

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

LEONARDO EMIDIO LOPES

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA
AEROPORTOS

Guaratinguetá
2011

LEONARDO EMIDIO LOPES

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA AEROPORTOS.

Projeto Integrado apresentado na Disciplina Projeto Integrado II ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

Guaratinguetá
2011

L864d

Lopes, Leonardo Emidio

Dimensionamento de pavimentos flexíveis para aeroportos / Leonardo Emidio Lopes – Guaratinguetá : [s.n], 2011.

50 f. : il.

Bibliografia : f. 45-46

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

1. Pavimentos flexíveis 2. Aeroportos I. Título

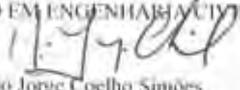
CDU 625.021

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA
AEROPORTOS**

LEONARDO EMÍDIO LOPES

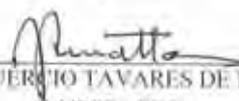
ESTE PROJETO INTEGRADO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Prof. Dr. Sílvio Jorge Coelho Simões
Coordenador

BANCA EXAMINADORA.


Prof. Dr. LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA,
Orientador/UNESP - FEG


Prof. Dr. JUERCIO TAVARES DE MATTOS,
UNESP - FEG

Prof. Dr. ANTONIO WANDERLEY TERNI
UNESP - FEG

Dezembro de 2011.

Dedico este Projeto Integrado aos meus pais, Seu Jorge e Dona Hilda por todo esforço e dedicação a mim até o momento.

AGRADECIMENTOS.

Primeiramente agradeço a *Deus, Jesus Cristo e Nossa Senhora Aparecida*, por todas as bênçãos derramadas sobre mim durante todos os dias da minha vida e principalmente durante a minha graduação.

Aos meus pais *Jorge e Hilda* por representarem tudo que sou pela confiança em acreditar que seria possível me tornar Engenheiro Civil e pelo amor incondicional.

A minha namorada *Ana Paula*, pelo amor, força e principalmente paciência, por ser meu porto seguro nos momentos difíceis.

Ao *Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira*, por ter aceitado ser meu orientador e ter acreditado no meu potencial para desenvolver esse trabalho de graduação.

A *Danielle Regiane Matheus*, pessoa pela qual devo todo meu amor, minha amizade e meu respeito, sem ela durante a minha graduação esse momento jamais teria chegado, obrigado por tudo, pelo amor e pelo companheirismo.

Aos meus amigos, de um modo especial *Eduardo Costa, Bruno Ozai, Máira Cortez, Ana Carolina Dutra, Alexandre Almeida, Bruno Hideo e Daniel Lima*, parentes que me ajudaram e apoiaram para esse momento chegar.

E finalmente a minha amada e inesquecível *República Vamointão*, e a todos os moradores que a compõem, obrigado pela amizade, pelo amor, pelos momentos alegres e tristes, sem você o caminho para chegar até aqui teria sido pior.

“O homem é do tamanho do seu sonho”

Fernando Pessoa.

LOPES, L. E. **Dimensionamento de pavimentos para aeroportos**. 2011. 46 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO.

Este trabalho aborda o dimensionamento de pavimentos flexíveis para aeroportos, tendo como auxílio às técnicas e ferramentas necessárias para o cálculo, e como aeronave crítica de projeto o Boeing 777-300ER.

Foram abordados também as camadas que compõem o pavimento, os materiais empregados e o método de dimensionamento utilizado (método da FAA).

PALAVRAS CHAVES: dimensionamento, CBR, pavimentos flexíveis.

LOPES, L. E. **Design of flexible pavements for airports.** 2011. 46 p. Work Graduation (Graduation in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT.

This work discusses the design of flexible pavements for airports, with the aid techniques and tools necessary for the calculation and design critical aircraft as the Boeing 777-300ER.

Also discussed the layers that make up the pavement, the materials used and the method used for design pavement (FAA method).

KEY WORDS: design, CBR, flexible pavements.

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 – Airbus A380.....	14
Figura 2 - Tensão Aplicada no Pavimento.	16
Figura 3 - Camadas do Pavimento Flexível.	18
Figura 4 - Classificação das bases e sub bases flexíveis.	19
Figura 5 - Classificação dos revestimentos flexíveis.	21
Figura 6 - Configuração Roda Simples (Cessna Citation).	24
Figura 7 - Configuração Roda Dupla (Airbus A320).	24
Figura 8 - Configuração Roda Duplo Tandem (Boeing 767).	24
Figura 9 - Configuração Roda Triplo Tandem (Boeing 777).....	25
Figura 10- Configuração Roda Duplo Duplo Tandem (Boeing 747).....	25
Figura 11 - Trem de Pouso de Roda Triplo Duplo Tandem (Airbus A380)	25
Figura 12 - Ábaco do Boeing 727	29
Figura 13 - Motor GE90 - 115B	31
Figura 14 - Boeing 777-300ER	32
Figura 15 - Prensa de Ensaio do CBR	36
Figura 16 - Curva pressão - penetração	37
Figura 17 - Curva de massa específica - umidade e CBR-umidade	38
Figura 18 - Ábaco para obtenção da espessura total do pavimento	40
Figura 19 - Ábaco para obtenção da espessura do revestimento e da base	41
Figura 20 - Ábaco para obtenção da espessura mínima da sub base	42
Figura 21 - Espessura final do pavimento	43

LISTA DE TABELAS.

Tabela 1 - Conversão do trem de pouso para aeronave de projeto.....	27
Tabela 2 - Exemplo FAA.....	28
Tabela 3- Espessuras Mínimas para Base e Revestimento.....	30
Tabela 4 - Conversão das aeronaves que operam no aeroporto	39

LISTA DE QUADROS.

Quadro 1 - Categoria do CBR do Subleito	26
Quadro 2 - Espessuras Mínimas.	30
Quadro 3- Comparativo Entre as Aeronaves	33
Quadro 4 - Preparação da Amostra.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS.

AD	- Advisory Circular
CAP	- Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	- Califórnia Bearing Ratio
CBUQ	- Concreto Betuminoso Usinado a Quente
DIRENG	- Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
DNIT	- Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes
ER	- Extended Range
ETOPS	- Extended Twin Engine Operations
FAA	- Federal Aviation Administration
GE	- General Electric
ISC	- Índice de Suporte Califórnia
LR	- Long Range
MTOW	- Maximum Take-Off Weight
NBR	- Norma Brasileira
PMD	- Peso Máximo de Decolagem
PMF	- Pré Misturado a Frio
PMQ	- Pré Misturado a Quente
VTA	- Volume de Tráfego Anual.
VTD	- Volume de Tráfego Diário.

LISTA DE SÍMBOLOS.

%	- Porcentagem
C°	- Grau Celsius
γ_s	- Massa Específica Aparente Seca
cm	- Centímetro
cm ³	- Centímetro Cúbico
g	- Gramas
h	- Teor de Umidade
in	- Polegada
H20	- Espessura da Base
Hsb	- Espessura da Sub Base
Hrev	- Espessura do Revestimento Asfáltico
kg	- Quilograma
Km	- Quilômetro
kN	- Kilonewton
m	- Metro
Mh	- Massa Úmida
min	- Minuto
mm	- Milímetro
pol	- Polegada
V	- Volume

SUMÁRIO.

1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 – Apresentação.....	14
1.2 – Objetivo.....	15
1.3 – Metodologia.....	15
2 – PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	16
2.1 – Conceito de Pavimento.....	16
2.1.1 – Definição de Pavimento Flexível.....	16
2.2 – Camadas do Pavimento Flexível.....	17
2.2.1 – Subleito.....	17
2.2.2 – Reforço de Subleito.....	17
2.2.3 – Sub Base.....	17
2.2.4 – Base.....	17
2.2.5 – Revestimento.....	17
2.3 – Materiais Empregados.....	18
2.3.1. – Bases e Sub Bases Flexíveis.....	18
2.3.1.1 – Materiais de Bases e Sub Bases Granulares.....	19
2.3.1.2 – Materiais de Bases e Sub Bases com Aditivos.....	20
2.3.2 – Revestimentos Betuminosos.....	20
2.3.2.1 – Revestimento Betuminoso por Penetração Invertida.....	21
2.3.2.2 – Revestimento Betuminoso por Penetração Direta.....	21
2.3.2.3 – Revestimento por Mistura.....	21
3 – MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO FAA.....	23
3.1 – Volume de Tráfego Anual.....	23
3.2 – Peso Máximo de Decolagem (MTOW).....	23
3.3 – Configuração do Trem de Pouso Principal.....	23
3.4 – Aeronave Crítica de Projeto.....	26
3.5 – Capacidade de Suporte do Subleito.....	26
3.6 – Número Equivalente de Decolagens Anuais (R1).....	26
3.7 – Determinação da Espessura do Pavimento.....	28
3.8 – Espessura Mínima da Base.....	30
3.9 – Espessura Mínima do Revestimento.....	30
4 – AERONAVE CRÍTICA DE PROJETO.....	31
5 - O CBR – CALIFORNIA BEARING RATIO.....	34

5.1 - Execução do Ensaio.....	35
5.2 – Resultados Obtidos.....	37
5.2.1 – O CBR.....	37
5.2.2 – Umidade Ótima.....	38
6 – EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO.....	39
6.1 – Memorial de Cálculo.....	39
6.1.1 – Determinação da Espessura Total.....	40
6.1.2 – Determinação da Espessura Mínima do Revestimento e da Base.....	41
6.1.3 – Determinação da Espessura da Sub Base.....	42
6.2 – Resultado Final.....	43
7 – CONCLUSÃO.....	44
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXO A.....	47
ANEXO B.....	48
ANEXO C.....	49

1 - INTRODUÇÃO.

1.1 – Apresentação.

Desde o início do século passado, mais precisamente em 1906 quando Santos Dumont decolou com o lendário “14-Bis” no Campo de Bagatelle em Paris (França), o avião se tornou um modal de transporte importantíssimo para a população mundial, não somente pelo fato de ter encurtado as distâncias entre os continentes devido à rapidez e agilidade no transporte, mas também por aliar essa velocidade com grande capacidade de transporte de passageiros e carga num único vôo, hoje em dia temos o exemplo do Airbus A380 (figura 1), o maior avião comercial já produzido, que se for configurado em classe única pode transportar até 845 passageiros.



Figura 1 – Airbus A380
Fonte: Morris Biondi.

