimentos com certo grau de deterioração.¹⁸ Consultando-se o Aerodrome Design Manual – Part 3 Pavements (ICAO, 1983), observa-se que também estão presentes as disposições da FAA, sendo que o capítulo que expressa a prática adotada pelos Estados Unidos é o que detalha o procedimento de definição da espessura das camadas dos pavimentos rígidos e flexíveis.

5.1.2.7.7 Pavimentos Flexíveis

Como explicitado pelo Aerodrome Design Manual, Part 3 Pavements (ICAO, 1983), o método de dimensionamento do CBR é um método empírico que faz uso de diversas curvas, apresentadas numa série de ábacos, com a função de indicar a espessura total do pavimento e a espessura da superfície betuminosa. Os ábacos são dados para áreas críticas e não críticas, variando entre si de acordo com os mecanismos de disposição das rodas, a massa bruta e os modelos de cada aeronave que faz uso do pavimento. A seguir será dado um exemplar de cada um desses ábacos, além das curvas que auxiliam na determinação da espessura mínima da camada de base, a partir da espessura de todo o pavimento encontrada e do valor do CBR escolhido.

Para os pavimentos novos que suportarão aeronaves com cargas iguais ou maiores que 100 000 lb (45 530 kg), é necessário que seja feita a estabilização da base e sub-base. Tal estabilização depende de certos fatores de equivalência que levam em consideração a espessura das camadas, o tipo de agente estabilizante e sua quantidade, locação da camada em estabilização, entre outros fatores. A

¹⁸ ARAÚJO. Janaína Lima de. Dimensionamento AIB. 2009. p. 116.

aplicação desses fatores nos cálculos, se dá dividindo-se a camada de base requerida pelo fator escolhido, encontrando-se, assim, a espessura da base estabilizada.

Como exceções aos critérios de base e sub-base estabilizadas, é necessário que se apresente material granular com comprovado comportamento satisfatório, como o caso de uso em aeroportos anteriormente construídos, com características circunstanciais semelhantes às do pavimento a ser dimensionado. Tais circunstâncias são definidas como as cargas de aeronaves e condições climáticas similares. Outra exceção pode ser feita na utilização de materiais com qualidade superior, como agregado 100% britado, resistente e rigorosamente graduado. Tais materiais devem apresentar um CBR mínimo de 100%, moldados e em embebição, para a base e 35% para a sub-base. Além disso, em áreas sujeitas a ações de gelo e degelo, eles devem apresentar permeabilidade e não suscetibilidade ao congelamento.

Os fatores de equivalência da base e sub-base estabilizadas são dados nos quadros abaixo, sendo o primeiro para camadas de sub-base de cascalho com CBR igual a 20 e o segundo quadro para camadas de agregado britado com CBR igual a 80.

Quadro 2 Extensão de Fatores de Equivalência Recomendada para Sub-base Estabiliz.

Material	Extensão dos Fatores de Equivalência
Camada de Superfície Betuminosa	1,7 - 2,3
Camada de Base Betuminosa	1,7 - 2,3
Camada de Base Betuminosa Aplicada a Frio	1,5 - 1,7
Camada de Base Betuminosa Aplicada In-Situ	1,5 - 1,7
Camada de Base Tratada com Cimento	1,6 - 2,3
Camada de Base de Solo Cimento	1,5 - 2,0
Camada de Base com Agregado Britado	1,4 - 2,0
Camada de Sub-Base de Cascalho	1,0

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Quadro 3 Extensão de Fatores de Equivalência Recomendada para Base Estabiliz.

Material	Extensão dos Fatores de Equivalência
Camada de Superfície Betuminosa	1,2 - 1,6
Camada de Base Betuminosa	1,2 - 1,7
Camada de Base Betuminosa Aplicada a Frio	1,0 - 1,2
Camada de Base Betuminosa Aplicada In-Situ	1,0 - 1,2
Camada de Base Tratada com Cimento	1,2 - 1,6
Camada de Base de Solo Cimento	Não se aplica
Camada de Base com Agregado Britado	1,0
Camada de Sub-Base de Cascalho	Não se aplica

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

O Manual nos fornece o seguinte exemplo, para ilustrar do dimensionamento de cada camada de um pavimento flexível:

“4.4.17 Exemplo de Dimensionamento

4.4.17.1 Como um exemplo de uso de curvas de dimensionamento, assume-se um pavimento flexível deve ser dimensionado para uma aeronave com roda dupla, tendo a massa bruta de 75 000 lb (34 000 kg) e 6000 partidas anuais equivalentes da aeronave de dimensionamento. Os valores do CBR de dimensionamento, para a sub-base e subleito, são 20 e 6, respectivamente.”¹⁹

No tópico seguinte ao enunciado, mostra-se como é encontrada a espessura total do pavimento, de maneira semelhante ao que foi expresso anteriormente, na seção 5.2.7.4, deste mesmo capítulo. Por meio da Figura 16, dada abaixo, a partir da abcissa do CBR, selecionando-se a linha a partir do valor igual a 6%, projeta-se verticalmente para baixo até alcançar a curva de massa bruta da aeronave de 75 000 lb, como determinado no exemplo. Encontrado o ponto de

¹⁹ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 161.

intersecção entre a projeção vertical e a curva de massa bruta, faz-se uma projeção horizontal rumo à curva de partidas anuais equivalentes cujo valor é 6000. Partindo-se desse ponto de intersecção resultante, projeta-se para baixo, verticalmente, até a abcissa inferior, encontrando-se, assim a espessura total do pavimento que, de acordo com o manual, é 21,3 polegadas, ou 51,2 centímetros.

A espessura da camada de sub-base é encontrada de modo semelhante ao explicitado para a espessura total, fazendo-se uso da Figura 16, projeta-se para baixo, partindo-se do CBR com valor igual a 20%, que é o valor do CBR da sub-base dado no exemplo, até a curva de massa bruta da aeronave de valor igual a 75 000 libras, prosseguindo-se com outra projeção horizontal até a curva de partidas anuais equivalentes exposta acima, e, partindo-se dela, projeta-se para baixo, para que se determine, assim, a espessura da sub-base que possui valor de aproximadamente 8,6 polegadas, ou 21,8 centímetros. Sabendo-se que a camada betuminosa e a de base necessária para um CBR igual a 20% é igual a 8,6 polegadas, a camada de sub-base é o resultado da subtração entre a espessura total do pavimento e esse valor, como ilustrado a seguir:

$$\text{Sub-base} = 21,3 - 8,6 = 12,7 \text{ polegadas} = 32,2 \text{ centímetros}$$

Traduzindo-se a indicação dada no gráfico da Figura 16, a camada betuminosa possui espessura de 4 polegadas (10 centímetros), para áreas críticas, e 3 polegadas (8 centímetros) para áreas não críticas. E por último, há a camada de base, que é encontrada subtraindo-se a espessura betuminosa da espessura determinada acima, com valor igual a 8,6 polegadas. Segue a ilustração do que foi dito:

$$\text{Camada Betuminosa} + \text{Base} = 8,6 \text{ polegadas}$$

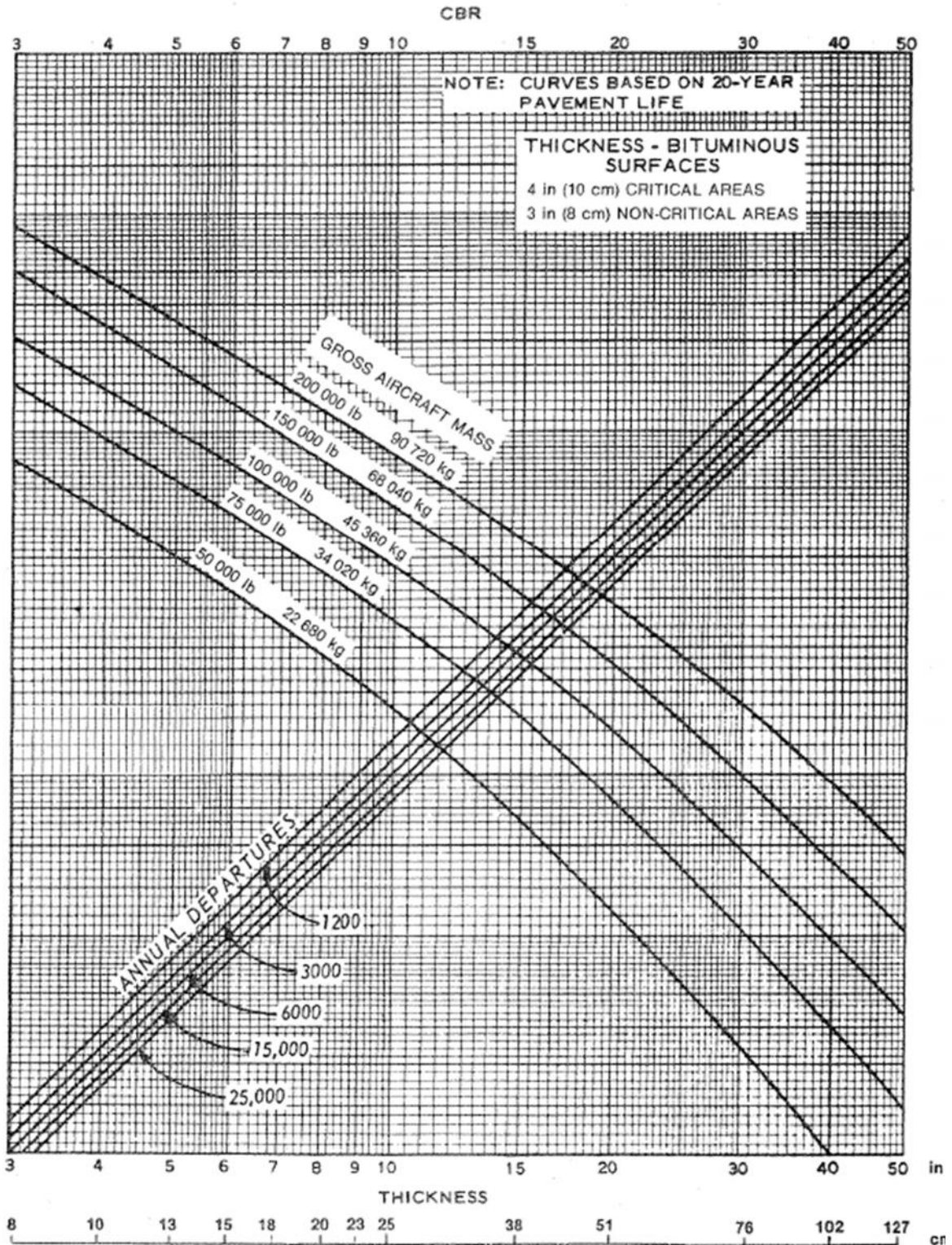
$$\text{Camada Betuminosa} = 4 \quad \text{ou} \quad 3$$

$$\text{Base} = 8,6 - 4 = 4,6 \text{ polegadas} \quad \text{ou} \quad = 5,6 \text{ polegadas}$$

Diante do exposto, é importante frisar que se deve buscar no gráfico de requisitos mínimos da espessura da camada de base, imediatamente fornecida, a dimensão mínima da base do pavimento, verificando-se se o valor calculado está de acordo com as determinações normativas.

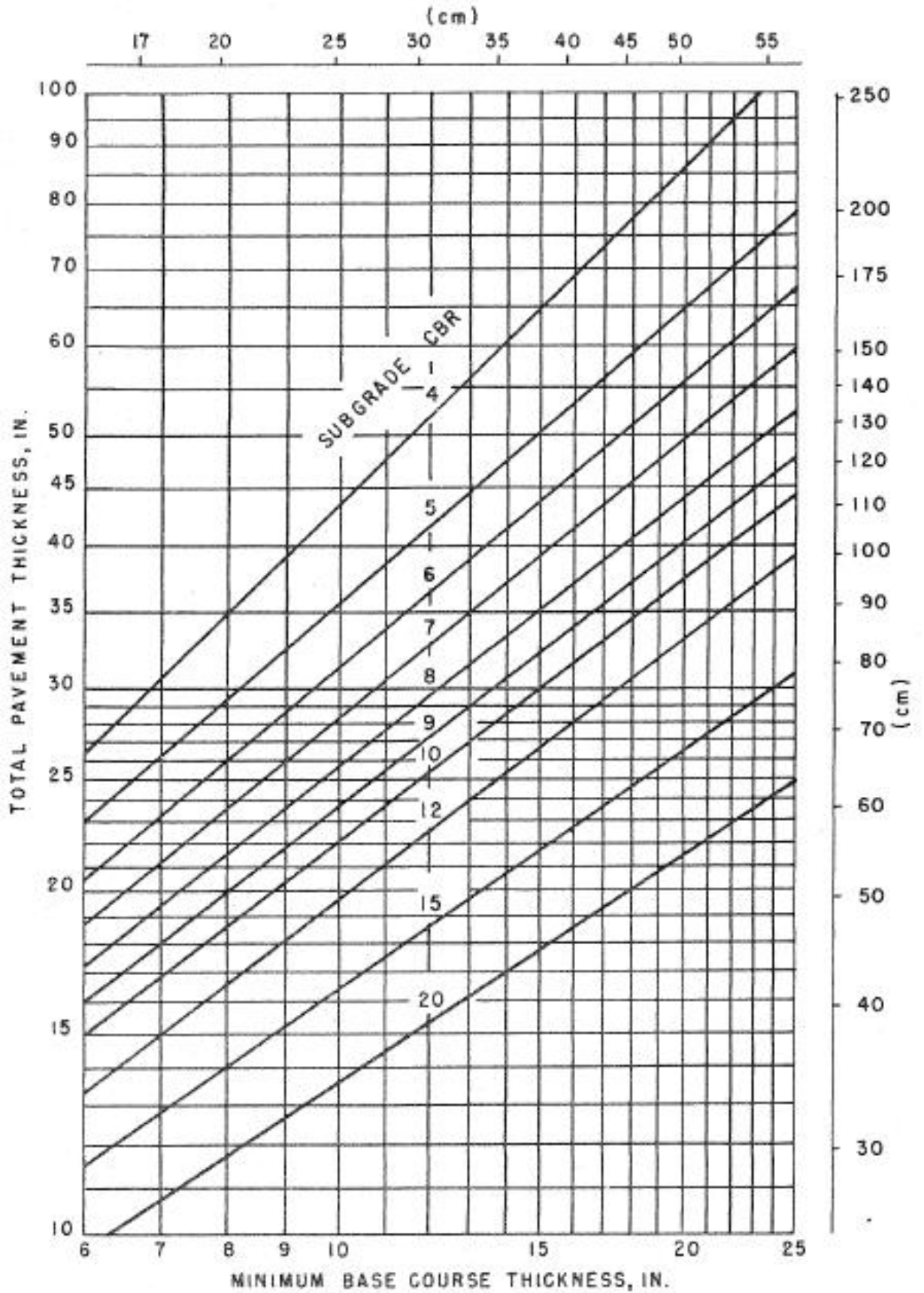
Projetando-se da ordenada esquerda, horizontalmente, a partir do valor da espessura total do pavimento, 21,3 polegadas, para a linha de CBR igual a 6%.