É nesse contexto, em que grandes aeronaves comerciais que pesam centenas de toneladas, que projetar um aeroporto não é uma tarefa das mais fáceis, afinal a construção e planejamento é algo complexo que envolve a necessidade de ter uma extensa área para a sua instalação, ter terminais de passageiros modernos para dar conta de milhões de passageiros que passam anualmente pela área terminal, vias de acesso rápido e eficiente e por último e não menos importante ter pista de pouso e decolagem com capacidade para suportar a grande pressão exercida pelo trem de pouso.

1.2 – Objetivo.

Este trabalho de graduação tem como objetivo, estudar o dimensionamento de pavimentos aeroportuários, suas técnicas desde a escolha do tipo de revestimento até os materiais empregados na sua execução, tudo isso tendo uma aeronave crítica previamente estabelecida.

1.3 – Metodologia.

Nesse projeto será apresentada as características dos pavimentos flexíveis para aeroportos, desde o conceito, concepção, camadas constituintes até a sua espessura final de dimensionamento.

Será abordada também a descrição da aeronave crítica de projeto o Boeing 777-300ER assim como o método de ensaio CBR, que é um ensaio imprescindível para o desenvolvimento do projeto de dimensionamento.

2 – PAVIMENTO FLEXÍVEL.

2.1 – Conceito de Pavimento.

De acordo com o manual de pavimentação do DNIT (2006) o pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentado sobre um semi espaço considerado infinito.

O pavimento é uma estrutura, em que diversas camadas de materiais e resistências diferentes são colocadas em contato, juntas são capazes de resistir a elevadas tensões e deformidades impostas pelo tráfego.

O pavimento de aeroporto tem como função:

- Distribuir os esforços verticais oriundos do pouso e decolagem das aeronaves;
- Resistir aos esforços horizontais;
- Ser dimensionado para um tempo de vida útil de 20 anos;
- Resistir às intempéries e aos jatos das aeronaves;
- Proporcionar conforto e segurança a aeronave e passageiros.

2.1.1 – Definição de Pavimento Flexível.

O pavimento flexível é a estrutura constituída pelo revestimento betuminoso, base, sub base e subleito, onde a carga atuante do tráfego é distribuída uniformemente entre essas camadas que o compõe.

Na figura 2 segue um esquema do efeito que a tensão exercida pelos pneus aplica ao pavimento.

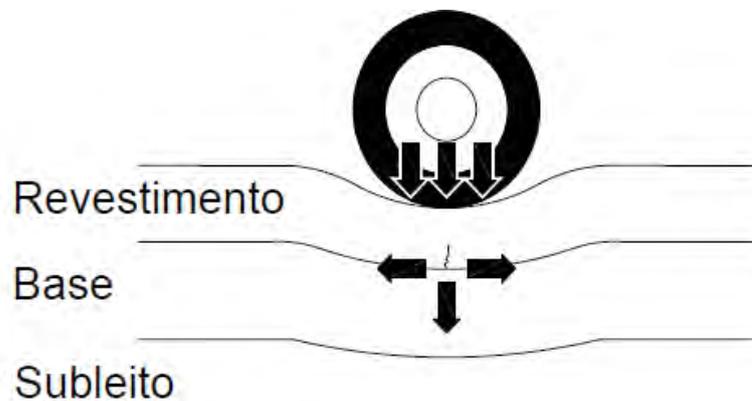


Figura 2 - Tensão Aplicada no Pavimento.

2.2 – Camadas do Pavimento Flexível.

2.2.1 – Subleito.

É o terreno de fundação que irá receber o pavimento, sua profundidade será dada até o limite onde as tensões irão atuar, há casos em que o índice CBR poderá ser menor que 2%, nesse caso haverá a necessidade de troca de material por um melhor, se o CBR for maior que 20% esse mesmo solo poderá ser usado como subleito.

2.2.2 – Reforço de Subleito.

O reforço é opcional, seu uso é mais indicado quando há a necessidade de regularização do subleito.

2.2.3 – Sub Base.

Pode ser considerado como um reforço do subleito, ou como uma estrutura complementar a base, seu uso é aplicado quando a base do pavimento não for construído diretamente no subleito. O índice de suporte Califórnia (ISC) deve ser maior que 20%.

2.2.4 – Base.

É a camada que tem como característica receber e distribuir os esforços oriundos do tráfego através do revestimento betuminoso, seu ISC deve ser maior que 60%.

2.2.5 – Revestimento.

É a camada que recebe o contato direto com o tráfego, tem como finalidade garantir a proteção, segurança e durabilidade do pavimento, assim como resistir aos esforços horizontais provocados pelas aeronaves nas operações de pouso e decolagem.

Na figura 3 tem-se um esquema das camadas que compõe o pavimento.

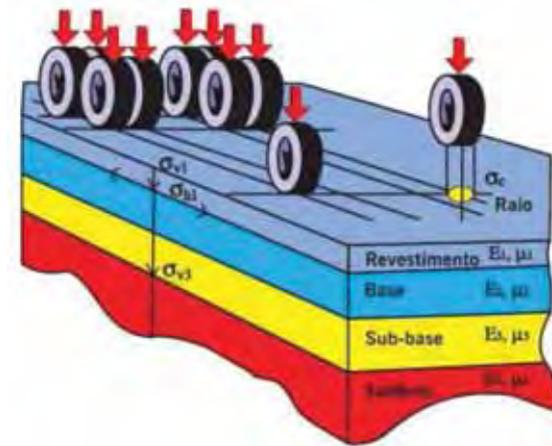


Figura 3 - Camadas do Pavimento Flexível.
(BERNUCCI et al., 2006)

2.3 – Materiais Empregados.

Para o correto dimensionamento dos pavimentos há uma gama de possibilidades de materiais que podem ser empregados, este tópico dará ênfase sobre esse assunto.

2.3.1. – Bases e Sub Bases Flexíveis.

No dimensionamento de bases e sub bases de aeroportos tem se a seguinte estrutura descrita na figura 4.



Figura 4 - Classificação das bases e sub bases flexíveis.
 Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006).

2.3.1.1 – Materiais de Bases e Sub Bases Granulares.

- Estabilização Granulométrica.

Segundo o manual do DNIT (2006), são as camadas constituídas por solos, britas de rocha, de escória de alto forno, ou ainda pela mistura desses materiais. Essas camadas são puramente granulares, flexíveis e são compactadas granulometricamente pela compactação de um material ou pela mistura.

Para a obtenção de solo brita, ocorre a mistura do solo natural e pedra britada, quando essa mistura ocorre somente com material de britagem tem-se aí a brita graduada (quando o diâmetro dos materiais forem iguais) ou a brita corrida (agregados com diâmetros diferentes).

- Macadame Hidráulico.

Segundo o DNIT (2006), é a camada de base ou sub base compactada com agregados graúdos, após a compactação os vazios existentes são preenchidos com pó de brita e em alguns casos com solos de granulometria calculadas anteriormente. Num primeiro momento ocorre a distribuição uniforme dos materiais e o solo está seco, posteriormente ocorre o adensamento com a adição de água até obter a espessura final desejada.

2.3.1.2 – Materiais de Bases e Sub Bases com Aditivos.

- Solo Cimento.

Como o próprio nome já diz, é uma mistura constituída por solo, cimento Portland e água, sua dosagem é feita em laboratório de forma a apresentar determinadas características de resistência e durabilidade.

- Solo Melhorado com Cimento.

É o material semelhante ao de solo cimento, porém a diferença fica na proporção de cimento utilizado, entre 2 a 4% de cimento em relação ao peso total da mistura.

- Solo Cal.

Segundo o manual do DNIT (2006) é uma mistura de solo, cal, água e às vezes, cinza volante, uma pozolana artificial, o teor de cal fica entre 5 a 6%, e o processo de estabilização ocorre.

- Por modificação do solo, no que se refere a sua plasticidade e sensibilidade à água;
- Por carbonatação, que é uma cimentação fraca;
- Por pozolanização, que é uma cimentação forte.

- Solo melhorado com Cal.

Idêntico ao anterior, porém com baixos teores de cal, não ocorre cimentação, somente diminuição da plasticidade e sensibilidade à água.

- Solo Betume.

É uma mistura de solo, água e material betuminoso, totalmente flexível.

- Bases Betuminosas Diversas.

Por serem exatamente iguais ao revestimento, esse tópico será abordado posteriormente.

2.3.2 – Revestimentos Betuminosos.

Segundo o DNIT (2006), os revestimentos utilizados para pavimentos flexíveis estão relacionados na figura 5. Nesse tópico não será abordado os revestimentos flexíveis por calçamento, haja vista que não é usado para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários, somente os betuminosos que são constituídos pela mistura de agregados e materiais betuminosos.



Figura 5 - Classificação dos revestimentos flexíveis.
Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006).

2.3.2.1 – Revestimento Betuminoso por Penetração Invertida.

É executado pela aplicação do material betuminoso, seguida de espalhamento e compactação de uma camada de agregado, se houver duas ou três camadas têm-se o tratamento superficial duplo ou triplo.

O tratamento simples tem como objetivo a impermeabilização ou a modificação da textura do pavimento existente, chamado de capa selante.

2.3.2.2 – Revestimento Betuminoso por Penetração Direta.

É o revestimento executado com a aplicação, espalhamento e compactação do agregado com granulometria apropriada, após esse processo ocorre à aplicação de material betuminoso e por ultimo, uma aplicação final de agregado miúdo.

O macadame betuminoso tem o processo construtivo semelhante ao tratamento duplo ou triplo, com freqüência é usado como base de pavimento.

2.3.2.3 – Revestimento por Mistura.

Esse tipo de revestimento pode ser fabricado em usinas ou na própria pista, basicamente o agregado é pré misturado com o material betuminoso antes da compressão.

Quando a mistura é feita em usina obtêm-se os “pré-misturados propriamente ditos” e quando é feito na pista obtêm-se os “pré misturados na pista” (Road mixes).

Nesse tipo de revestimento tem-se os seguinte métodos de aplicação.

- Pré misturado a Frio (PMF): Quando os materiais e agregados são lançado em temperatura ambiente;
- Pré misturado a Quente (PMQ): Quando os ligantes são misturados e espalhados a quente.

Dependendo da graduação dos agregados, os Road Mixes ou os Pré Misturados poderão ser de graduação aberta ou densa, o que diferencia um do outro é o fato de os de graduação aberta necessitarem de capa selante, enquanto os de graduação densa não requer capa.

O revestimento de areia betume é constituído principalmente de material que passa na peneira n 10 (abertura 10 mm).

O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é um dos tipos de revestimentos asfálticos mais utilizados na pavimentação aeroportuária. O CBUQ é normalmente composto por um agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e um ligante (CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo), obtido da destilação fracionada do petróleo. A mistura dos agregados com o ligante é realizada a quente em uma usina de asfalto e transportada até o local de sua aplicação por caminhões especialmente equipados onde é lançado por equipamento adequado chamado de vibroacabadora. Após seu lançamento a mistura é compactada por rolos compactadores até atingir a densidade especificada em projeto.

Os “sheet asphalt” tem o mesmo processo de aplicação e exigência do CBUQ e tem sido usado pelos pré fabricados areia betume.

3 – MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO FAA.

No Brasil, a Diretoria de Engenharia da Aeronáutica (DIRENG) utiliza para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários o método adotado pela FAA (Federal Aviation Administration) de acordo com a circular AC/150/5320 – 6D, essa circular recebe atualizações permanentes devido à mudança das aeronaves. Esse método foi desenvolvido pelo corpo de engenheiros da Califórnia.

Para o dimensionamento alguns itens devem ser conhecidos, eis eles:

3.1 – Volume de Tráfego Anual.

Para o dimensionamento é necessário o conhecimento do volume de tráfego anual das aeronaves que irão operar no aeroporto, basicamente segue a fórmula abaixo.

$$VTA = VTD \times 365 \text{ dias} \quad (1)$$

Onde:

VTA: Volume de Tráfego Anual.

VTD: Volume de Tráfego Diário.

3.2 – Peso Máximo de Decolagem (MTOW).

Segundo o DIRENG, é o peso máximo que uma aeronave pode decolar mantendo a segurança do voo. Para fim de dimensionamento o que importa é o MTOW e não o peso no momento do pouso.

No dimensionamento considera-se que 95% do peso máximo da aeronave esteja concentrada no trem de pouso principal e o restante fica na bequilha ou trem de pouso de nariz.

3.3 – Configuração do Trem de Pouso Principal.

Nas páginas seguintes, têm-se algumas figuras (6 a 11) com os tipos de trem de pouso e sua configuração.



Figura 6 - Configuração Roda Simples (Cessna Citation).
Fonte: Tadeu Primo.



Figura 7 - Configuração Roda Dupla (Airbus A320).
Fonte: Roger S. Rodrigues.



Figura 8 - Configuração Roda Duplo Tandem (Boeing 767).
Fonte: Sebastian Lukasiewicz.



Figura 9 - Configuração Roda Triplo Tandem (Boeing 777)
Fonte: Phil Broad



Figura 10- Configuração Roda Duplo Duplo Tandem (Boeing 747)
Fonte: Kazuchika Naya.



Figura 11 - Trem de Pouso de Roda Triplo Duplo Tandem (Airbus A380)
Fonte: Lars Hentschel.

3.4 – Aeronave Crítica de Projeto.

De acordo com o DIRENG, a aeronave crítica de projeto é a aeronave em que haverá a necessidade de obter a maior espessura dentre todas as aeronaves que irão operar no aeroporto, isso não quer dizer que a aeronave mais pesada será a aeronave crítica, pois dentre os parâmetros necessários estão o volume anual de tráfego e a pressão que cada roda aplica sobre a pista.

3.5 – Capacidade de Suporte do Subleito.

É o valor do CBR empregado no momento do projeto, esse valor é vinculado pelo tipo de aeronave que irá operar no aeroporto de projeto, ou seja, não há a necessidade de se obter um suporte de subleito elevado se a operação do aeroporto se restringir a aeronaves de pequeno ou médio porte.

Abaixo segue o quadro 1 com os valores do CBR do Subleito.

Categoria do subleito	Resistência do subleito CBR	Resistência do subleito normalizada CBR	Código
Alta	$CBR \geq 13$	15	A
Média	$8 < CBR < 13$	10	B
Baixa	$4 < CBR \leq 8$	6	C
Ultra-baixa	$CBR \leq 4$	3	D

Quadro 1 - Categoria do CBR do Subleito

3.6 – Número Equivalente de Decolagens Anuais (R1).

De acordo com FORTES (2007), para o dimensionamento há a necessidade do cálculo do levantamento do número de decolagens anuais para cada aeronave que irá operar no aeroporto em função da aeronave de projeto, ou seja, deve converter cada tipo de trem de pouso para o trem de pouso da aeronave de projeto, por isso deve ter em mãos uma tabela de conversão.

Na página seguinte tem-se a tabela 1, que demonstra o que foi descrito no parágrafo acima.

Converter de	Aeronave de Projeto	Multiplicar por
Roda Simples	Roda Dupla	0,8
Roda Simples	Duplo Tandem	0,5
Roda Dupla	Duplo Tandem	0,6
Duplo Duplo Tandem	Duplo Tandem	1,0
Duplo Tandem	Roda Simples	2,0
Duplo Tandem	Roda Dupla	1,7
Roda Dupla	Roda Simples	1,3
Duplo Duplo Tandem	Roda Dupla	1,7
Duplo Duplo Tandem	Triplo Tandem	1,3
Triplo Duplo Tandem	Triplo Tandem	1,6

Tabela 1 - Conversão do trem de pouso para aeronave de projeto

Após a conversão das aeronaves, deve-se fazer o cálculo do número de decolagens anuais da aeronave de projeto em função da aeronave em questão, para isso usa-se a seguinte fórmula.

$$\log R1 = (\log R2) \times \sqrt{\frac{W2}{W1}} \quad (2)$$

Onde:

R1 = Número equivalente anual de operação da aeronave de projeto.

R2 = Número de operações da aeronave em questão.

$$R2 = \text{decolagens da aeronave em questão} \times \text{fator de conversão}$$

W1 = Carga por roda da aeronave de projeto.

W2 = Carga por roda da aeronave em questão, sendo:

$$W2 = \frac{0,95 \times PMD}{n^{\circ} \text{ de rodas}} \quad (3)$$

Onde:

PMD = Peso Máximo de Decolagem

Nº de rodas = Número de Rodas do Trem de Pouso Principal.

A FAA, tendo como aeronave de projeto o Boeing 727-200, apresenta um modelo de como obter o número equivalente de partidas anuais seguindo o passo a passo descrito nos itens anteriores, abaixo a tabela 2 que serve como modelo.

EXEMPLO DA FAA - AERONAVE DE PROJETO BOEING 727-200								
AERONAVES	MTOW (lbs)	Tipo de trem de pouso	Decolagens Anuais	W2 (lbs)	fator	R2	W1 (kg)	R1
Boeing 727-100	160.000	Roda Dupla	3.760	38.000	1	3.760	45.240	1.891
Boeing 727-200	190.500	Roda Dupla	9.080	45.240	1	9.080	45.240	9.080
Boeing 707-320B	327.000	Duplo Tandem	3.050	38.830	1,7	5.185	45.240	2.764
Douglas DC-9-30	108.000	Roda Dupla	5.800	25.650	1	5.800	45.240	682
Convair CV-880	184.500	Duplo Tandem	400	21.910	1,7	680	45.240	94
Boeing 737-200	115.500	Roda Dupla	2.650	27.430	1	2.650	45.240	463
Lockheed L1011-100	450.000	Duplo Tandem	1.710	35.625	1,7	2.907	45.240	83
Boeing 747-100	700.000	Duplo Duplo Tandem	85	35.625	1,7	145	45.240	1.184
							Σ	16.241

Tabela 2 - Exemplo FAA

3.7 – Determinação da Espessura do Pavimento.

Segundo FORTES (2007), para o cálculo da espessura total que o pavimento deve ter para uma determinada aeronave de projeto, deve-se ter um ábaco onde constam as áreas críticas do pavimento flexível. No ábaco, entra-se com o valor do CBR do subleito no eixo das abscissas, traçando uma vertical nesse valor até chegar ao valor onde consta o peso máximo de decolagem, a partir desse ponto obtido, traça-se uma reta horizontal até a reta onde consta o valor das partidas anuais de decolagem da aeronave de projeto, novamente a partir desse ponto novo traça-se uma reta vertical até chegar ao ponto onde estará informado o valor da espessura total do pavimento.

Na figura 12 segue o ábaco do Boeing 727 – 200, note que no próprio ábaco já demonstra como obter o valor da espessura total como exemplo, através da linha pontilhada pode-se notar que o CBR do Subleito é 6%, o peso máximo de decolagem de 200.000 lbs (libras), o numero de partidas anuais é 1200 e finalmente obtêm-se o valor da espessura total do pavimento de aproximadamente 34 in (polegadas)