Figura 16 Curvas de dimensionamento de pavimento flexível, roda dupla



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983.

Figura 17 Requisitos mínimos da espessura da camada base



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Da intersecção entre a projeção e a linha de CBR, faz-se uma projeção vertical até a abcissa inferior, demonstrando-se, assim, a espessura mínima da base do pavimento que, no exemplo dado pela ICAO²⁰, em seu manual, é aproximadamente igual a 6 polegadas. O valor acrescentado por meio do ábaco da Figura 17 é subtraído da espessura total do pavimento, resultando no exposto posteriormente:

$$\text{Diferença entre Base Calculada e Base Mínima} = 6 - 4,6 = 1,4 \text{ pol}$$

$$\text{Espessura total do Pavimento} = 12,7 - 1,4 = 11,3 \text{ pol}$$

Observa-se que, para a definição da espessura da superfície betuminosa, adotou-se o pior caso, que é o valor para áreas críticas, igual a 4, dando a diferença utilizada acima, de 1,4.

Quanto à espessura em áreas não críticas, toma-se 90% da espessura da base e da sub-base somada à espessura da camada betuminosa apresentada nos gráficos. Para as camadas mais finas em áreas tanto críticas quanto não críticas, aplica-se um fator chamado 0,7T ou, 70% da espessura, apenas à camada de base. Para a camada de sub-base, deve-se aumentar sua espessura ou variar a sua composição, de modo que se garanta a drenagem transversal por toda a sua superfície.

Como finalização do exemplo citado, o Aerodrome Design Manual²¹ apresenta os seguintes dados, traduzidos e transpostos no quadro a seguir, relacionados ao dimensionamento do pavimento discutido:

Quadro 4 Espessuras Requeridas para Áreas Críticas e Não Críticas

	Espessuras Requeridas			
	Áreas Críticas		Áreas Não-Crítica	
	pol	cm	pol	cm
Superfície Betuminosa	4	10	3	8
Camada da Base	6	15	5	13
Camada da Sub-base	11	28	10	25
Drenagem Transversal	0	0	3	8

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

²⁰ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 162.

²¹ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 163.

Deve-se observar que, para as áreas não críticas houve uma queda nas espessuras dos outros elementos de camada, uma vez que se adotou uma camada de drenagem de 3 polegadas, ou 8 centímetros de espessura, resultante do fator 0,7T.

5.1.2.7.8 Pavimentos Rígidos

De maneira análoga ao método de definição da espessura dos pavimentos flexíveis, o método adotado para os pavimentos flexíveis também apresenta diversos gráficos, um para cada tipo de sistema de disposição de rodas das aeronaves, com diversas curvas para cada valor do módulo de resistência K, para cada tipo de aeronave, com suas cargas características, no entanto, como diferença marcante entre os métodos, tais curvas só são utilizadas na espessura de concreto. Definindo-se, assim, separadamente as outras camadas do sistema. Dos fatores relevantes para o dimensionamento de um pavimento rígido aeroportuário, deve-se citar a resistência do concreto à flexão, o valor do módulo K, o peso bruto da aeronave, número de saídas anuais da aeronave de dimensionamento e o uso das curvas.

Na definição da espessura da camada da sub-base deve-se, inicialmente, checar se as condições do solo prescindem a existência dessa camada no pavimento. Caso não, deve-se observar que a espessura mínima da sub-base é da ordem de 4 polegadas, 10 centímetros, sendo que, desde que seja um processo possível e mais econômico, é permitido o seu aumento, com a finalidade de aumentar o módulo de reação do solo e de reduzir a espessura de concreto necessária. Segue tabela explicitando as situações nas quais a sub-base é dispensada e uma lista de composições adequadas para acondicionar um pavimento rígido, respectivamente. Ambos são fornecidos em inglês²² e, com a tabela, segue explicação da simbologia presente na coluna de Classificação do Solo, também fornecida pela OACI.²³

²² ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 164.

²³ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 135.

Tabela 2 Situações em que se prescinde a Sub-base

Classificação do Solo	Boa Drenagem		Má drenagem	
	Com Congelamento	Sem Congelamento	Com Congelamento	Sem Congelamento
GW	X	X	X	X
GP	X	X	X	
GM	X			
GC	X			
SW	X			

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

GW – cascalhos bem graduados e misturas de cascalho e areia, com pouco ou sem finos;
 GP – cascalhos e misturas de cascalho e areia, com pouco ou sem finos, mal graduados;
 GM - cascalhos siltosos, misturas de cascalho, areia e silte;
 GC – cascalhos argilosos, misturas de cascalho, areia e argila;
 SW – areias bem graduadas e areias com cascalho, com pouco ou sem finos.

Quadro 5 Materiais Adequados para Acomodação de Pavimento Rígido

Camada da Sub-base de Cascalho
Camada da Base Betuminosa
Camada da Base de Agregados
Camada da Base de Agregados Esmagados
Camada da Base de Solo Cimento
Camada da Base Tratada com Cimento

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Segue exemplo dado pela OACI, em seu manual de pavimentos de aeroportos, tratando sobre a pavimentação de um pavimento rígido:

“Exemplo de Dimensionamento

4.4.22.1 Como exemplo do uso das curvas de dimensionamento, admite-se um pavimento a ser dimensionado para uma aeronave com dual tandem, peso bruto de 350 000 lb (160 000 kg) e 6000 partidas anuais equivalentes. As 6000 partidas anuais equivalentes incluem 1200 partidas anuais da aeronave B-747, apresentando 780 000 lb (350 000 kg) de peso

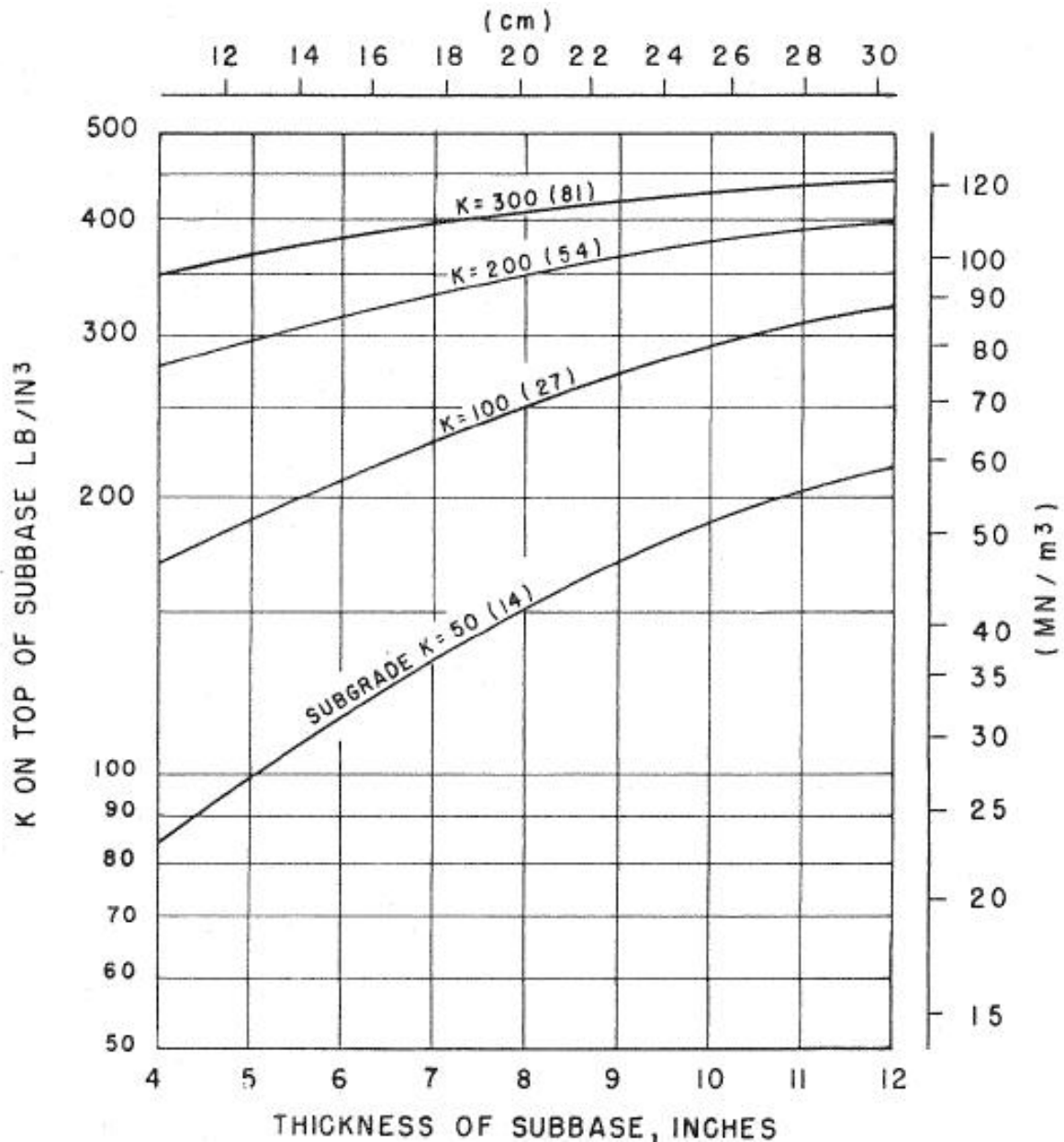
bruto. O módulo do subleito é de 100 pci (25 MN/m³) com má drenagem e a penetração do congelamento é de 17 pol (45 cm). O aspecto a ser dimensionado é uma pista de decolagem e pouso principal e requer 100 por cento de proteção ao congelamento. O solo do subleito é CL²⁴. As misturas de concreto definidas indicam que a resistência à flexão de 650 psi (4,5 MN /m²) pode ser facilmente produzida com os agregados locais disponíveis.”

Observando-se que o peso bruto de cada aeronave de dimensionamento supera o valor de 100 000 lb (45 400 kg), limite dado para aeronaves com valor igual ou superior para que se determine a estabilização da sub-base. No exemplo do manual, adotou-se a Sub-base Estabilizada com Cimento para a estabilização do solo. Adotou-se um valor de 6 polegadas para a sub-base. Fazendo-se uso da Figura 18 e sabendo-se que o módulo k do subleito é igual a 25 MN/m³, acrescenta-se para a referida camada uma espessura de 6 polegadas, afim de se melhorar a qualidade da resistência do subleito, aumentando-se o valor desse módulo para 57 MN/m³.

Em seguida, valendo-se do gráfico da Figura 19, iniciando-se pelo valor de resistência à flexão igual 650 psi, projeta-se para a direita, até a curva na qual o módulo de subleito é próximo ao valor encontrado acima, ou seja, próximo da a curva de 200 pci (54 MN/m³). Dessa intersecção, projeta-se para cima, até o ponto correspondente ao peso bruto da aeronave de 350 000 lb, localizado no meio do intervalo presente entre as linhas de 400 000 lb e 300 000 lb. Após encontrar essa outra intersecção, projeta-se para a direita, até a coluna do ábaco de partidas anuais correspondente ao que foi pedido no exemplo, em que o valor é 6000 partidas. O resultado apresentando, ao fim desse processo, é a espessura do pavimento rígido com dimensão próxima de 16,6 pol, valor esse que deve ser obrigatoriamente arredondado para 17 pol (43 cm).

²⁴ CI - Argila Inorgânica de baixa a média plasticidade, argila com cascalho, argila siltosa ou argila magra. ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 135.