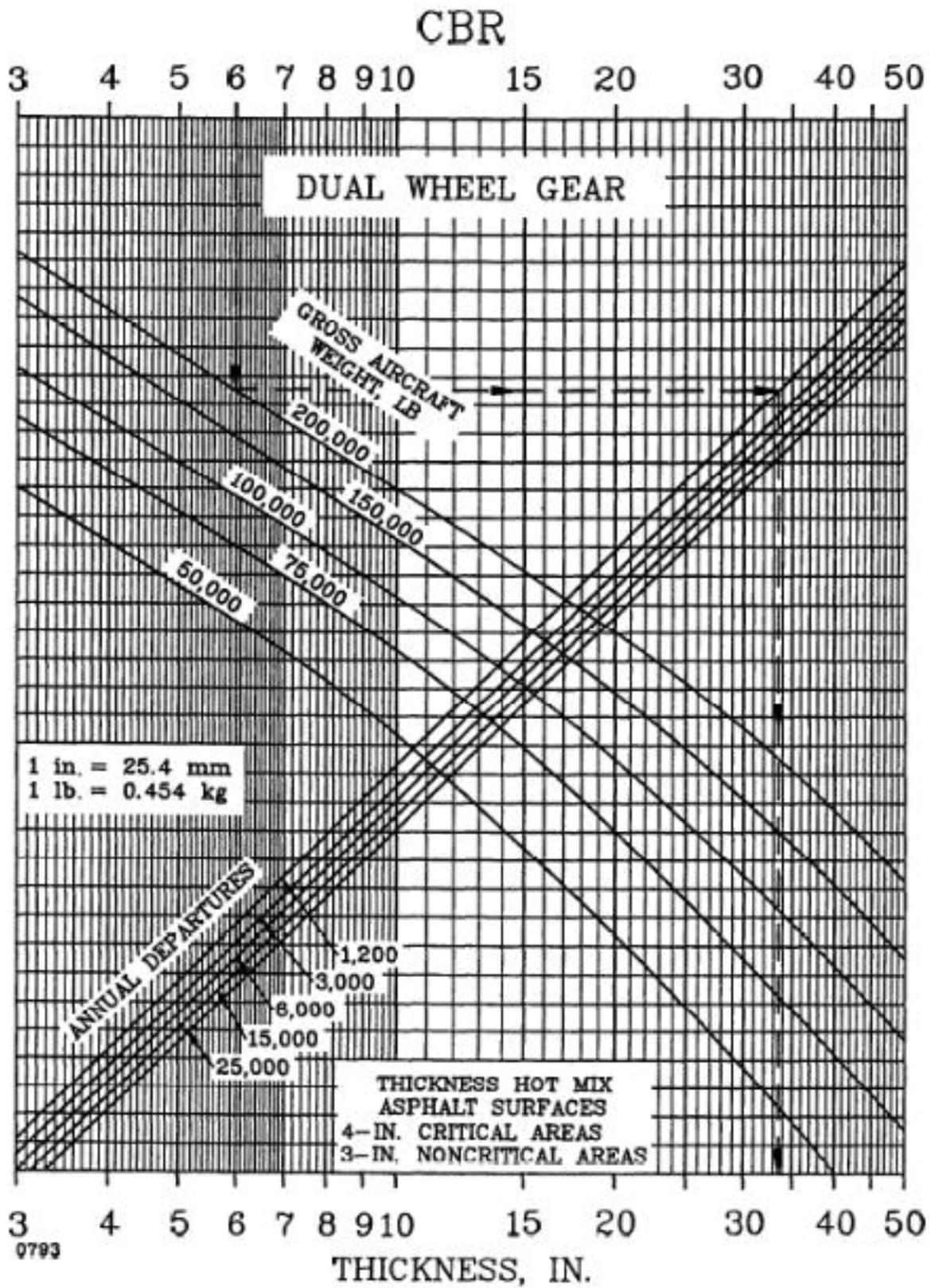


Figura 12 - Ábaco do Boeing 727
 Fonte: FAA

3.8 – Espessura Mínima da Base.

Abaixo segue o quadro 2 com as espessuras mínimas da camada de base para algumas aeronaves e configurações padrão de trem de pouso.

Aeronave de projeto	Peso máximo de decolagem		Espessura mín. da base	
	lbs	kg	In.	mm
Roda Simples (Single Wheel)	30.000 - 50.000	13.600 - 22.700	4	100
	50.000 - 75.000	22.700 - 34.000	6	150
Roda Dupla (Dual Wheel)	50.000 - 100.000	22.700 - 45.000	6	150
	100.000 - 200.000	45.000 - 90.700	8	200
Duplo Tandem (Dual Tandem)	100.000 - 250.000	45.000 - 113.400	6	150
	250.000 - 400.000	113.400 - 181.000	8	200
757 767	200.000 - 400.000	90.700 - 181.000	6	150
DC-10 L1011	400.000 - 600.000	181.000 - 272.000	8	200
B-747	400.000 - 600.000	181.000 - 272.000	6	150
	600.000 - 850.000	272.000 - 385.700	8	200
C-130	75.000 - 125.000	34.000 - 56.700	4	100
	125.000 - 175.000	56.700 - 79.400	6	150

Quadro 2 - Espessuras Mínimas.
Fonte: FAA

3.9 – Espessura Mínima do Revestimento.

Segundo FORTES (2007) para o dimensionamento da espessura do revestimento e da base o método é o mesmo para a determinação da espessura total do pavimento, a única diferença fica pelo fato de sempre o CBR de entrada ser 20%, com isso o resultado final da espessura será a soma total do revestimento com a base.

De acordo com a FAA as espessuras mínimas da base estão representadas na tabela 3, no presente quadro há a definição de área crítica que é a cabeceira da pista.

ESPESSURAS MÍNIMAS			
CAMADA	ÁREA CRÍTICA	ÁREA NÃO CRÍTICA	ACOSTAMENTO
Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	10 cm	7,5 cm	5 cm
Pré Misturado a Frio (PMF)	20 cm	18 cm	14 cm
Solo Cimento	41 cm	37 cm	29 cm

Tabela 3- Espessuras Mínimas para Base e Revestimento

4 – AERONAVE CRÍTICA DE PROJETO.

De acordo como o manual da BOEING (2009), o Boeing 777 é um avião widebody (fuselagem larga) fabricada pela companhia norte americana Boeing, foi projetado para substituir as gerações mais antigas do Boeing 747 (classe 100 e 200), sua configuração fica entre 268 e 368 passageiros em três classes distintas de configuração.

Também chamado de Triple Seven o primeiro modelo de um Boeing 777-100 foi oferecida a Continental Airlines e a United Airlines, porem essa versão nem saiu do papel o que obrigou a Boeing a fazer modificações. Como características importantes do Boeing 777 pode-se destacar:

- É a maior aeronave birreator já fabricado;
- O motor (turbina) GE90-115B (figura 13), é o maior e mais potente já produzido. Possui diâmetro de 3,25 m e potência em torno de 115.300 libras ou 513,00 kN;



Figura 13 - Motor GE90 - 115B

Fonte: Jason Wood.

- Primeira aeronave da Boeing instalado com o comando fly-by-wire, os comandos utilizados pelo piloto na cabine de comando são eletrônicos, com isso foi desativado o uso de cabos;
- Possui certificação de vôos ETOPS (Extended Twin Engine Operations) de 180 minutos, ou seja, o 777 pode voar somente com uma turbina em funcionamento desde que em algum ponto determinado o aeroporto mais próximo esteja a um tempo máximo de 180 minutos.

O Boeing 777 possui as seguintes versões:

- Boeing 777-200: Modelo básico do modelo foi introduzido pela United Airlines em 1995, com peso máximo de decolagem em torno de 247 toneladas e alcance de 9.645 km;
- Boeing 777-200 ER: Aeronave com as mesmas dimensões do modelo 200 possui tanques auxiliares que garantem uma maior autonomia, seu alcance chega a 14.316 km e seu peso máximo de decolagem é de 286 toneladas, entrou em serviço pela British Airways em 1997;
- Boeing 777-200LR: Entrou em serviço em 2006, possui a designação LR (Long Range) porque tem a capacidade de voar 17.446 km e detém o recorde de viagem, percorreu 21.602 km em 22 horas e 42 minutos.
- Boeing 777-300ER: Versão alongada da versão -200 possui 10,1 m a mais e é equipada com os motores GE90 – 115B, esta é a versão que será usada no dimensionamento neste presente trabalho de graduação. Na figura 14 há um exemplo da aeronave crítica de projeto.



Figura 14 - Boeing 777-300ER
Fonte: Hans Schulze.

Conforme foi descrito acima, para fim de dimensionamento foi escolhido o Boeing 777-300ER dentro as quatro maiores aeronaves comerciais utilizadas na aviação comercial mundial, (Airbus A380-800, Airbus A340-600 e o Boeing 747-400), o motivo da escolha se deve ao fato de ser a aeronave em maior utilização no Brasil e possuir uma carga por roda maior que o do Boeing 747-400 que é a segunda aeronave com maior movimentação no país. A configuração do trem de pouso e informações relevantes da aeronave está nos anexos A, B, C e D.

O quadro 3 mostra o comparativo entre as aeronaves, pode-se perceber que o Boeing 777-300ER é a aeronave que possui o segundo maior peso de decolagem, porém para o dimensionamento o importante é a carga que as rodas do trem de pouso aplicam na pista e também o número anual de decolagens na pista, por esse motivo mesmo o Airbus A340-600 possuir a maior carga por roda, sua movimentação no Brasil não é expressiva e por esse motivo não foi escolhido.

 <p>Fonte: Samuel Dupont</p>	AERONAVE
	Boeing 777-300ER
	Peso Máximo de Decolagem
	352.441 Kg
	Peso Máximo no Trem de Pouso Principal
333.818,9 Kg	
Carga Máxima por Roda (12 Rodas).	
27.818,24 Kg	
 <p>Fonte: Allen Zhao</p>	AERONAVE
	Boeing 747-400
	Peso Máximo de Decolagem
	414.130 Kg
	Peso Máximo no Trem de Pouso Principal
393.423,50 Kg	
Carga Máxima por Roda (16 Rodas).	
24.588,97 Kg	
 <p>Fonte: Mick Bajcar</p>	AERONAVE
	Airbus A340-600
	Peso Máximo de Decolagem
	381.200 Kg
	Peso Máximo no Trem de Pouso Principal
333.818,9 Kg	
Carga Máxima por Roda (12 Rodas).	
30.178,33 Kg	
 <p>Fonte: Bernhard Bauske</p>	AERONAVE
	Airbus A380-800
	Peso Máximo de Decolagem
	571.000 Kg
	Peso Máximo no Trem de Pouso Principal
542.450 Kg	
Carga Máxima por Roda (20 Rodas).	
27.122,50 Kg	

Obs: Todas as fotos foram retiradas do site: www.airliners.net

Quadro 3- Comparativo Entre as Aeronaves

5 - O CBR – CALIFORNIA BEARING RATIO.

De acordo com a Norma NBR 9895/1987 o Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR), é um ensaio de compactação de solo onde é determinada a relação entre a pressão exercida por um pistão num corpo de prova, e a mesma pressão exercida por uma brita graduada.

Esse ensaio é de extrema importância para o dimensionamento, pois através desta relação que é expressa em porcentagem é possível determinar a espessura necessária do pavimento flexível, o CBR foi desenvolvido pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia (USA) com a finalidade de se avaliar a resistência do solo.

Abaixo segue os passos para a execução do ensaio.

- Normas complementares:
 - NBR 5734 – Peneiras para ensaios – Especificações;
 - NBR 6457 – Amostras de solo;
 - NBR 7182 – Solo – ensaio de compactação.
- Aparelhos e materiais necessários:
 - Balanças para pesagem de amostras de 20 kg, 1,5 kg e 200 g, com graduação de 1g, 0,1g e 0,01g;
 - Peneiras de 19 e 4,8 mm;
 - Estufa que tem como capacidade manter a temperatura interna entre 105 – 100 C°;
 - Cápsulas metálicas com tampa;
 - Bandejas metálicas com dimensões 75 cm x 50 cm x 5 cm;
 - Régua com comprimento de 30 cm;
 - Soquete de 4,5 kg;
 - Molde cilíndrico de bronze, latão ou ferro galvanizado;
 - Espátulas de lâmina flexível;
 - Prato perfurado de bronze, latão ou ferro galvanizado, com 149 mm e 5 mm de espessura, com haste ajustável, e face superior plana para ajuste ao extensômetro;
 - Porta extensômetro;
 - Disco anelar de aço de peso 2270g;
 - Extensômetro com curso mínimo de 10 mm com graduação de 0,01mm;

- Prensa para compactação do corpo de prova;
- Extrator de corpo de prova;
- Tanque para imersão a água do corpo de prova;
- Papel filtro com diâmetro de 150 mm;
- Provetas de vidro com capacidade de 1000 cm³, 200 cm³ e 100 cm³, com graduação de 10 cm³, 2 cm³ e 1 cm³, respectivamente;
- Desempenadeira de madeira com dimensões 13 cm x 25 cm;
- Conchas metálicas com capacidade de 1000 cm³ e 500 cm³;

5.1 - Execução do Ensaio.

Para o ensaio são necessários aproximadamente 50 kg de amostras de solo, ela deve seguir as especificações da Norma NBR 6457.

O quadro 4 mostra os procedimentos para a preparação da amostra após o peneiramento;

Peneira (mm).	% Material Retido.	Observação.
4,8	< 7	Desprezar o material retido
19	< 10	Desprezar o material retido
19	> 10	Vide anotação abaixo
19	> 30	Não ensaiar de acordo com a Norma
Anotação	Passar o material retido na peneira 19 mm pela peneira de 76 mm e desprezar o material retido. Substituir o material que passou na peneira de 76 mm, por uma quantidade de material igual com que fica retido na peneira de 4,8 mm e passe numa peneira de 19 mm.	

Quadro 4 - Preparação da Amostra

Compacta-se um corpo de prova, com 5 camadas iguais de 2,5cm de altura totalizando a altura total do corpo de prova em 12,5cm, finalizando a compactação, posteriormente se o ensaio for para determinação da camada de subleito são realizados 12 golpes com o soquete, se for para camadas de sub-base e base são necessários 26 ou 55 golpes. A altura que o soquete é solto fica a 45,7 cm e seu peso é de 4,5 kg;

Após a compactação retira-se uma amostra de aproximadamente 100g para a determinação da umidade;

Colocam-se os corpos de prova no tanque de imersão com água durante 4 dias e fazer a leitura no extensômetro a cada 24 horas, passado esse período retira-se o corpo de prova e deixe escoar por 15 minutos, após esse tempo o corpo de prova está pronto para a penetração;

A penetração é feita através de uma prensa conforme figura 15, com uma velocidade constante de 0,05 pol/min;

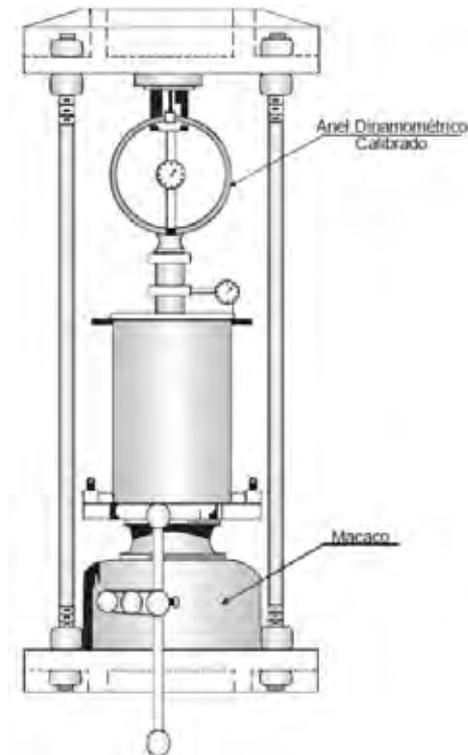


Figura 15 - Prensa de Ensaio do CBR
Fonte: DIRENG

Esse procedimento deve se repetir quantas vezes forem necessárias, sempre alterando com teores crescentes os corpos de prova, a fim de se obter ao final a curva de compactação;

O cálculo da massa específica seca é obtida pela seguinte fórmula;

$$\gamma_s = \frac{Mh \times 100}{V(100 + h)} \quad (4)$$

Onde:

γ_s = Massa específica aparente seca, em g/cm³.

Mh = Massa úmida do solo compactado, em g.

V = Volume útil do molde cilíndrico, em cm³.

h = Teor de umidade do solo compactado, em %

5.2 – Resultados Obtidos.

Ao final do ensaio com os resultados obtidos, traça-se um gráfico Pressão x Penetração (Figura 16), se existir um ponto de inflexão, traça-se uma tangente até o ponto das abscissas, essa nova reta será a curva corrigida juntamente com o ponto de tangencia. A nova origem será o ponto onde a reta intercepta o eixo das abscissas e “c” é à distância desse ponto até o origem anterior, depois soma o valor de “c” com os valores de penetração com os valor 0,1 e 0,2 polegadas. Com isso obtêm-se as novas ordenadas que representa os novos valores das pressões corrigidas.

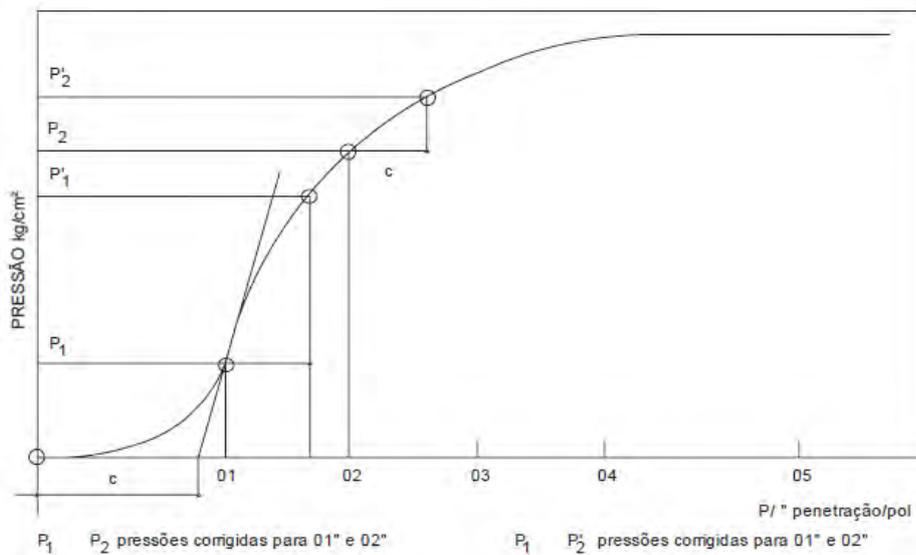


Figura 16 - Curva pressão - penetração
Fonte: DIRENG

Obs.: Adotam-se os maiores valores das penetrações de 0,1 e 0,2 pol.

5.2.1 – O CBR.

O CBR é obtido, em porcentagem, pela fórmula abaixo.

$$\text{CBR} = \frac{\text{pressão calculada ou corrigida}}{\text{pressão padrão}}$$

5.2.2 – Umidade Ótima.

É o valor de umidade correspondente, na curva de compactação, ao ponto de massa específica aparente seca máxima. Abaixo a figura 17 ilustra o ponto de umidade ótima.

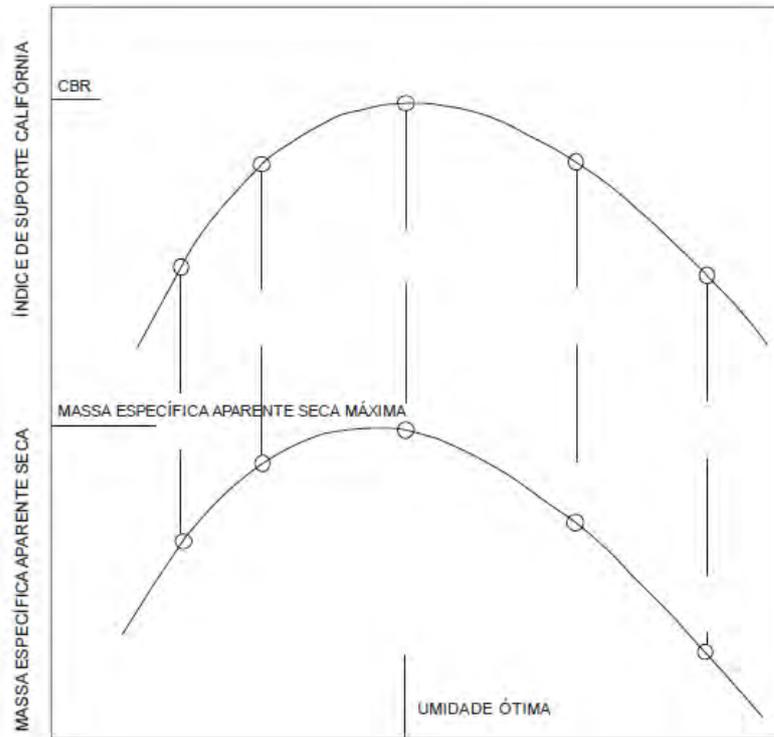


Figura 17 - Curva de massa específica - umidade e CBR-umidade

Fonte: DIRENG

6 – EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO.

Neste tópico será apresentado o dimensionamento de um determinado pavimento, num aeroporto hipotético projetado para desafogar o tráfego da área terminal da cidade de São Paulo, ou seja, aliviar as operações de pouso e decolagem do aeroporto de Congonhas e Guarulhos (Cumbica).

Todos os procedimentos que serão descritos neste capítulo tiveram estão de acordo com FORTES (2007).

6.1 – Memorial de Cálculo.