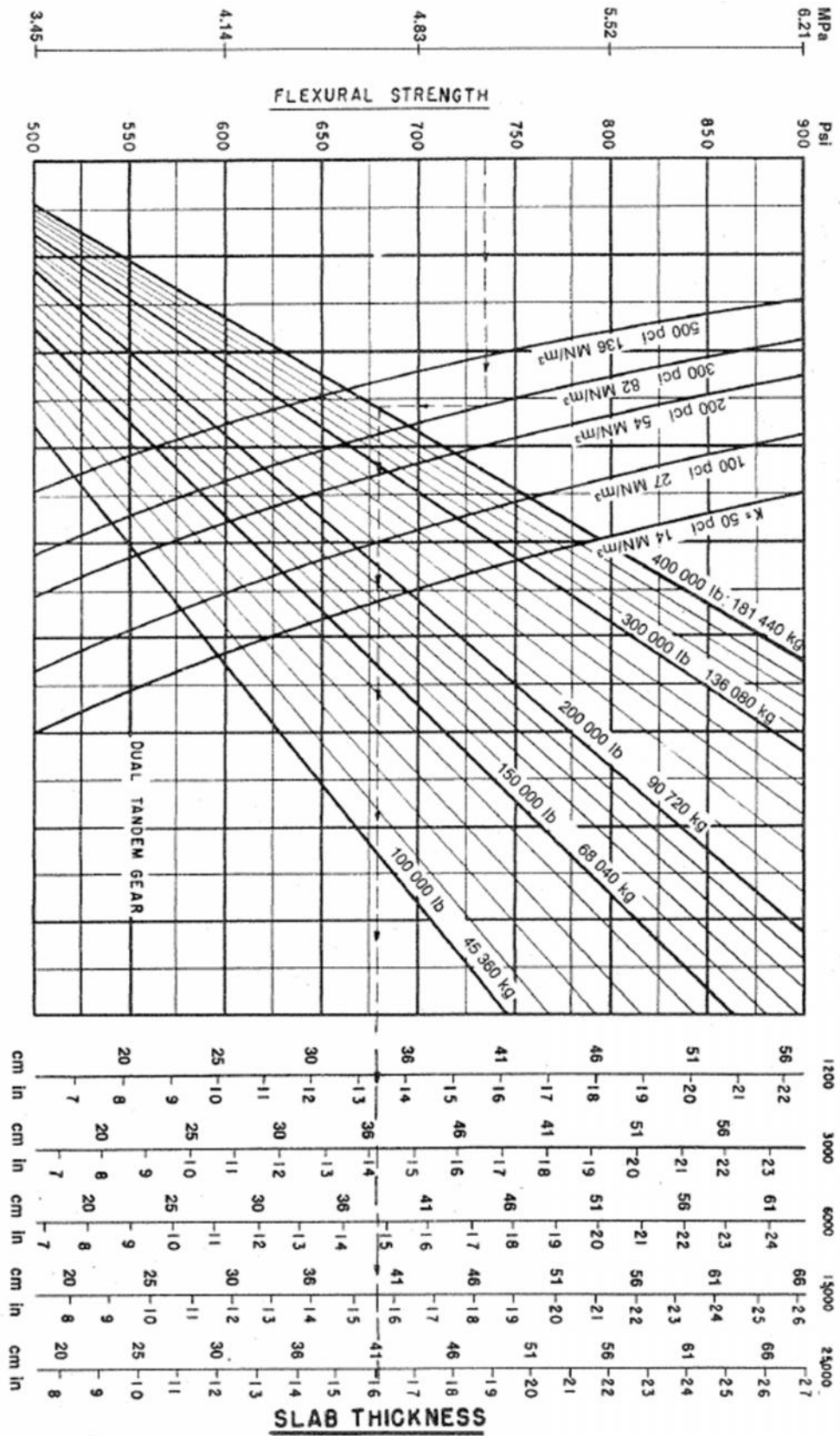
Figura 18 Efeito da Sub-base Estabilizada sobre o Módulo do Subleito



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

A partir do valor da penetração do congelamento, 17 pol (43 cm), somado ao valor da espessura de pavimento de concreto combinado com a sub-base estabilizada, 6 pol (15 cm), tem-se uma espessura igual a 23 pol (58 cm), não sendo necessária maior proteção. É importante observar que se deve fazer outras tentativas de dimensionamento prevendo-se o pouso de aviões maiores e mais pesados, dado que, dependente das considerações de dimensionamento, um avião com peso bruto muito alto pode gerar sérios danos à pista. Além disso, outro motivo para tal é a busca de seções que atendam às solicitações do custo mais econômico possível.

Figura 19 Curvas de Dimensionamento de Pavimento Rígido-Eixo de Roda Dual Tandem



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

5.1.2.7.9 Volume de Tráfego Alto

A intensidade do tráfego de aeronaves é bastante variável entre os aeroportos, existindo os casos em que o tráfego alto ultrapassa os limites das curvas de dimensionamento, que é 25 000 partidas anuais equivalentes. Dada tal situação, sabe-se que, para o aumento da resistência do pavimento, deve-se fazer um acréscimo de espessura. Segue quadro com os acréscimos de espessura sobre a espessura de 25 000 partidas, expressos em porcentagem.

Quadro 6 Espessura de Pavimentos de Alto Nível de Saídas Expresso em Porcentagem da Espessura de 25 000 Saídas

Nível de Saídas Anuais	Porcentagem da Espessura de 25 000 Saídas
50 000	104
100 000	108
150 000	110
200 000	112

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

O Manual da OACI faz a observação de que os valores dados no quadro acima são baseados em extrapolação de dados de pesquisa e observações dos pavimentos em serviço, que o quadro acima foi desenvolvido por meio de uma relação logarítmica entre a porcentagem de espessura e o valor de partidas.²⁵

Segundo Javier Zamorano Igual (2011), em sua Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, os resultados da espessura que for superior à de 25 000 saídas devem ser corrigidos por meio da equação seguinte:

$$T_{T a} = T_2 \left(1 + 0,133 * \log \left(\frac{N}{25000} \right) \right)$$

(Fórmula 04)

²⁵ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 183.

N: Número de saídas;

T_2 : Espessura correspondente a 25 000 saídas;

T_T : Espessura Final Corrigida.

O autor também complementou que deve-se incrementar uma camada de desgaste.²⁶

²⁶ IGUAL, Javier Zamorano. Catálogo para Pavimentos Aeroportuários . 2011. Dissertação – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. p. 22.

6 RESULTADOS

6.1 CÁLCULO DOS PAVIMENTOS COM OS MÉTODOS DEMONSTRADOS

6.1.1 DIMENSIONAMENTO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA

Com a apresentação descritiva, dada anteriormente, do Aeroporto Internacional de Brasília, Juscelino Kubitschek, prossegue-se, neste capítulo, com a demonstração do dimensionamento das pistas de decolagem e pouso em face das determinações fornecidas pelo Aerodrome Design Manual, Part 3, da OACI, de 1983, e com a contribuição da Federal Aviation Administration.

6.1.1.1 Tráfego de Dimensionamento

O tráfego de dimensionamento é um dado resultante de um processo de conversão das várias Partidas Anuais, de cada tipo de aeronave, para que fiquem equivalentes e prontas para aplicação no método. A importância dessa conversão é dada pelo fato de que o dimensionamento do pavimento terá como referência um único CBR, ou valor k, resistência a flexão, devendo-se buscar o valor que cumpra sua função sem desperdício de material.

Inicialmente, deve-se obter o número de partidas de todas as aeronaves que operarão no pavimento, com seus respectivos pesos máximos de decolagem e tipo de eixo de roda. Em seguida, lançando mão do Quadro 07, de fatores de conversão, multiplica-se seus valores, de acordo com a aeronave correspondente, pelas suas partidas anuais. A partir desses valores convertidos e dos pesos sobre os eixos de roda, aplica-se na fórmula número 05, para que sejam encontradas as Partidas Anuais Equivalentes de cada aeronave. Enfim, somam-se todas as partidas equivalentes resultantes e obtém-se o tráfego de dimensionamento, as partidas anuais equivalentes.

$$\log R_1 = \log R_2 \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

(Fórmula 05)

Sendo que:

- R_1 - Partidas Anuais Equivalentes à aeronave de dimensionamento;
- R_2 - Partidas Anuais expressas no trem de aterrissagem da aeronave de dimensionamento;
- W_1 - eixo de roda da aeronave de dimensionamento;
- W_2 - eixo de roda da aeronave em questão.

Quadro 7 Fatores de Conversão

Converter de	Para	Multiplicar Partidas por
Única Roda	Roda Dupla	0,8
Única Roda	Dual Tandem	0,5
Roda Dupla	Dual Tandem	0,6
Duplo Dual Tandem	Dual Tandem	1,0
Dual Tandem	Roda Única	2,0
Dual Tandem	Roda Dupla	1,7
Roda Dupla	Roda Única	1,3
Duplo Dual Tandem	Roda Dupla	1,7

Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Tendo como base o exposto acima, proceder-se-á com sua aplicação no exemplo de definição do tráfego de dimensionamento do Aeroporto Internacional de Brasília. Mostra-se adiante o Quadro 08, que apresenta informações sobre o tráfego do aeroporto, com a discriminação de pousos e decolagens, mensais e anuais. A partir das informações estatísticas disponibilizadas no site da Infraero Aeroportos²⁷, tem-se os dados estatísticos do tráfego de aviões e cargas do ano de 2012 até o mês de maio de 2016. Optou-se pelas estatísticas de dezembro de 2012, dado que é a última data com dados do aeroporto brasileiro fornecido por essa fonte.

Quadro 8 Movimento de Aeronaves da Rede Infraero em dezembro de 2012

Discriminação	Pousos no Mês	Pousos no Ano	Decolagens no Mês	Decolagens no Ano	Pou + Dec. no Mês	Pou + Dec. no Ano
SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília	7.558	94.341	7.555	94.187	15.113	188.528
Transporte Regular	6.295	78.097	6.312	78.272	12.607	156.369
Voo Doméstico	6.140	76.068	6.156	76.312	12.296	152.380
Nacional	6.140	76.068	6.156	76.312	12.296	152.380
Regional	0	0	0	0	0	0
Voo Internacional	155	2.029	156	1.960	311	3.989
Transporte Não Regular	1.263	16.244	1.243	15.915	2.506	32.159
Voo Doméstico	1.222	15.557	1.210	15.424	2.432	30.981
Voo Internacional	41	687	33	491	74	1.178

Fonte: <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatistica-dos-aeroportos.html>

Diante desses dados fornecidos e sabendo-se que é necessária a discriminação das partidas anuais por modelo de aeronave, construiu-se o Quadro 09,

²⁷ INFRAERO AEROPORTOS. Estatísticas. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatistica-dos-aeroportos.html>>. Acesso em: 30 abr. 2016. 10:00

logo adiante, com os modelos que circulam nesse aeroporto, com seus tipos de voos, se domésticos ou internacionais, seus respectivos eixos de rodas e cargas máximas de decolagem²⁸, numa tentativa de adaptação dos dados disponíveis aos exemplos de quadros dados pelo manual da OACI, sendo um de previsão de tráfego²⁹ e o outro em que se calcula as saídas anuais equivalentes³⁰.

Quanto às adaptações dos dados encontrados, é importante que se demonstre o procedimento. Os dados sobre as empresas e suas respectivas aeronaves, atuantes no Aeroporto de Brasília, e uma esquematização de seus destinos, foram disponibilizados pelos dados de Voos Autorizados Vigentes (HOTRAN), fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)³¹, Estatísticas do Aeroporto de Brasília e outros dados fornecidos no site do próprio aeroporto³². A partir desses dados, e dos números de Voos Domésticos (que nos quadros a seguir foram nomeados como Voos Nacionais) e internacionais, fez-se uma distribuição percentual das Partidas Anuais (que, no quadro acima, são chamadas de Decolagens no Ano) pelo número de destinos que cada empresa atende, com suas respectivas aeronaves. Há que se falar que a lista de aeronaves no site está desatualizada, pois as empresas de transporte aéreo já fizeram novas aquisições de veículos.

Em termos de Partidas Anuais, o que interessa é o modelo de aeronave em estudo e se os voos são nacionais ou internacionais. Partindo-se dessa premissa, aglomeraram-se as Partidas Anuais totais das aeronaves de mesmo modelo. Como por exemplo, o caso da “família A320”, cujas aeronaves estão presentes em duas empresas diferentes. Somaram-se suas Partidas Anuais dos voos nacionais e, como as aeronaves dessa família apresentam características semelhantes, distribuiu-as uniformemente no grupo de voos nacionais. Fez-se o mesmo processo para os voos internacionais que esse grupo atuou. A seguir, demonstram-se os quadros, nessa ordem, com os valores totais de Previsão Anual de Partidas para os voos nacionais e internacionais, com a Distribuição de Partidas Anuais pelos Destinos abrangidos por

²⁸ AVIAÇÃO COMERCIAL. Aeronaves. 2015. Disponível em: < <http://www.aviacaocomercial.net>>. Acesso em: 03 mai. 2016. 09:23

²⁹ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 148.

³⁰ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 149.

³¹ AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Horário de Transportes. 2013. <<http://www2.anac.gov.br/hotran/>>. Acesso em: 30 abr. 2016. 8:23.

³² AEROPORTO DE BRASÍLIA. 2016. Disponível em: <<http://www.bsb.aero/br/>>. Acesso em: 30 abr. 2016. 8:07.

cada empresa aérea e o quadro Pós-Ajustes da Previsão de Tráfego do Aeroporto Internacional de Brasília.

Quadro 9 Previsão de Tráfego do Aeroporto Internacional de Brasília sem os ajustes da Previsão Anual de Partidas

	Aeronave	Tipo de Eixo de Roda	Previsão anual de partidas	Peso máximo de decolagem	
				(lb)	(kg)
Voos Internacionais	A330-200	Dual Tandem	2451	507060	230000
	A340-200	Dual Tandem		507060	230000
	757-200	Dual Tandem		272000	123600
	A319	Dual		141100	64000
	A320	Dual		161000	73000
	767-300	Dual Tandem		395000	179170
	737-800	Dual		174165	79000
Voos Nacionais	A318	Dual	91736	130070	59000
	A319	Dual		141100	64000
	A320	Dual		161000	73000
	ATR-72	Dual		196200	89000
	A321	Dual		50300	22800
	737-700	Dual		152120	69000
	190	Dual		105360	47790
	195	Dual		115000	52290
	737-300F	Dual		137000	62000
	737-400F	Dual		150000	68000
	727-200	Dual		209000	95000

Fonte: Autoria Própria

Quadro 10 Distribuição do número de Partidas Anuais pelos Destinos

Empresa Aérea	Nº de Destinos		Representatividade dos Destinos (%)		Multiplic. (Represent. x Saídas Anuais Totais)	
	Nacionais	Internacionais	Nacionais	Internacionais	Nacionais	Internacionais
Air France	-	1	-	0,008	-	730
American Airlines	-	1	-	0,008	-	730
Avianca	19	-	0,147	-	13873	-
Azul	14	-	0,109	-	10222	-
Copa Airlines	-	1	-	0,008	-	730
Gol	34	2	0,264	0,016	24824	1460
Rio Linhas Aéreas	2	-	0,016	-	1460	-
Sideral Air Cargo	2	-	0,016	-	1460	-
Tam	42	4	0,326	0,031	30666	2921
Passaredo	7	-	0,054	-	5111	-
Total	129		0,930	0,070	87616	6571
				Total	94187	

Fonte: Autoria Própria

Quadro 11 Previsão de Tráfego do Aeroporto Internacional de Brasília após os ajustes e discriminações da Previsão Anual de Partidas

	Aeronave	Tipo de Eixo de Roda	Previsão anual de partidas	Peso máximo de decolagem	
				(lb)	(kg)
Voos Internacionais	A330-200	Dual Tandem	365	507060	230000
	A340-200	Dual Tandem	365	507060	230000
	757-200	Dual Tandem	730	272000	123600
	A319	Dual	974	141100	64000
	A320	Dual	974	161000	73000
	767-300	Dual Tandem	974	395000	179170
	737-800	Dual	2190	174165	79000
Voos Nacionais	A318	Dual	11135	130070	59000
	A319	Dual	11135	141100	64000
	A320	Dual	11135	161000	73000
	A321	Dual	11135	196200	89000
	ATR-72	Dual	5111	50300	22800
	737-700	Dual	24824	152120	69000
	190	Dual	5111	105360	47790
	195	Dual	5111	115000	52290
	737-300F	Dual	730	137000	62000
	737-400F	Dual	730	150000	68000
	727-200	Dual	1460	209000	95000

Fonte: Autoria Própria

Observando-se os dados fornecidos, nota-se que os voos domésticos são muito mais significativos do que os internacionais, apesar de que estes possuem uma representatividade muito maior quanto à carga das aeronaves. Analisando-se o número de Partidas Anuais de cada aeronave, nota-se que os modelos da “família A320” possui grande destaque, atrás somente do modelo 737-700, na parte referente a suas respectivas frequências de atuação nos voos domésticos. Entretanto, comparando-se as cargas dos modelos verificados, observa-se que o modelo A321, 196 200 lb (89 000 kg), possui uma maior carga máxima de decolagem do que o modelo 737-700, 152 120 lb (69 000 kg). A partir disso, tomou-se como aeronave de

dimensionamento o modelo A321, dado que sua é a maior dos dois e, dividindo-a pelo número de rodas de seu eixo de roda, cujo tipo é o dual, obteve-se uma Carga de Roda de 17 338 kg, maior do que a resultante se for considerado o modelo 737-700 (16 388 kg). Prossegue-se com a conversão simplificada das partidas anuais dos voos internacionais e domésticos, por meio da fórmula número 05, resultando no quadro seguinte, número 12.

Figura 20 Aeronave A321, a Aeronave de Dimensionamento escolhida



Fonte: <http://www.melhoresdestinos.com.br/wp-content/uploads/2014/11/1-Aeronave-Fonte-Airbus.jpg>

Quadro 12 Partidas Anuais Equivalentes pela Aeronave de Dimensionamento

	Aeronave	Carga de Roda		Carga de Roda da Aeronave de Dimensionamento		Partidas Anuais Equivalentes às da Aeronave de Dimensionamento
		(lb)	(kg)	(lb)	(kg)	
Voos Internacionais	A330-200	60213	27313	38238	17338	1642
	A340-200	60213	27313	38238	17338	1642
	757-200	32300	14678	38238	17338	428
	A319	33511	15200	38238	17338	627
	A320	38238	17338	38238	17338	974
	767-300	35625	16160	38238	17338	766
	737-800	41364	18763	38238	17338	2981
Voos Nacionais	A318	30892	14013	38238	17338	4338
	A319	33511	15200	38238	17338	6142
	A320	38238	17338	38238	17338	11135
	ATR-72	12575	5700	38238	17338	209
	A321	11946	5415	38238	17338	118
	737-700	36129	16388	38238	17338	18705
	190	25023	11350	38238	17338	1000
	195	27313	12419	38238	17338	1362
	737-300F	32538	14725	38238	17338	438
	737-400F	35625	16150	38238	17338	581
	727-200	49638	22563	38238	17338	4031
Total						57121

Fonte: Autoria Própria

No quadro acima ocorre que as cargas de roda representam a carga do trem de aterrisagem distribuída em cada uma de suas rodas, sendo que o valor dessa carga distribuída é igual a 95% da carga de toda a aeronave. Para as aeronaves com corpos largos, adota-se uma carga de aeronave cuja magnitude é igual a 300 000 lb (136 100 kg), resultando numa carga de roda de 35 625 lb (16 160 kg) o que, porém, não foi utilizado nesse quadro. Com a distribuição da carga da aeronave de dimensionamento, obtém-se um valor de 22 250 lb (10 093 kg) de carga de roda. Com os devidos ajustes para que se encontre o R1, definem-se as Partidas Anuais Equivalentes, totalizando um valor de 57 121.

6.1.1.2 Dimensionamento do Pavimento Flexível

Para que se efetue o cálculo do pavimento flexível de um aeroporto, é de fundamental importância que se conheça o solo sobre o qual ele residirá. Tomando-se a informação dada pela autora Janaína Lima de Araújo (2009)³³, afirma-se que o CBR do subleito da segunda pista do Aeroporto Internacional de Brasília apresenta valor igual a 12%. Quanto ao clima de Brasília, constata-se que não há ocorrência de neves ou invernos rigorosos e nem verões com temperaturas excessivas, não havendo necessidade de tratamentos especiais para a pista nem para a composição da estrutura de seu pavimento. Destarte, reúne-se todos os dados para que se dimensione o pavimento a seguir:

- CBR do Terreno de Fundação: 12;
- 57 000 Partidas Anuais Previstas para a Aeronave A320;
- MTOW – Carga Máxima de Decolagem: 73 000 kg;
- Eixo de Roda do Trem de Aterragem: Dual;

Fazendo-se uso da Figura 16, já apresentado anteriormente, na página 51, que é utilizado para o dimensionamento de aeronaves com Eixo de Roda Duplo, e da metodologia descrita no Capítulo 4, e aplicando-se os dados acima explicitados, observa-se que existe uma divergência entre o número de Partidas Anuais Previstas e o Limite de Partidas Anuais presentes no ábaco, sendo necessário, portanto, que se utilize do Quadro 06, presente na página 60, deste trabalho, com os fatores de conversão para os casos de Volume de Tráfego Alto. Voltando-se para a Figura 16, para um tráfego de 25 000 partidas anuais, obtém-se espessura total do pavimento próxima de 23 pol ou 58 cm, sendo que, as espessuras designadas para a superfície betuminosa são, respectivamente, 4 pol (10 cm) e 3 pol (8 cm), para áreas críticas e não críticas.

³³ ARAÚJO. Janaína Lima de. **Características Funcionais e Mecânicas de Misturas Asfálticas para Revestimentos de Pavimentos Aeroportuários**. 2009. Dissertação – Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília. Brasília, 2009. p. 119.

Segundo a obra de Janaína Araújo (2009)³⁴, o CBR mínimo adotado para a camada da sub-base é 40%, sendo esta estabilizada em cascalho laterítico. Aplicando-se novamente o processo descrito para a definição da espessura total do pavimento, procura-se no gráfico da Figura 16, o valor que se encontra é 8 pol (20 cm), sendo este último um valor arredondado. Valor esse que representa a combinação das espessuras da superfície betuminosa e da base correspondentes ao CBR supracitado. Subtrai-se esse valor da medida total do pavimento, obtendo-se a espessura da sub-base igual a 15 pol (38 cm).

Retirando-se a superfície betuminosa da camada combinada, acima utilizada, com espessura igual a 4 pol (10 cm), adquire-se a espessura da base, 4 pol (10 cm). No entanto, consultando-se o gráfico de espessuras mínimas requeridas, na Figura 17, da página 52, para um subleito com CBR também igual a 12%, obtém-se uma espessura mínima de base de 12 pol (30 cm). Dada a diferença entre o calculado e o necessário, adiciona-se esse excedente à espessura total do pavimento, decorrendo-se num acréscimo de 20 cm, ou 8 pol.

É importante ressaltar a necessidade de estabilização da camada de sub-base, dado que a aeronave de dimensionamento possui carga bruta maior que o limite de 100 000 lb (45 530 kg). Logo, deve-se dividir o valor mínimo da espessura de base e dividi-la por seu fator de equivalência. Segundo Janaína de Araújo (2009), o fator de equivalência definido para o pavimento do aeroporto de Brasília é o de Brita Graduada Simples, para que se obtenha um CBR mínimo de 80%³⁵, que, de acordo com o Quadro 02, na página 48, é igual a 1. Mantendo-se, assim, o valor da espessura da base igual a 30 centímetros.

Voltando-se para a questão do alto tráfego de dimensionamento, tendo definidas as espessuras de cada uma das camadas do pavimento em questão, deve-se fazer uso do Quadro 06, da página 60, para que se defina a Porcentagem de Espessura de 25 000 Partidas correspondente ao Nível de Partidas Anuais adequado, que no caso é o de 50 000, considerando-se o arredondamento do valor de 57 121.

³⁴ ARAÚJO. Janaína Lima de. **Características Funcionais e Mecânicas de Misturas Asfálticas para Revestimentos de Pavimentos Aeroportuários**. 2009. Dissertação – Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília. Brasília, 2009. p. 120.

³⁵ ARAÚJO. Janaína Lima de. **Características Funcionais e Mecânicas de Misturas Asfálticas para Revestimentos de Pavimentos Aeroportuários**. 2009. Dissertação – Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília. Brasília, 2009. p. 120.

Logo, deve-se multiplicar a grandeza de cada estrato pela porcentagem definida, que no caso é igual a 104%.

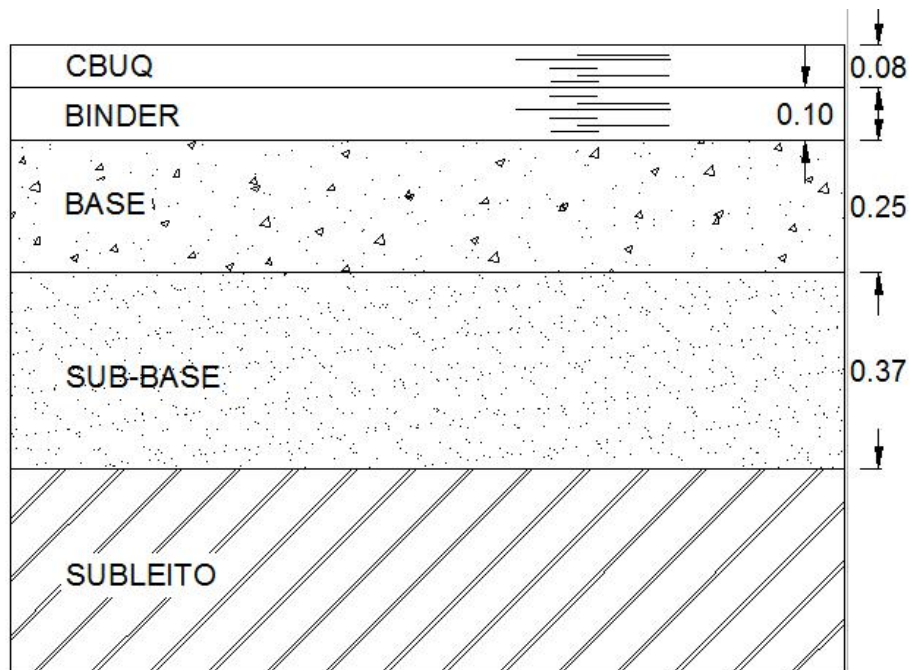
Então, os dados decorrentes desse exemplo de pavimento, após a conversão do Volume de Tráfego Alto, desconsiderando-se questões de estudo de solo, suas necessidades de melhoramento, presença de aquíferos, entre outros, são apresentados no Quadro 13:

Quadro 13 Espessuras Finais Pavimento para o Aeroporto Internacional de Brasília

Camada	Espessura Pré-Conversão				Espessura Pós-Conversão			
	Área Crítica		Área Não-Crítica		Área Crítica		Área Não-Crítica	
	pol	cm	pol	cm	pol	cm	pol	cm
Superfície Betuminosa	4	10	3	8	4	10	3	8
Base	12	30	10	24	12	31	10	25
Sub-base	15	38	14	36	16	40	15	37
Drenagem Transversal	0	0	4	10	0	0	4	10
Total	31	78	31	78	32	81	32	81,0

Fonte: Autoria Própria

Figura 21 Perfil Longitudinal do Pavimento Calculado, Pós Conversão



Fonte: Autoria Própria

Cabe ressaltar que para as camadas da Base e Sub-base, na Área Não-Crítica, adotou-se o critério de 0,8 e 0,9, respectivamente, da espessura das mesmas camadas da coluna Área Crítica, com os devidos aspectos de arredondamento e aumento da segurança.