Dados:

- Aeronave de Projeto: Boeing 777-300ER;
- Trem de Pouso: Triplo Tandem (dimensões se encontram no Anexo A);
- Peso Bruto da Aeronave: 352.441 kg;
- N° de movimentos anuais: Conforme tabela 4;

AERONAVES QUE OPERAM NO AEROPORTO DE PROJETO								
AERONAVES	MTOW (KG)	Tipo de trem de pouso	Decolagens Anuais	W2 (kg)	fator	R2	W1 (kg)	R1
Airbus A319	64.000	Roda Dupla	10.950	15.200	0,4	4.380	27.867	489
Airbus A320	70.000	Roda Dupla	54.750	16.625	0,4	21.900	27.867	2.251
Airbus A330	230.000	Duplo Tandem	5.475	27.313	0,7	3.833	27.867	3.530
Airbus A340	382.000	Duplo Tandem	2.190	30.242	0,7	1.533	27.867	2.082
Airbus A380	571.000	Triplo Duplo Tandem	1.825	27.123	1,6	2.920	27.867	2.623
Boeing 737	80.000	Roda Dupla	54.750	19.000	0,4	21.900	27.867	3.837
Boeing 747	414.000	Duplo Duplo Tandem	5.475	24.581	1,3	7.118	27.867	4.151
Boeing 767	186.000	Duplo Tandem	3.650	22.088	0,7	2.555	27.867	1.080
Boeing 777	352.000	Triplo Tandem	7.300	27.867	1,0	7.300	27.867	7.300
Embaer E190	51.000	Roda Dupla	7.300	12.113	0,4	2.920	27.867	193
							Σ	27.536

Tabela 4 - Conversão das aeronaves que operam no aeroporto

- CBR do Subleito: 15%
- CBR da Sub Base: 60%
- Revestimento: Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

6.1.1 – Determinação da Espessura Total.

Conforme explicado no capítulo 3, a espessura total é determinada a partir do valor do CBR do subleito plotada no ábaco. Na figura 18, segue o valor da espessura total do pavimento, a linha vermelha no ábaco representa os valores para a aeronave de projeto (Boeing 777-300ER).

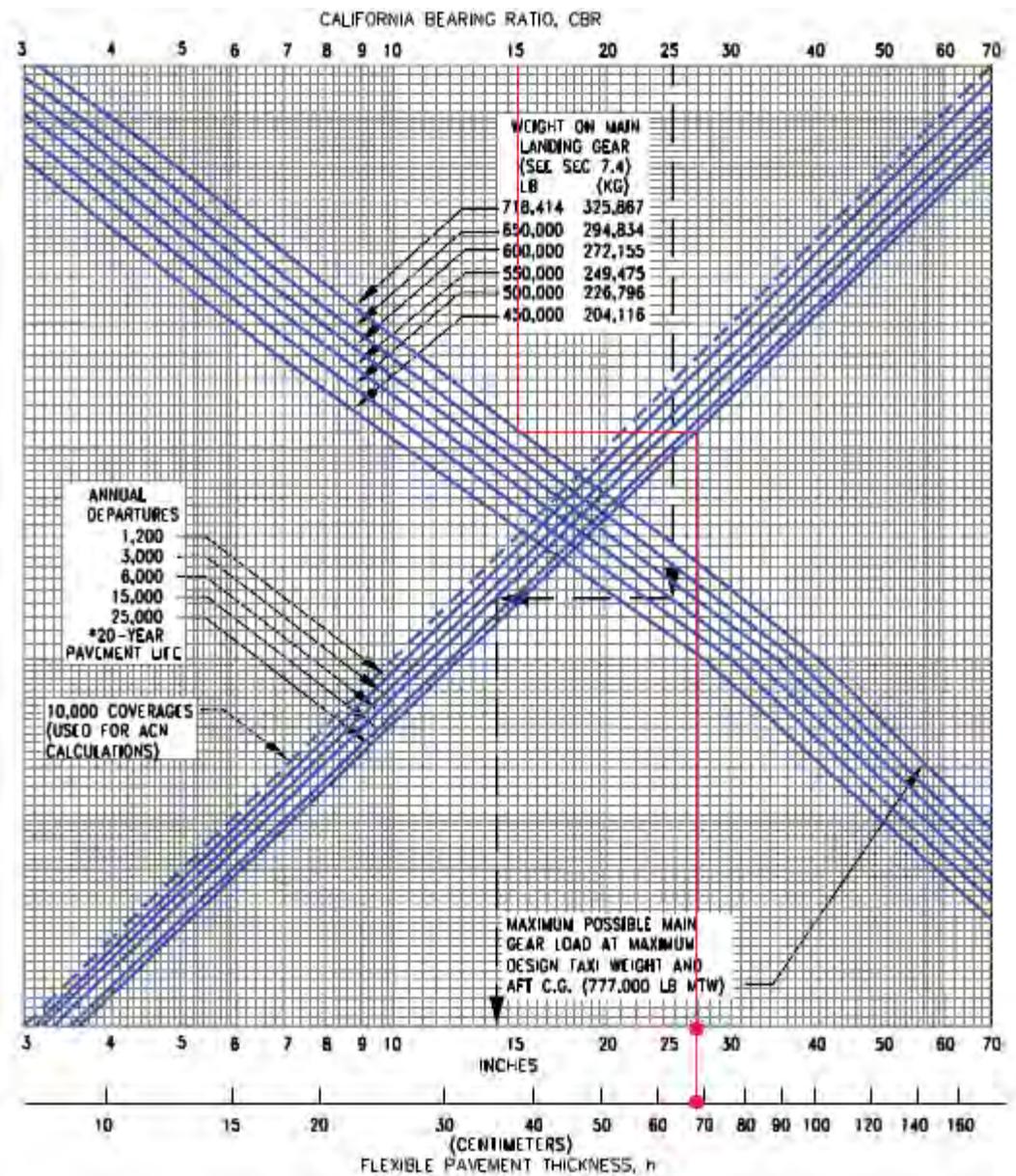


Figura 18 - Ábaco para obtenção da espessura total do pavimento

Nota-se no ábaco que a espessura total do pavimento é de 68 cm.

6.1.2 – Determinação da Espessura Mínima do Revestimento e da Base.

De acordo com a método descrito no capítulo 3, para achar o valor da espessura mínima do revestimento e da base, deve-se usar o mesmo ábaco usado para a determinação da espessura total, porém com o valor do CBR partindo de 20 %, com isso o valor será de acordo com a figura 19.

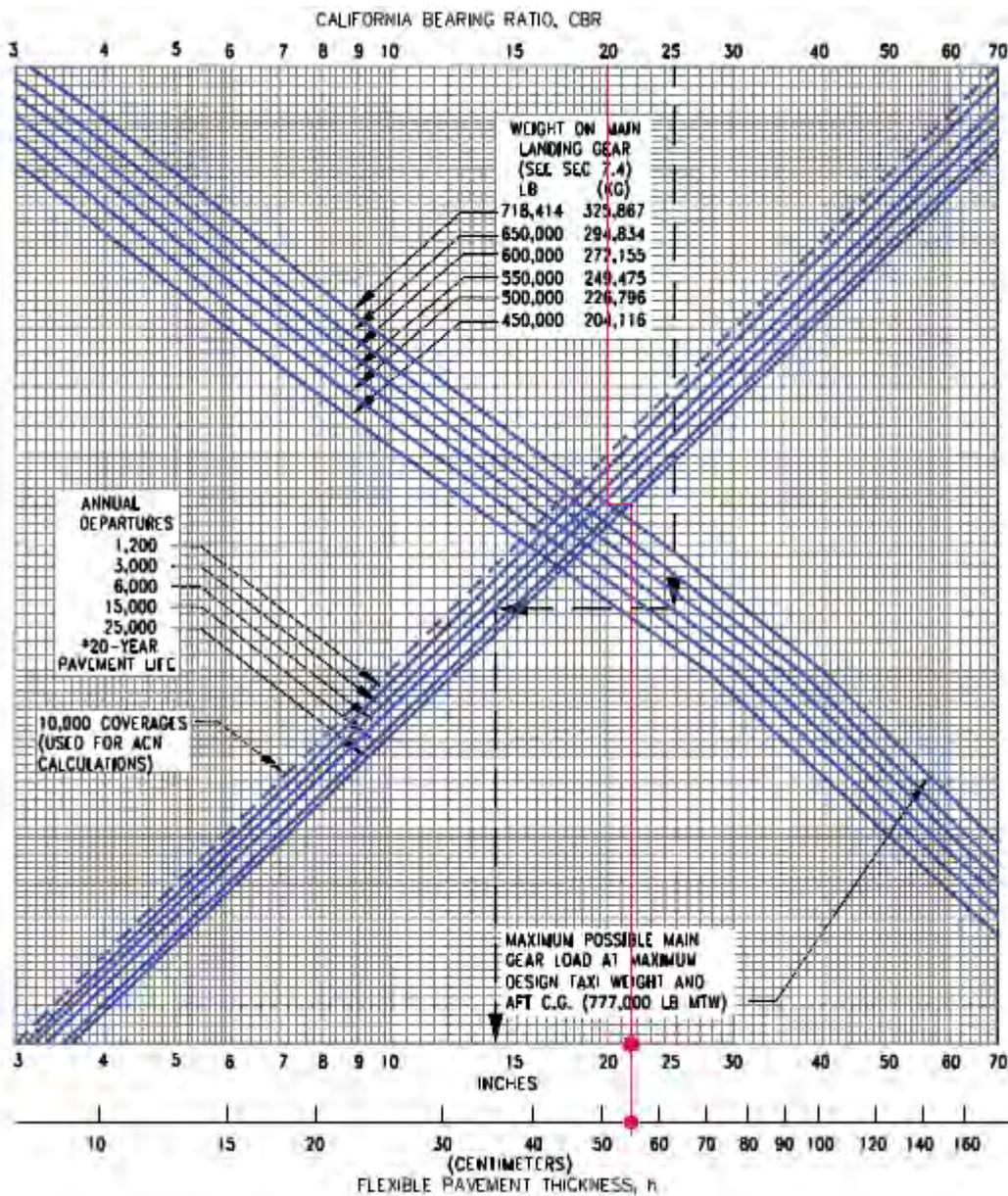


Figura 19 - Ábaco para obtenção da espessura do revestimento e da base

Pelo ábaco, conclui-se que o valor da espessura mínima da base mais o revestimento é de 55 cm.

6.1.3 – Determinação da Espessura da Sub Base.

De acordo com as especificações, o CBR da sub base no projeto é 60%, plotando esse valor no ábaco abaixo (figura 20), obtêm-se o valor da espessura da sub base.