Tomando-se a espessura resultante, de 78 cm, desconsiderando-se, por questões de segurança, o fator de Volume de Tráfego Alto, faz-se uso dela na fórmula do gráfico da página 40, considerando-se o CBR do subleito, igual a 12%, obtendo-se um PCN igual a 69. Além disso, por ser uma pista de decolagem e pouso, é mais interessante do ponto de vista da fissuração e do suporte de cargas altíssimas e dinâmicas, que o pavimento seja do tipo flexível. Logo, receberá o código F. Como o subleito do local apresentado possui CBR igual a 12%, ele se enquadra na Categoria de Resistência Média cujo CBR é o de 10%, recebendo o Código B. Adotar-se-á o Código W, da categoria Alta, de Pressão Máxima de Pneus, dado que é um aeroporto internacional e deve estar pronto para receber aeronaves de diversas cargas possíveis. E, por fim, há que se codificar que o método utilizado foi o técnico, valendo-se portanto da letra T na codificação. O PCN proveniente é dado a seguir:

PCN – 69 / F / B / W / T

6.1.1.3 Comparação dos Dados Calculados com os Dados do Aeroporto

Baseado nos dados apresentados por Araújo (2009)³⁶, sabe-se que o pavimento do Aeroporto Internacional de Brasília possui as seguintes dimensões, com seus respectivos CBRs:

³⁶ ARAÚJO. Janaína Lima de. **Características Funcionais e Mecânicas de Misturas Asfálticas para Revestimentos de Pavimentos Aeroportuários**. 2009. Dissertação – Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília. Brasília, 2009. p. 120.

Quadro 14 Dimensões do Pavimento do Aeroporto de Brasília

Camada	Espessura (cm)	Valor do CBR (%)
Capa CBUQ	6,00	-
Binder CBUQ	8,00	-
Base em Brita Graduada Simples	30,00	80
Sub-base Estabilizada	38,00	40
Reforço de Subleito Argiloso	22,50	12
Total	104,50	

Fonte: Janaína Lima de Araújo. Dimensionamento AIB, 2009

Observa-se que, dentre os dados de pavimento que foram considerados no Quadro 14, as dimensões escolhidas estão na Área Não-Crítica, na coluna da Espessura Pós-Conversão, dado que nela estão expressos os valores com a conversão de Volume de Tráfego Alto e a camada de drenagem, também adotada no pavimento construído do Aeroporto de Brasília. Quanto às divergências presentes, há a presença de uma camada de Reforço de Subleito com espessura de 90 cm, garantindo-se que este tenha um CBR mínimo de 12%. Ao subtrairmos o valor da espessura total da estrutura do Pavimento Calculado com a do Pavimento Construído, encontra-se uma diferença de 17,6 cm, valor esse que poderia ser redimensionado, de modo a diminuir esse excesso de espessuras, de acordo com o que for determinado para a camada de Reforço de Subleito.

Quanto à camada superficial, nota-se que a dimensão da camada de drenagem transversal e a da superfície betuminosa calculadas apresentaram excedentes de 2 cm. Já a Base e a Sub-base, verifica-se que as dimensões aplicadas apresentam uma esbeltes de 5 cm e 1 cm, respectivamente. Sabe-se também que, como Janaína também apresentou³⁷, a aeronave de dimensionamento considerada foi um MD-11 (McDonnell Douglas MD-11), cuja carga é bastante superior à da aeronave considerada nos cálculos desta pesquisa, em razão da fonte de informações quanto ao tráfego de aviões.

Quanto ao número ACN-PCN, percebe-se uma divergência pequena entre o resultado calculado e o valor da segunda pista do Quadro 15³⁸, quanto ao número

³⁷ ARAÚJO. Janaína Lima de. Dimensionamento AIB. 2009. p. 119.

³⁸ COMAER, Carta de Aeródromo – SBBR, 2015.

propriamente dito do PCN, sendo igual a 1. Se considerarmos a primeira, essa diferença aumenta para 7. Apresenta-se adiante, também, o Diagrama do Aeroporto de Brasília, presente na primeira página da Carta de Aeródromo deste.

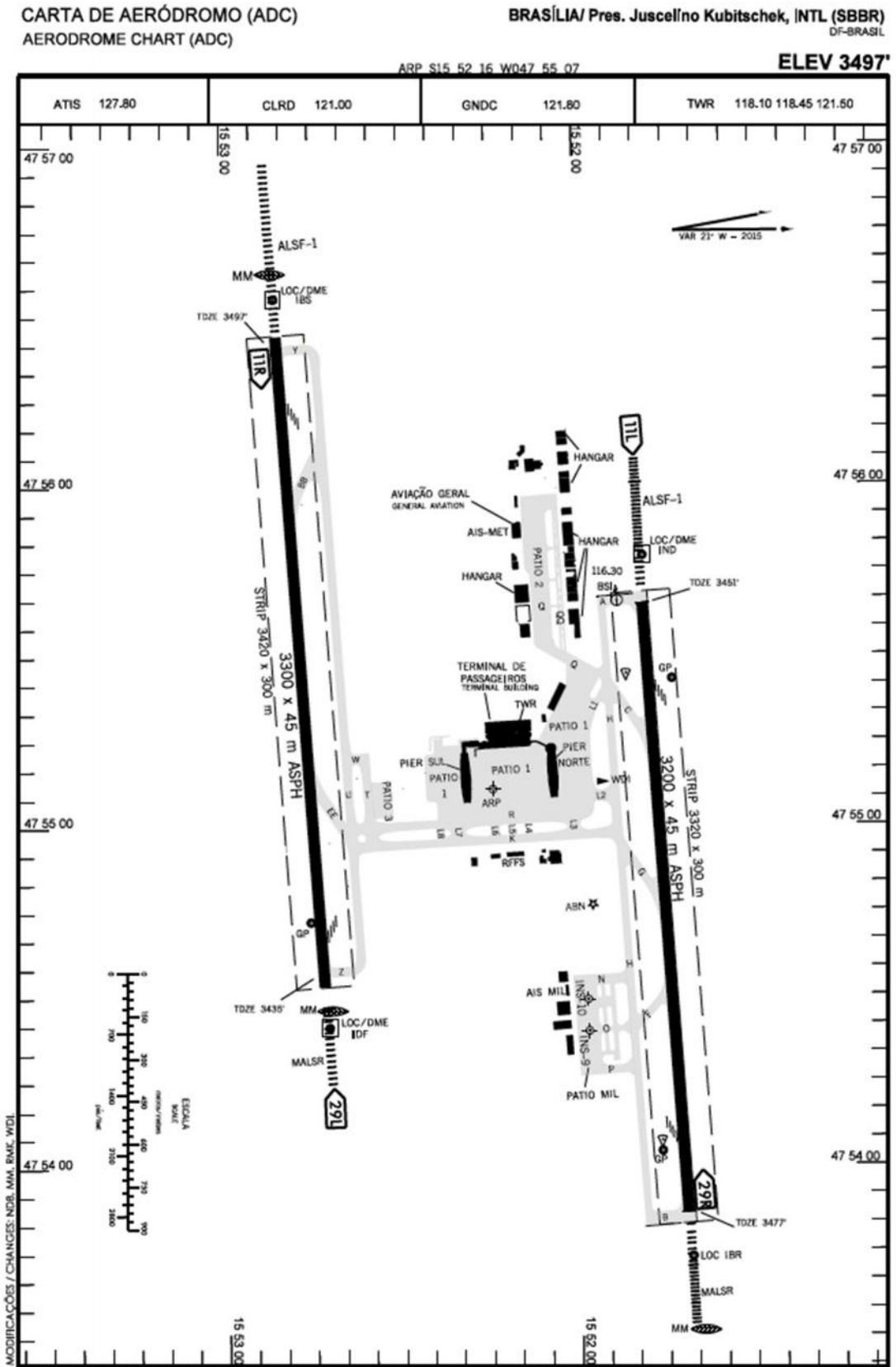
Diante de tais divergências, é importante ressaltar que os cálculos efetuados neste trabalho foram à título de ilustração do método, não dispondo-se de todas as informações devidas, como as investigações do solo, os dados concisos sobre todas as aeronaves que ali operariam, juntamente com sua frequência de Partidas Anuais e, além disso, existem diversos critérios dos quais o projetista pode se munir, sendo eles mais ou menos conservadores. Apesar das pequenas divergências, declaro que foram satisfatórios os resultados aqui explorados.

Quadro 15 Características Físicas das Pistas de Decolagem e Pouso do AIB

PISTA RUNWAY				DIMENSOES(m) DIMENSIONS(m)					PCN	TIPO DE SURF.
RWY	BRG MAG	Tipo Type	RCD	RWY	SWY	CWY	STRIP	RESA	RWY	RWY
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
11L	107	PA-1	4	3200X45			3320	90X90	PCN 76/F/B/X/T	ASPH
29R	287	PA-1	4				X 300	90X90		
11R	107	PA-2	4	3300X45			3420	90X90	PCN 68/F/B/W/T	ASPH
29L	287	PA-1	4				X 300	90X90		

Fonte: COMAER, Carta de Aeródromo – SBRR, 2015

Figura 22 Diagrama do Aeroporto de Brasília



Fonte: COMAER, Carta de Aeródromo – SBBR, 2015

6.1.2 DIMENSIONAMENTO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE ATLANTA

De maneira análoga ao que foi feito na seção 5.1 deste capítulo, será demonstrado adiante o procedimento para definição do pavimento de uma das pistas do Aeroporto Internacional de Atlanta com um exemplo também calculado por este trabalho, também seguindo as etapas descritas neste trabalho e informações de documentos complementares. Há de se observar que os resultados também serão comparados aos que foram realmente aplicados nas pistas do aeroporto.

6.1.2.1 Tráfego de Dimensionamento

Os dados adquiridos para a definição do tráfego de dimensionamento foram obtidos a partir do documento estatístico referente ao mês de Dezembro de 2015, fornecido pelo próprio Aeroporto Hartsfield-Jackson³⁹, contando nele as operações das aeronaves e o número de passageiros transportados no último ano, entre outras informações. Optou-se pelos dados de 2015, dado que nele constam informações sobre todo esse ano, contabilizando os meses com mais e menos operações e os passageiros que por ele passaram. Como não há informação sobre o número de Partidas Anuais de cada modelo de aeronave, optou-se por verificar e registrar a frota de aviões das 4 empresas que abrangeram o transporte de pouco mais de 90% dos passageiros em todo o período. Feito o registro, à proporção da porcentagem de passageiros transportados por cada empresa, distribuiu-se o número de operações totais registradas pelo aeroporto para cada empresa. De acordo com as frotas de cada uma destas, dividiu-se o número de Partidas Anuais de cada uma para cada aeronave de maneira igual, atentando-se para o detalhe de que, se a aeronave existe em duas ou mais empresas, seus números de Partidas Anuais devem ser somados. O Quadro 16 demonstra a distribuição de Partidas Anuais Totais para cada empresa, seguido pelo Quadro 17, que apresenta a distribuição dessas partidas para cada modelo de aeronave e suas respectivas Partidas Anuais Equivalentes.

³⁹ HARTSFIELD-JACKSON – ATLANTA INTERNATIONAL AIRPORT. Operating Statistics. Atlanta, 2016. Disponível em: < http://www.atlanta-airport.com/Airport/ATL/operation_statistics.aspx >. Acesso em: 27 mai. 2016. 16:07.

Quadro 16 Distribuição de Partidas Anuais Totais para cada empresa

	AMERICAN AIRLINES	DELTA AIRLINES	EXPRESSJET AIRLINES	SOUTHWEST AIRLINES
777-300	737-700	CRJ-200	737-300	
777-200	737-800	ERJ-145	737-500	
A330-200	737-900	CRJ-900	737-700	
A330-300	A330-200	CRJ-700	737-800	
737-800	A330-300	ERJ-135	-	
A321	A321	-	-	
A320	A320	-	-	
A319	717	-	-	
737	747-400	-	-	
757	757-200	-	-	
767	757-300	-	-	
787	767-300	-	-	
MD Super 80	767-400	-	-	
CRJ-200	777-200	-	-	
CRJ-700	CRJ-100/200	-	-	
CRJ-900	CRJ-200	-	-	
Dash 8 300	CRJ-700	-	-	
ERJ 140	CRJ-900	-	-	
ERJ 145	E175	-	-	
ERJ 170	E170	-	-	
ERJ 170	ERJ145	-	-	
ERJ 175	MD-88	-	-	
ERJ 190	MD-90	-	-	
Quantidade de passageiros	1644156	75651470	6576624	9550313
Porcentagem do total	1,62%	74,54%	6,48%	9,41%
Total de Passageiros	101491106			
Total de Partidas Anuais	882497			
Partidas Distribuídas de Acordo com a Quantidade de Passageiros	14296	657813	57186	83043
Obs	Utilizou-se as empresas com representação do transporte de pouco mais de 90% dos passageiros do Aeroporto de Atlanta			

Fonte: Autoria Própria

Quadro 17 Distribuição de Partidas Anuais Totais para cada modelo de aeronave

Aeronaves	Peso máximo de Decolagem		Tipo de Eixo de Roda	Previsão Anual de Partidas	Carga de Roda		Carga de Roda da Aeronave de		Partidas Anuais Equivalentes às da Aeronave de Dimensionamento
	(lb)	(kg)			(lb)	(kg)	(lb)	(kg)	
777-300	659850	299300	Triplo Tandem	650	52238	23695	60218	27313	417
777-200	544550	247000	Triplo Tandem	29250	43110	19554	60218	27313	6009
737-300	136700	62000	Dual	20761	32466	14725	60218	27313	1479
737-500	132300	60000	Dual	20761	31421	14250	60218	27313	1314
737-700	152120	69000	Dual	49361	36129	16388	60218	27313	4319
737-800	174170	79000	Dual	50011	41365	18763	60218	27313	7846
737-900	187400	85000	Dual	28601	44508	20188	60218	27313	6780
747-400	399000	181000	Double Dual	28601	23691	10747	60218	27313	624
A330-200	507100	230000	Dual Tandem	29250	60218	27313	60218	27313	29250
A330-300	507100	230000	Dual Tandem	29250	60218	27313	60218	27313	29250
A321	196920	89000	Dual	29250	46769	21138	60218	27313	8628
A320	160950	73000	Dual	29250	38226	17338	60218	27313	3617
A319	141100	64000	Dual	650	33511	15200	60218	27313	125
757-200	272500	123600	Dual Tandem	29250	32359	14678	60218	27313	1879
757-300	272491	123600	Dual Tandem	29250	32358	14678	60218	27313	1879
767-300	410060	186000	Dual Tandem	29250	48695	22088	60218	27313	10379
767-400	449750	204000	Dual Tandem	29250	53408	24225	60218	27313	16070
787	555125	251800	Dual Tandem	650	65921	29901	60218	27313	877
CRJ-100/200	116850	53000	Dual	28601	27752	12588	60218	27313	1060
CRJ-200	116850	53000	Dual	28601	27752	12588	60218	27313	1060
CRJ-700	74960	34000	Dual	28601	17803	8075	60218	27313	265
CRJ-900	83780	38000	Dual	28601	19898	9025	60218	27313	364
ERJ-135	41890	19000	Dual	11437	9949	4513	60218	27313	45
ERJ 140	46300	21000	Dual	650	10996	4988	60218	27313	16
ERJ 145	48502	22000	Dual	12087	11519	5225	60218	27313	61
ERJ 170	79150	35900	Dual	650	18798	8526	60218	27313	37
ERJ 175	82675	37500	Dual	650	19635	8906	60218	27313	40
ERJ 190	105160	47700	Dual	650	24976	11329	60218	27313	65
MD Super 80	138900	63000	Dual	650	32989	14963	60218	27313	121
MD-88	147709	67000	Dual	28601	35081	15913	60218	27313	2520
MD-90	154325	70000	Dual	28601	36652	16625	60218	27313	2997
								Total	139392

Fonte: Autoria Própria

Na determinação da aeronave de dimensionamento, observou-se que grande parte dos modelos listados no Quadro 17 possuem valores de Previsão Anual de Partidas muito próximos, porém, com grande variação de suas Cargas Máximas de Decolagem. Os modelos de aeronave que possuem os maiores valores de Partidas Anuais, que são o 737-700 e o 737-800, apresentam Pesos Máximos de Decolagem iguais a 152120 lb (69 000 kg) e 174170 lb (79 000 kg), respectivamente, sendo que esses dados são menos significativos do que os de outras aeronaves com Previsão Anual de Partidas também relevantes, o que é o caso das aeronaves A330-200 e A330-300, cujos Pesos Máximos de Decolagem são iguais a 507 100 lb (230 000 kg). Feitas essas considerações, adota-se, como aeronave de dimensionamento o modelo A330-300, por terem, entre o grupo de aeronaves com maior número de partidas anuais, as maiores cargas.

Figura 23 Aeronave A330-300, a Aeronave de Dimensionamento escolhida



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Usairways_a330-300_n278ay_arp.jpg

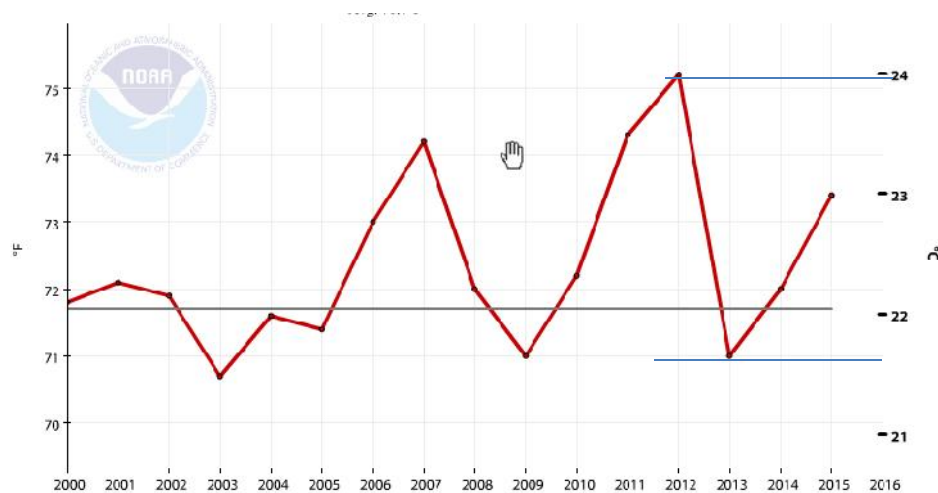
Sob a luz do Quadro 17, define-se o número de Partidas Anuais Equivalentes, cujo valor é 139 392. Como o limite de partidas, com relação aos ábacos utilizados nos métodos de dimensionamento, é 25 000, deve-se fazer uma adaptação ao valor descoberto para o Aeroporto de Atlanta, por meio do Quadro 06, da página 60, deste trabalho, que fornecerá a porcentagem a ser multiplicada pela espessura do pavimento total calculado.

6.1.2.2 Dimensionamento do Pavimento

Deve-se iniciar o dimensionamento do pavimento analisando-se o valor de Resistência do Subleito de onde se alocou o aeródromo em estudo. Como não se teve acesso aos dados de inspeção do terreno de subleito da área, em consulta ao documento do Diagrama do Aeroporto de Atlanta, apresentado na Figura 27, sabe-se que o subleito das pistas é de Resistência Alta, Código A, tendo capacidade de resistir a esforços descritos por $K = 150 \text{ MN/m}^3$. O Diagrama também demonstra que o projetista optou por fazer todas as pistas com pavimento rígido, razão essa que optaremos, também, por ele, considerando o fator K do subleito.

Além disso, é importante frisar a atenção que se deve fornecer ao clima da região. Para tanto, em acesso ao site oficial da National Centers for Environmental Information (NCEI), da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)⁴⁰, logrou-se os dados das duas imagens a seguir, referentes às temperaturas máximas e mínimas registradas, respectivamente, no período de 2000 até 2015, na cidade de Atlanta, Geórgia, nos Estados Unidos.

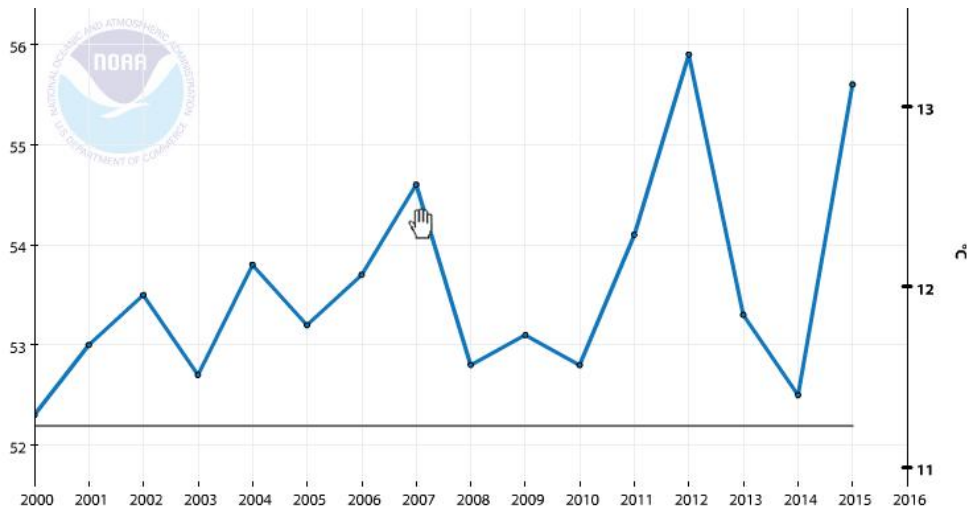
Figura 24 Máximas Temperaturas da Cidade de Atlanta, Geórgia, 2000-2015



Fonte: http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/us/9/USW00013874/tmax/yttd/12/2000-2015?base_prd=true&firstbaseyear=1901&lastbaseyear=2000

⁴⁰ NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. Climate at a Glance. 2016. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/cag/>>. Acesso em: 31 mai. 2016. 9:26.

Figura 25 Temperaturas Mínimas da Cidade de Atlanta, Geórgia, 2000-2015



Fonte: http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/us/9/USW00013874/tmin/ytd/12/2000-2015?base_prd=true&firstbaseyear=1901&lastbaseyear=2000

Fazendo-se uma leitura prévia dos gráficos fornecidos, afere-se que a temperatura mais baixa alcançada, nesse período de 15 anos, foi de, aproximadamente, 11,3 °C, o que permite inferir que não houve incidência de neve, nem o congelamento da estrutura dos pavimentos do aeroporto. Quanto às máximas, denota-se que são bastante amenas, sem a ocorrência de temperaturas excêntricas.

Reunindo-se os dados, obtém-se:

- K do Terreno de Fundação igual a 150 MN/m³;
- 139 292 Partidas Anuais Previstas para a Aeronave A330-300;
- MTOW – Carga Máxima de Decolagem: 230 000 kg;
- Eixo de Roda do Trem de Aterragem: Dual Tandem;

Analisando-se os valores das Partidas Anuais desse aeroporto, denota-se a necessidade de uso dos fatores de conversão presentes no Quadro 07, da página 63, relativos ao Volume de Tráfego Alto. Antes disso, é obrigatório que se considere que a resistência à flexão da plataforma de concreto é igual 4,5 MN/m², valor pego em exemplo de dimensionamento de pavimento rígido, presente no Manual da OACI⁴¹, e

⁴¹ ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 175.

que se faça uso dos dados acima mencionados para que, por meio gráfico da Figura 26, apresentado a seguir, se possibilite a determinação da espessura total inicial do pavimento. No entanto, tal gráfico não atende às especificações de Carga Máxima de Decolagem da Aeronave, que ultrapassa os limites das curvas desse gráfico, requerendo, assim, que se utilize um ábaco distinto, reservado a aeronaves como B-747-SP entre outras, ilustrado na Figura 27, a posteriori. Portanto, a espessura do pavimento de concreto é igual a 10 pol (25 cm), ambas medidas com valor arredondado.

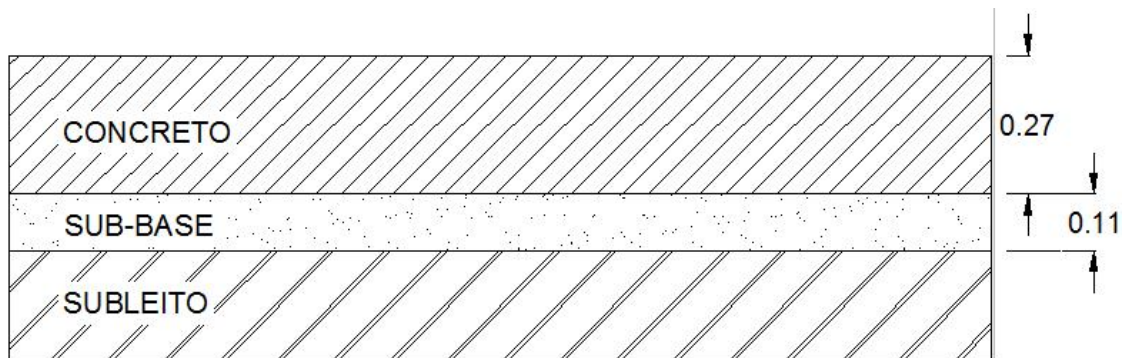
Dado que o peso bruto da aeronave supera o limite de 100 000 lb (45 400 kg), deve-se estabilizar a sub-base. Para tanto, deve-se tratar o subleito de modo que ele tenha um módulo K mínimo de 54MN/m³. Ao utilizar do ábaco apresentado na página 53, do Capítulo 4, opta-se por uma sub-base de aproximadamente 4 pol (10 cm), que fornecerá um acréscimo aproximado de 76 MN/m³, garantindo-se, desse modo, que o módulo K deste pavimento corresponda à categoria A, da classificação do número, representada por valores acima de 120 MN/m². Acrescentando-se essa espessura de 4 pol (10 cm) à camada do pavimento de concreto, o que resulta é o valor de 14 pol (35 cm). Constata-se que o tráfego de aeronaves no aeroporto em estudo é de alto volume, postulando que seja feita a devida conversão com o emprego do Quadro 06, da página 60, aplicando-se na espessura do pavimento voltado para 25 000 Partidas Anuais o fator de 110%, relativo ao Nível de 150 000 Partidas Anuais. O Quadro 18 expressa os resultados do pavimento. Atinge-se, então, uma espessura final de 15 pol (38 cm), sendo que ambos os valores estão seguindo os padrões de arredondamento. Segue quadro com as dimensões calculadas do Pavimento do Aeroporto de Brasília.