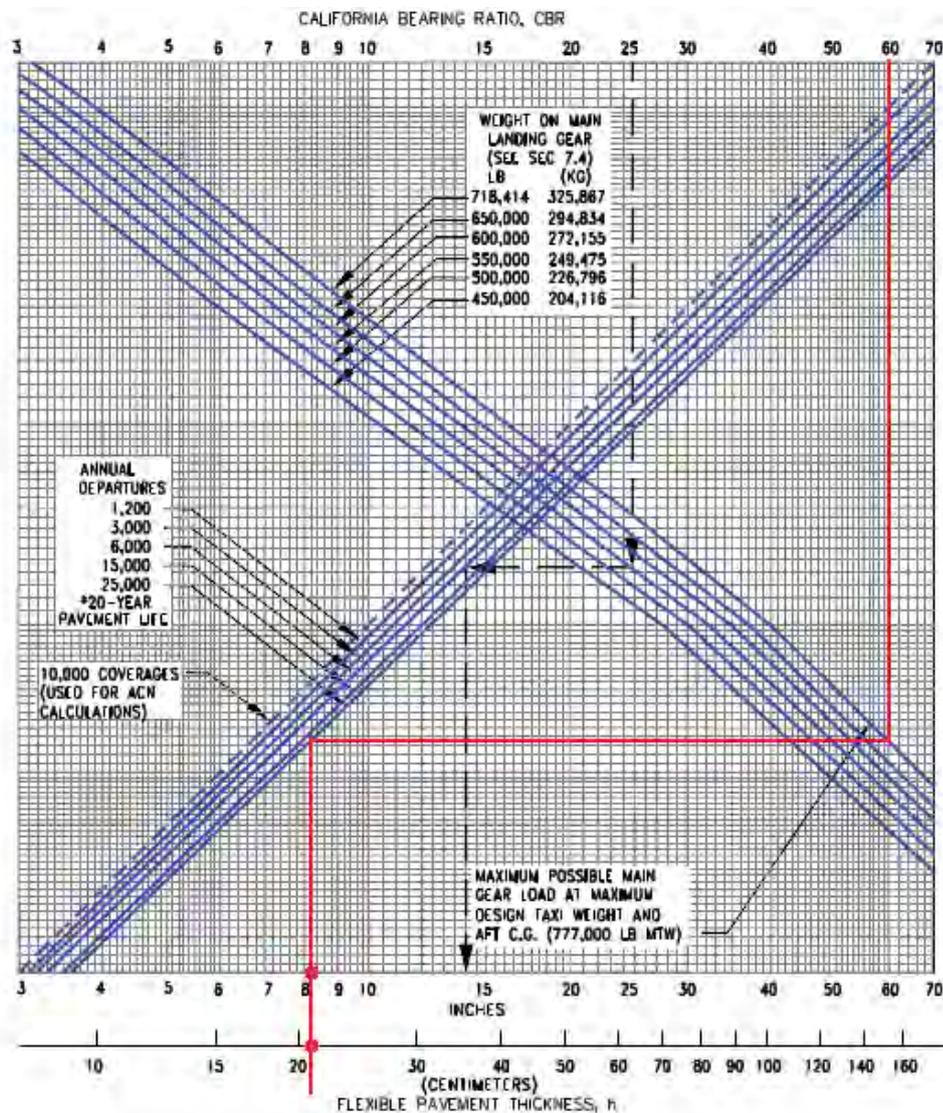


Figura 20 - Ábaco para obtenção da espessura mínima da sub base

Finalmente, o valor da espessura mínima da sub base é 21 cm.

6.2 – Resultado Final.

Ao final dos cálculos, mantendo as espessuras mínimas e as especificações de acordo com o DIRENG os valores das espessuras mínimas de cada camada descrito na figura abaixo, algumas considerações foram evidenciadas.

- Na tabela 3 do capítulo 3 a espessura mínima do revestimento é 10 cm, mas por via de segurança a espessura será 15 cm;
- De acordo com FORTES (2007) o valor da sub base é a subtração da espessura total encontrada para um ábaco de CBR 20 % com o valor do revestimento. Portanto o valor final será.

$$H_{sb} = H_{20} - H_{rev.}$$

$$H_{sb} = 55 \text{ cm} - 15 \text{ cm.}$$

$$H_{sb} = 40 \text{ cm.}$$

- O valor da sub base já foi descrita no item 6.1.3.

Abaixo uma ilustração das espessuras de cada camada do pavimento (figura 21).

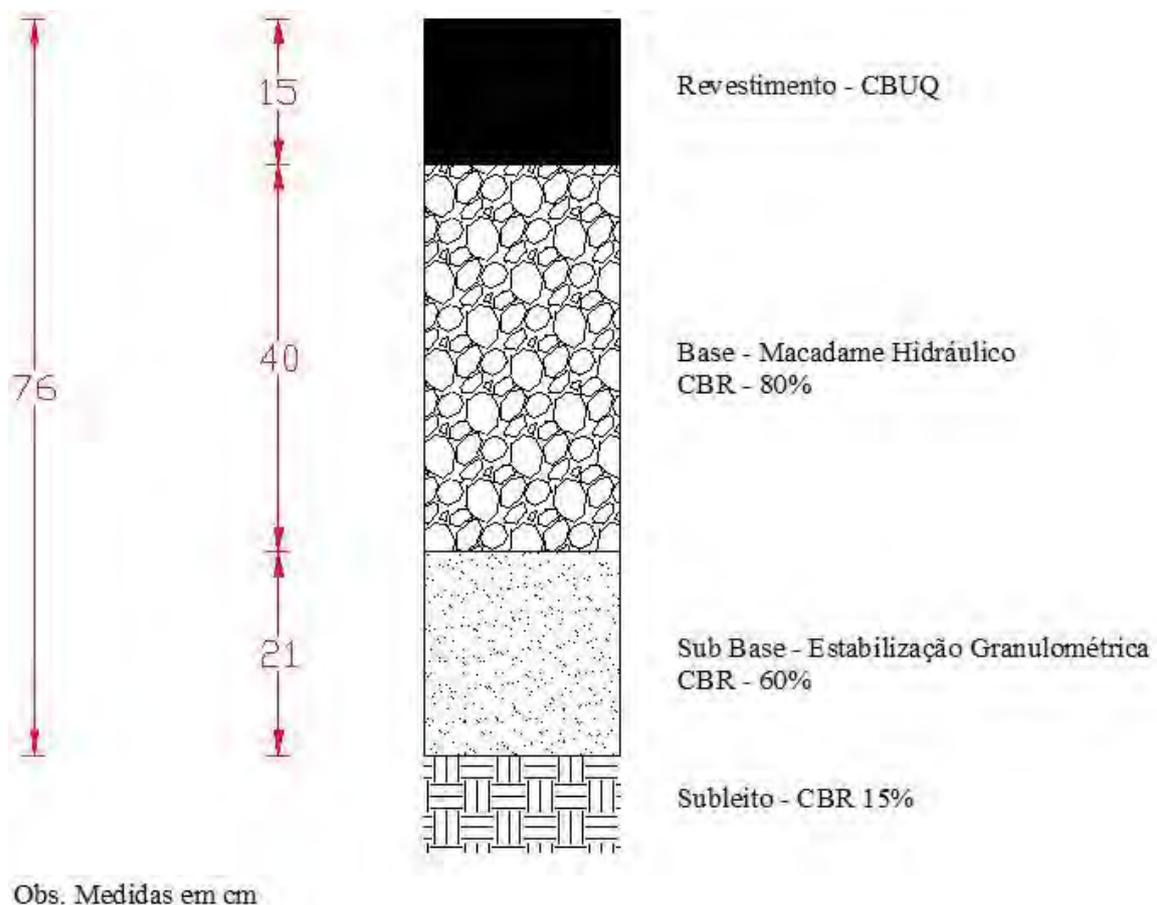


Figura 21 - Espessura final do pavimento

7 – CONCLUSÃO.

No final deste presente Projeto Integrado, conclui-se a complexidade em se projetar de maneira eficaz o dimensionamento, pois não há material suficiente e detalhado, onde fosse possível mostrar o passo o passo para a obtenção das camadas do pavimento aeroportuário.

Pode-se concluir que os cálculos para o dimensionamento de pavimentos de aeroportos são de extrema importância, não somente pela sua complexidade em, mas também para garantir a segurança das aeronaves que irão operar na pista, já que o pavimento é dimensionado para uma vida útil de 20 anos. Todas as camadas do pavimento são importantes porém o revestimento pode ser considerado com o principal afinal é nele em que o avião irá ter o maior contato e por isso necessita de uma maior resistência.

Conforme foi falado no desenvolvimento do projeto integrado, a aeronave crítica escolhida foi o Boeing 777-300ER, por ter um peso por roda superior maior que o Boeing 747-400 e o Airbus A380 e também por ser a aeronave de grande porte que mais opera no Brasil. O Airbus A340-600 é a aeronave que possui maior peso por roda dentre todas as aeronaves comerciais, mas não se tornou a aeronave crítica de projeto devido, porque não possui grande movimento de operações no Brasil e nem tem previsão para tal fato ocorrer.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AIRBUS. A340-500/-600 **Airplane Characteristics for Airport Planning**. Blagnac - France, 2005.

AIRBUS. A380 **Airplane Characteristics for Airport Planning**. Blagnac - France, 2005.

AIRLINERS. Disponível em: <www.airliners.net> Acesso em: 02 nov. 2011.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Abeda e Petrobrás, 2007.

BOEING. **747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning**. Seattle, 2002.

BOEING. **777-200LR/-300ER/-Freighter Airplane Characteristics for Airport Planning**. Seattle, 2009.

DIRENG. **Índice de Suporte Califórnia de Solos Utilizando Amostras Não Trabalhadas**. ME 01-87, 1987.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. **Pavimentos Flexíveis – Base Estabilizada Granulometricamente**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Publicação IPR – ES 303/97, 1997.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. **Manual de Pavimentação**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Publicação IPR – 719, 2006.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. **Pavimentos Flexíveis – Macadame Hidráulico**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Publicação IPR – ES 316/97, 1997.

FAA, Federal Aviation Administration. **Airport pavement design and evaluation**. Advisory circular number 150/5320-6D. USA Department of Transportation. AASAC, 1995.

FORTES, R. M. **Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Rígidos – Método FAA (Federal Aviation Administration)**. Notas de aula da disciplina de Aeroportos, São Paulo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007.

GOLDNER, L. G. **Apostila de Aeroportos**. 213 f. Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

HORONJEFF, R.; MCKELVEY, F. X.; SPROULE, W. J; YOUNG, S. B. **Planning and Design of Airports**. Fifth edition. Mc Graw Hill, 2010.