Quadro 18 Dimensões Calculadas do Pavimento do Aeroporto de Atlanta

Camada	Espessura Pré-Conversão		Espessura Pós-Conversão	
	pol	cm	pol	cm
Pavimento de Concreto	10	25	11	27
Sub-base	4	10	4	11
Total	14	35	15	38

Fonte: Autoria Própria

Figura 26 Perfil Longitudinal do Pavimento Calculado, Pós Conversão



Fonte: Autoria Própria

Dados os resultados construídos, relativos ao pavimento rígido do Aeroporto de Atlanta, deve-se prosseguir com o cálculo do número PCN, a partir do ábaco da página 28, deste trabalho. Valendo-se do valor sem o acréscimo de 10%, do Volume de Tráfego Alto⁴², obtém-se um valor igual a 74,7, o que, a favor da segurança seria 74 e, seguindo-se o critério de arredondamento do manual, 75. Designa-se o critério padrão do método, ocasionando, um número PCN da maneira seguinte:

PCN – 76 / R / A / W / T

6.1.2.3 Comparação dos Dados Calculados com os Dados do Aeroporto

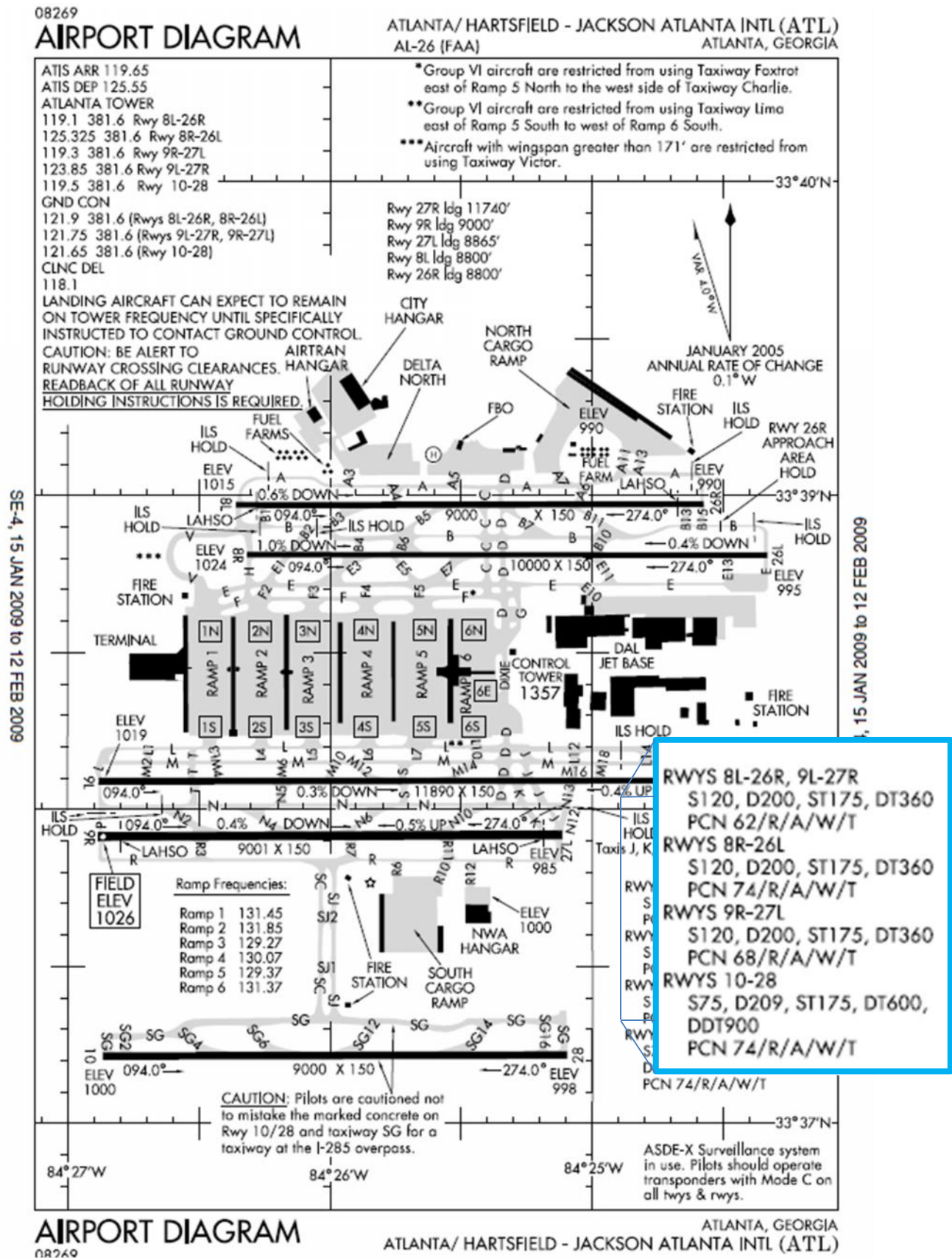
Os dados reunidos a respeito da estrutura do pavimento do Aeroporto Internacional de Atlanta estão limitados ao que é fornecido pelo Diagrama de Aeroporto. Apesar de não se ter encontrado as espessuras de cada camada de seu pavimento rígido, há que se falar que isso não inviabiliza a consecução dos objetivos deste trabalho, sendo um deles apresentar como se dá a estrutura do pavimento do Aeroporto mais movimentado do mundo.

De acordo com o Diagrama do Aeroporto Hartsfield-Jackson, ilustrado logo abaixo, na Figura 25, o maior número PCN de suas pistas 8R-26L e 10-28, é 74/R/A/W/T que, ao ser comparado com o calculado nesta monografia, 76/R/A/W/T,

⁴² ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983. p. 183.

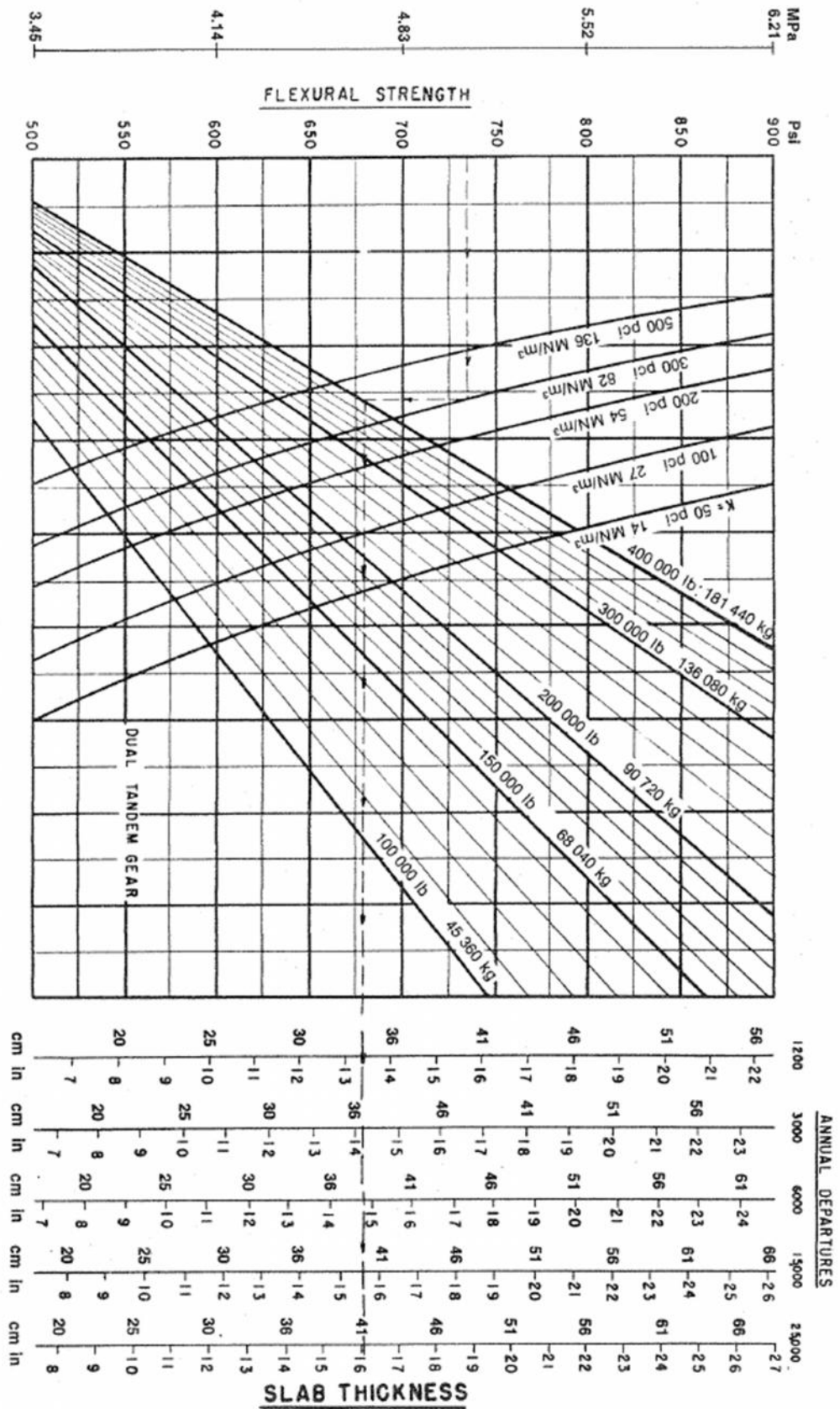
denota uma diferença igual a 2, que, proporcionalmente, se mostra pequena, gerando uma certa confiabilidade na estrutura de pavimento rígido calculada. Quanto à camada do subleito, retoma-se a ideia empregada na comparação feita em 5.1.3, deste mesmo capítulo, informando-se que é necessária a investigação do terreno em que se destina construir o pavimento, analisando-se suas características, comportamentos com e sem a presença de água, sua capacidade de suporte, entre outras informações, para que se possa informar se há necessidade de reforço de subleito.

Figura 27 Diagrama do Aeroporto de Atlanta, Hartsfield Jackson, destaque sobre os dados das pistas de decolagem e pouso



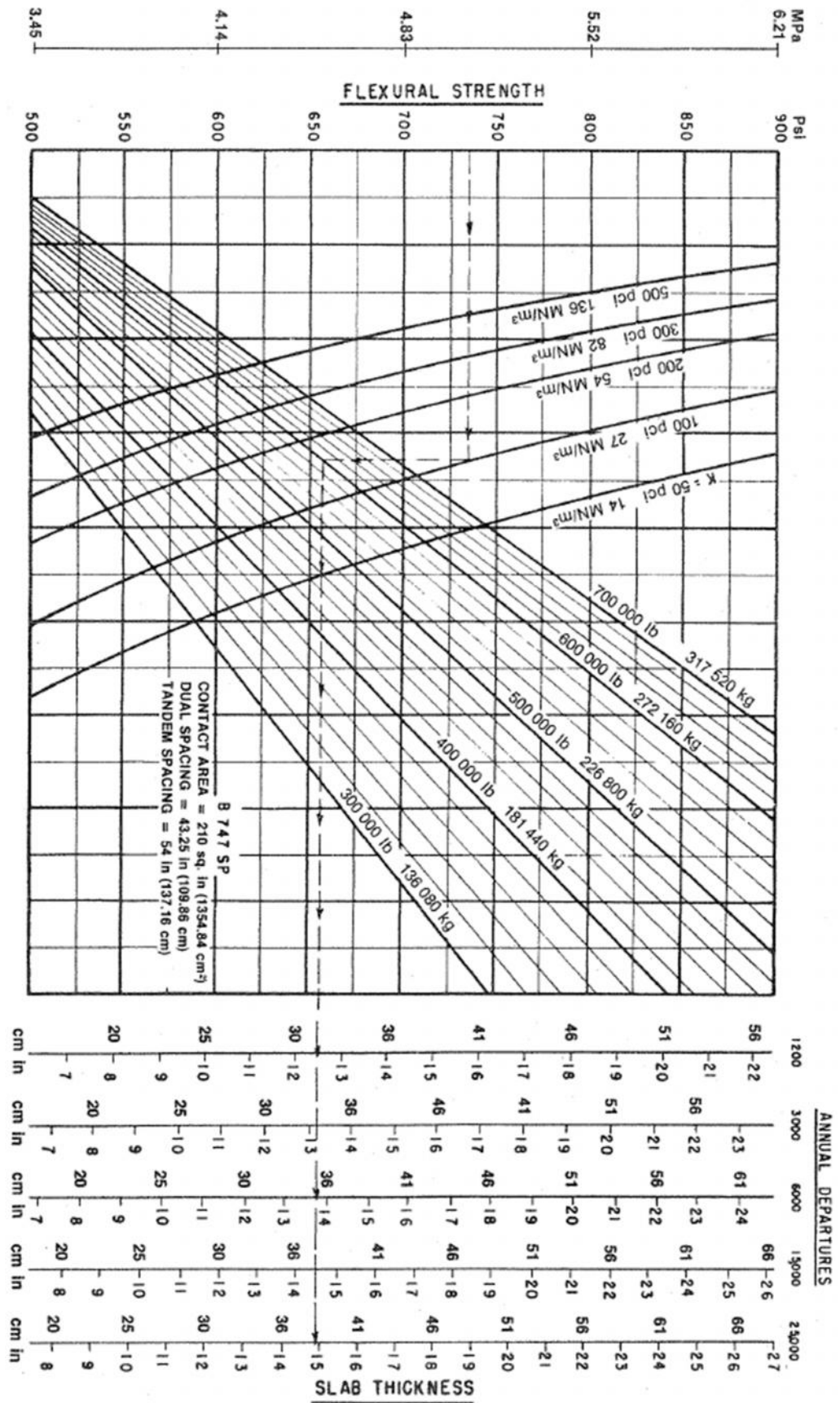
Fonte: <http://www.edwardtufte.com/bboard/images/0003N7-8814.pdf>

Figura 28 Curvas de dimensionamento de pavimentos rígidos para aeronaves de Eixo de Roda Dual Tandem



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983

Figura 29 Curvas de dimensionamento de pavimentos rígidos – B-747-SP



Fonte: OACI, Aerodrome Design Manual, part 3, 1983.

7 CONCLUSÕES

A estrutura dos pavimentos aeroportuários, especialmente dos internacionais, é bastante semelhante, dado que seguem as mesmas diretrizes normativas. Observa-se que o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154 da ANAC seguiu as diretrizes dispostas pela OACI, em seu Manual de Aeródromo baseado no Anexo 14, volume 3. Ressalta-se, também, que os padrões de dimensionamento de um pavimento de um aeroporto estão embasados na Parte 3, Pavimentos, do Manual de Dimensionamento de Aeródromos, também disponibilizado pela mesma entidade internacional. Dos diversos métodos que nele constam, há que se falar da contribuição de diversos países como a França, o Reino Unido, Canadá e Estados Unidos, por meio da atuação da FAA.

Quanto aos detalhes gerais de cada aeroporto, nota-se uma infraestrutura muito mais abrangente no Hartsfield-Jackson, dado que é o “Aeroporto mais movimentado do mundo”⁴³, requerendo, assim, a devida capacidade para que se atenda o fluxo mundial de transporte de passageiros. Há a presença de um transporte ferroviário dentro do próprio aeroporto, dadas as dimensões entre seus terminais, um número considerável de lojas e lanchonetes e o uso constante de suas 5 pistas de decolagem e pouso. Com relação ao Aeroporto Juscelino Kubitschek, a sua infraestrutura reduzida está ligada à necessidade de atendimento às demandas diárias de seus visitantes e passageiros que, apesar de não alcançar números tão altos quanto o Aeroporto de Atlanta, não são menos importantes, garantindo-lhe lugar no ranking dos 15 melhores aeroportos do Brasil⁴⁴, segundo a secretaria de Aviação Civil.

Com relação ao número PCN das pistas dos aeroportos, tendo como referência as cartas de aeródromos neste trabalho expostas, nas Figuras 22 e 27, percebe-se que o maior PCN do Aeroporto de Atlanta é 74, seu tipo de pavimento é o rígido, a resistência de seu subleito é da ordem de $K = 150 \text{ MN/m}^3$, resistência máxima, sem limite para a Máxima Pressão de Pneus e o tipo de Método de Avaliação adotado

⁴³ G1. Turismo e Viagem. São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/turismo-e-viagem/noticia/2015/03/aeroporto-mais-movimentado-do-mundo-fica-nos-eua-veja-lista-de-2014.html> >. Acesso em: 08 jun. 2016. 10:56.

⁴⁴ PANROTAS. Notícias. São Paulo, 2016. Disponível em: < http://www.panrotas.com.br/noticia-turismo/aviacao/2016/01/saiba-quais-sao-os-melhores-e-piores-aeroportos-do-brasil_123021.html > Acesso em: 08 jun. 2016. 11:24.

é o Técnico. Quanto ao Aeroporto de Brasília, o maior PCN de suas pistas alcança o valor de 76, o tipo de pavimento selecionado é o flexível, a resistência de seu subleito é dada por um CBR igual a 10%, de resistência média, a Categoria de Pressão Máxima de Pneus é a de resistência média, limitada a uma pressão equivalente a 1,5 Mpa e o Método de Avaliação adotado também é o técnico. Constata-se que, ambas as pistas podem receber a grande maioria dos modelos de aeronaves existentes, não se podendo afirmar que são as mesmas, posto que variam de tamanho e de carga. O pavimento da pista do Juscelino Kubitschek apresenta maior desempenho nesse aspecto, porém, este não deve ser considerado isoladamente. Em virtude do tipo de Eixo de Roda que a aeronave apresentar, combinado com a sua carga bruta, pode ocorrer a transgressão do limite dado de Pressão Máxima de Pneus, o que pode gerar danos ao pavimento e reduzir a sua durabilidade. A partir desse raciocínio, o pavimento do aeroporto Hartsfield-Jackson é mais favorecido, já que foi dimensionado para que não haja limites quanto à pressão de pneus. A respeito do tipo de pavimento, percebe-se que fica a critério do projetista que, supostamente, pode ter optado pelo pavimento rígido tendo em vista a sua durabilidade, uma vez que o Aeroporto de Atlanta é bastante requisitado para ser interrompido periodicamente para manutenção. No que tange ao Aeroporto de Brasília, optou-se pelo flexível por seu desempenho ao receber as altas cargas dinâmicas das aeronaves, com o risco reduzido de trincas ou fissuração.

Sobre a estrutura dos pavimentos, far-se-á uma comparação entre os resultados calculados neste trabalho, dado que só se obteve as dimensões do pavimento construído do Aeroporto Internacional de Brasília. No tocante ao pavimento deste, tem-se que ele, desconsiderando-se a camada de subleito, apresenta uma camada total de 78 cm, com capacidade de suporte para Carga de Roda Única Derivada igual a 34 500 kg, em paralelo ao de Atlanta, que apresenta um pavimento de espessura total de 35 cm e capacidade para suportar uma Carga de Roda Única Derivada de magnitude de até 37 000 kg. Ou seja, este último é um pavimento mais esbelto e sua capacidade de suporte é pouco maior que a do primeiro pavimento, porém, há que se falar dos elevados custos exigidos para tal investimento, fator esse que muitas vezes é determinante na escolha do tipo de pavimento. Quanto ao tempo de execução, não se pode afirmar com certeza qual seria mais rápido sem se conhecer as verdadeiras condições em que se encontram o projetista e o local da obra do pavimento, porém, em circunstâncias iguais, pode-se afirmar que o pavimento

rígido é executado em maior tempo, em virtude do tempo de cura necessário para os pavimentos de concreto, cujo volume de cimento de cada um é bastante considerável, requisitando um maior cuidado para que se evitem trincas, fissuração e irregularidades superficiais.

Em termos gerais, ambos os pavimentos apresentarão desempenho semelhante, atenderão às demandas, praticamente, dos mesmos modelos de aeronave, sendo garantido o conforto e a segurança necessários no transporte de pessoas e de cargas. Sabe-se que, analisando-se o custo, é preferível que se faça o pavimento flexível, no entanto, para que se viabilize maior durabilidade e velocidade de execução, mesmo que sob custos mais elevados, dentro de limites financeiros razoáveis, opta-se pelo pavimento rígido. Diante das diversas circunstâncias possíveis, cabe ao projetista analisar qual gerará maior custo-benefício ao aeroporto, sem deixar de atender às demandas mais urgentes.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo como referência o conteúdo estudado neste trabalho, verificado que há vários outros métodos de se dimensionar adequadamente o pavimento de um aeroporto, tem-se, como sugestão, um estudo aprofundado desses outros métodos, visto que há o método canadense, o francês e o do Reino Unido, além do americano que fora apresentado nos capítulos anteriores.

Observando-se questões do desenho de um aeródromo, propõe-se a elucidação de componentes dos projetos de aeródromos, dos desenhos das pistas, de seus elementos fundamentais, as dimensões mínimas de cada elemento, de forma a atender às exigências de segurança.

Outra sugestão dada é um estudo a respeito dos métodos construtivos empregados nas pistas de voo, em seus caminhos de circulação e nas plataformas de estacionamento, pois, dadas suas respectivas funções, são submetidas a diferentes tipos de solicitações de cargas. Além disso, pode-se estabelecer um estudo sobre todos os custos envolvidos no processo de pavimentação de um aeródromo, desde sua concepção de projeto, até o fim de sua execução, adentrando inclusive no âmbito das questões trabalhistas.

Pode-se também explanar sobre os processos geotécnicos de tratamento do solo nas mais diversas situações existentes, a fim de se construir pavimentos de aeródromos. Propõe-se apresentar também uma elucidação sobre o material empregado numa estrutura de pavimento, diferenciando-se o uso de cada um nas mais diversas situações possíveis, demonstrando-se os desempenhos esperados. Outra vertente a ser explorada é a especificação de materiais, possibilitada pelo Controle Tecnológico, dado que, um pavimento aeroportuário só apresentará o desempenho definido em projeto se os materiais empregados apresentarem a qualidade adequada para tal fim, sendo, portanto, de fundamental importância que haja um devido controle desses materiais.

Por fim, em virtude da grande necessidade de se preservar o meio ambiente, e da busca cada vez maior de soluções que reduzam o impacto das ações

humanas sobre seus componentes, propõe-se o uso de materiais sustentáveis em pavimentos aeroportuários, como a lignina, substância encontrada nas plantas, normalmente associada à celulose, dotando a parede celular de plantas terrestres com rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques de outros seres vivos⁴⁵.

⁴⁵ INFOESCOLA. Compostos Químicos: Lignina. 2016. Disponível em:< <http://www.infoescola.com/compostos-quimicos/lignina/> >. Acesso em: 13 jun. 2016. 22:38

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROPORTO DE BRASÍLIA. Investimentos. Lago Sul, 2016. Disponível em: <<http://www.bsb.aero/br/o-aeroporto/investimentos/>>. Acesso em: 28 mar. 2016. 15:26.

AEROPORTO MAIS MOVIMENTADO DO MUNDO FICA NOS EUA VEJA LISTA DE 2014. G1. Turismo e Viagem. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/turismo-e-viagem/noticia/2015/03/aeroporto-mais-movimentado-do-mundo-fica-nos-eua-veja-lista-de-2014.html> 08/06/2016>. Acesso em: 08 jun. 2016. 10:56.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Anacpédia: aproximação perdida. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_esp/tr1648.htm>. Acesso em: 30 mar. 2016. 16:28.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Anacpédia: rota ATS. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_esp/tr1556.htm>. Acesso em: 30 mar. 2016. 16:21.

AIR CANADA BRASIL. Nossa frota. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.aircanada.com.br/aircanada/default.aspx?pageid=56>>. Acesso em: 18 mai. 2016. 16:25.

ARAÚJO. Janaína Lima de. Características Funcionais e Mecânicas de Misturas Asfálticas para Revestimentos de Pavimentos Aeroportuários. 2009. Dissertação – Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

ÁREA MILITAR. AER. 2016. Disponível em: <<http://www.areamilitar.net/DIRECTORIO/AER.aspx?NN=371>>. Acesso em: 03 mai. 2016. 11:50.

ATLANTA AIRPORT. ATL Fact Sheet. Atlanta, 2014. Disponível em: <http://www.atlanta-airport.com/Airport/ATL/ATL_FactSheet.aspx>. Acesso em: 16 mar. 2016. 15:45.

ATLANTA AIRPORT. Operation Statistics. Atlanta, 2016. Disponível em: <http://www.atlanta-airport.com/Airport/ATL/operation_statistics.aspx>. Acesso em: 27 mai. 2016. 16:07.

ATLANTA CONVENTION & VISITORS BUREAU. Transportation. Atlanta, 2016. Disponível em: <<http://www.atlanta.net/br-pt/transportation/>>. Acesso em: 24 mar. 2016. 15:53.

AVIAÇÃO COMERCIAL. Aeronaves. 2016. Disponível em: <<http://www.aviacaocomercial.net/ejets.htm> - 03/05/2016>. Acesso em: 03 mai. 2016. 09:23.

BRASIL. Carta de Aeródromo, Brasília, SBBR, de 25 de junho de 2015. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. COMAER. Brasília 2015.

BRASIL. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154, de 12 de junho de 2012. Emenda nº 1. Agência Nacional de Aviação Civil. SIA, 2012.

DELTA AIR LINES, INC. Seu guia para o aeroporto de Atlanta. 2016. Disponível em: <http://pt.delta.com/content/www/en_US/traveling-with-us/where-we-fly/destinations/featured-locations/atlanta/guide-atl-airport.html>. Acesso em: 25 abr. 2016. 16:19.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Construction Standards. Washington, 2016. Disponível em: <http://www.faa.gov/airports/engineering/construction_standards/>. Acesso em: 14 mar. 2016. 22:35.

INFOESCOLA. Compostos Químicos: Lignina. 2016. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/compostos-quimicos/lignina/>>. Acesso em: 13 jun. 2016. 22:38.

INFRAERO AEROPORTOS. Estatísticas. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatistica-dos-aeroportos.html>>. Acesso em: 30 abr. 2016. 10:00.

MELHORES DESTINOS. 2016. Disponível em: <<http://www.melhoresdestinos.com.br/wp-content/uploads/2014/11/1-Aeronave-Fonte-Airbus.jpg>>. Acesso em: 18 mai. 2016. 16:18.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. Climate at a Glance. 2016. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/cag/>>. Acesso em: 31 mai. 2016. 09:18.

ORGANIZATION, International Civil Aviation. Aerodrome Design Manual, Part 3, Pavements. 2 ed. ICAO. 1983.

PANROTAS. Saiba quais são os melhores e piores aeroportos do Brasil. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.panrotas.com.br/noticia-turismo/aviacao/2016/01/saiba-quais-sao-os-melhores-e-piores-aeroportos-do-brasil_123021.html>. Acesso em: 08 jun. 2016. 11:24.

SERGIO KOCH. TODA TODA ASDA LDA. 2016. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/invacivil/performance/conceituperf/toda-tora-asda-lda>>. Acesso em: 01 abr. 2016. 13:07.

THE WORK OF EDWARD TUFTE AND GRAPHICS PRESS. KATL Airport Diagram. Cheshire, 2016. Disponível em: <<http://www.edwardtufte.com/bboard/images/0003N7-8814.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2016. 12:31.