IAC, Instituto de Aviação Civil. **Manual de Implementação de Aeroportos**. Rio de Janeiro. Comando da Aeronáutica, Departamento da Aviação Civil, 2007.

ICAO, International Civil Aviation Organization. **Annex 14 aerodrome design and operations**: the convention of international civil aviation. Fourth edition. Chicago, 2004.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

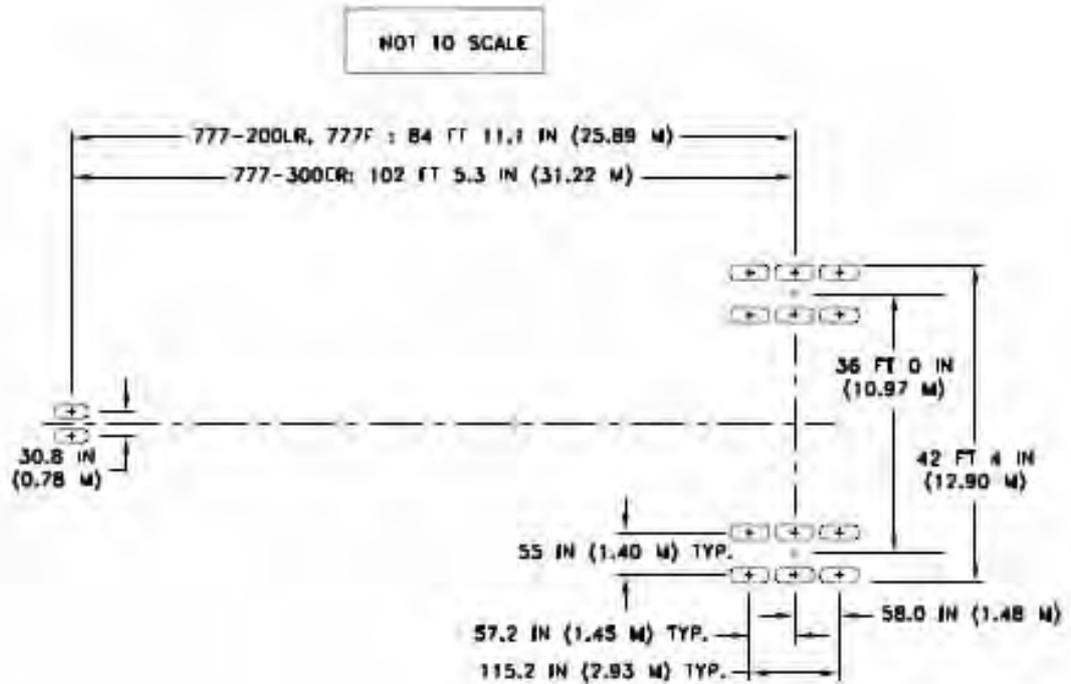
NECKEL, G. **Estudo do Asfalto-Borracha como Revestimento Asfáltico em Pistas Aeroportuárias**. Joinville, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1008.

SILVA, J. P. S. **Aderência Pneu-Pavimento em Revestimentos Asfálticos Aeroportuários**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM – 165/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 134 f. 2008.

YODER, E. J.; WITCZAK, W. M. **Principles of Pavement Design**. Second Edition. United States, 1975.

ANEXO A.

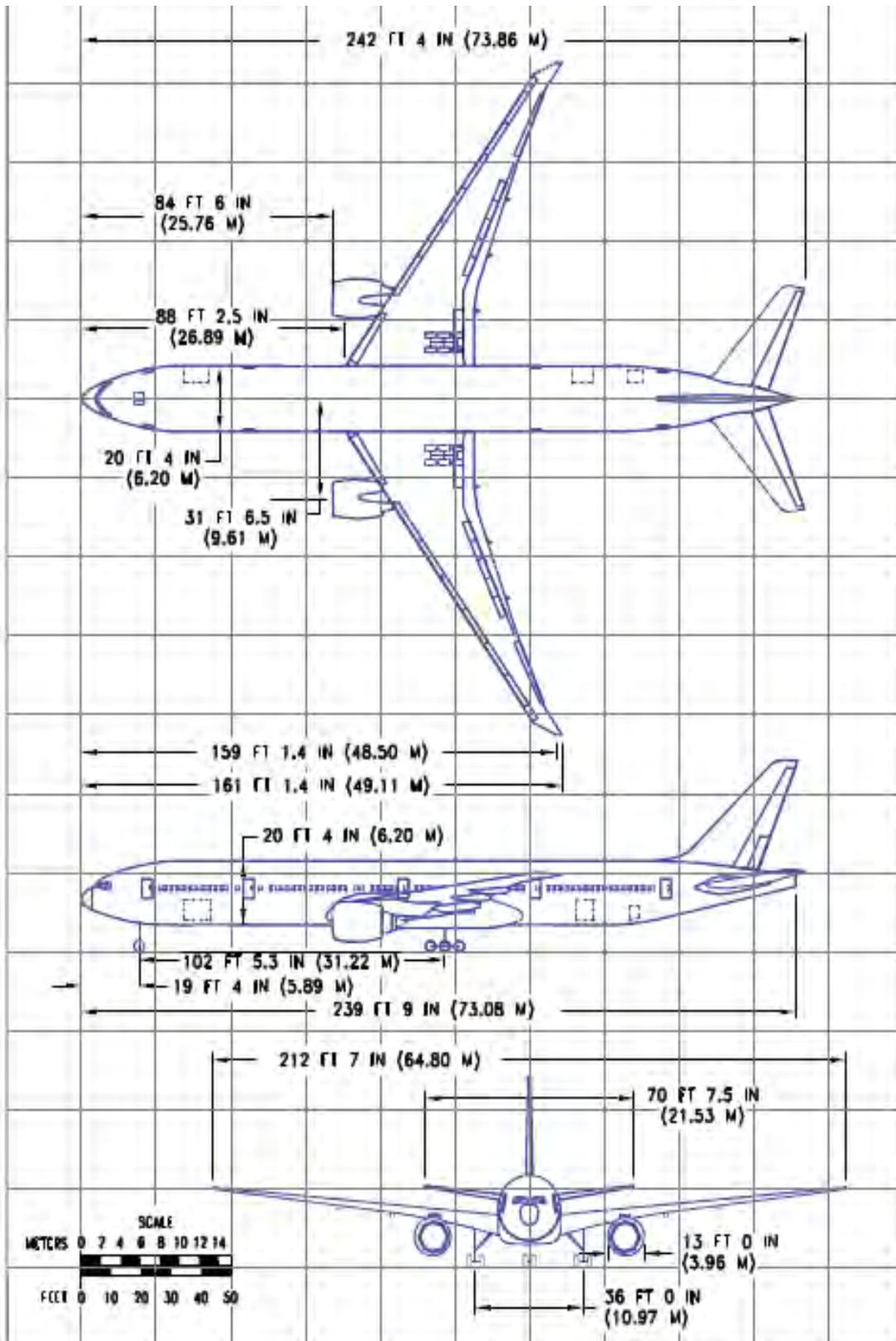
Dimensões do trem de pouso principal do Boeing 777-300ER.



	UNITS	777-200LR	777F	777-300ER
MAXIMUM DESIGN TAXI WEIGHT	LB	768,000	768,800	777,000
	KG	348,358	348,722	352,441
PERCENT OF WT ON MAIN GEAR		SEE SECTION 7.4		
NOSE GEAR TIRE SIZE	IN.	43 X 17.5 R 17, 32 PR		
NOSE GEAR TIRE PRESSURE	PSI	218	218	
	KG/CM ²	15.3	15.3	
MAIN GEAR TIRE SIZE	IN.	52 X 21 R 22, 36 PR		
MAIN GEAR TIRE PRESSURE	PSI	218	221	
	KG/CM ²	15.3	15.5	

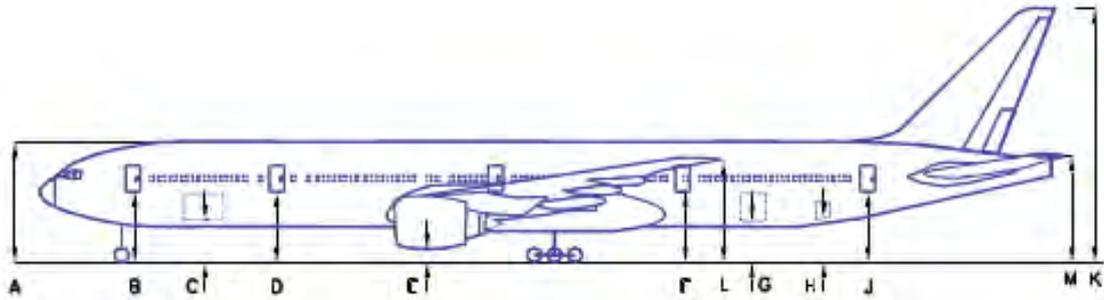
ANEXO B.

Dimensões do Boeing 777-300ER.



ANEXO C.

Dimensões do Boeing 777-300ER



	MINIMUM*		MAXIMUM*	
	FEET - INCHES	METERS	FEET - INCHES	METERS
A	27 - 9	8.46	28 - 10	8.78
B	15 - 9	4.80	16 - 10	5.13
C	9 - 5	2.88	10 - 6	3.19
D	16 - 2	4.92	17 - 1	5.20
E	2 - 5	0.73	3 - 3	0.99
F	16 - 9	5.11	17 - 5	5.32
G(LARGE/SMALL DOOR)	10 - 6	3.19	11 - 9	3.58
H	10 - 11	3.32	12 - 4	3.76
J	17 - 0	5.19	18 - 7	5.66
K	59 - 10	18.24	61 - 10	18.85
L	23 - 11	7.29	25 - 11	7.90
M	25 - 7	7.79	27 - 8	8.43

NOTES: VERTICAL CLEARANCES SHOWN OCCUR DURING MAXIMUM VARIATIONS OF AIRPLANE ATTITUDE. COMBINATIONS OF AIRPLANE LOADING AND UNLOADING ACTIVITIES THAT PRODUCE THE GREATEST POSSIBLE VARIATIONS IN ATTITUDE WERE USED TO ESTABLISH THE VARIATIONS SHOWN.

DURING ROUTINE SERVICING, THE AIRPLANE REMAINS RELATIVELY STABLE, PITCH AND ELEVATION CHANGES OCCURRING SLOWLY.

* NOMINAL DIMENSIONS ROUNDED TO NEAREST INCH AND NEAREST CENTIMETER