



ESTUDO DE MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO CPA PARA REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

PAULA POMPEO DE CAMARGO RANAZZI

novembro de 2016

ESTUDO DE MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO CPA PARA REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

PAULA POMPEO DE CAMARGO RANAZZI

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – INFRAESTRUTURAS

Orientador: Prof. Ângelo Manuel Gonçalves Jacob

Co-Orientadora: Prof^ª. Patrícia Barboza da Silva (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

NOVEMBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Abreviaturas	xvii
1 Introdução.....	1
2 Revisão da Literatura	5
3 Misturas betuminosas do tipo camada porosa de atrito.....	35
4 Estudo de caso – Aeroporto de Catoca.....	57
5 Considerações Finais.....	75
Referências Bibliográficas	79
Anexos	85

RESUMO

A infraestrutura aeroportuária assume papel de destaque tratando-se de segurança de vôo, dado ao grande percentual de ocorrência de acidentes nas operações de aterragem e descolagem. Os pavimentos aeroportuários são responsáveis por promover características adequadas para garantir a segurança dos utentes nessas operações.

A preocupação geral quanto às características funcionais do pavimento está relacionada com a aderência entre o pneu da aeronave e a superfície da pista de aterragem e descolagem. Objetiva-se a obtenção de revestimentos a partir de misturas betuminosas que assegurem a aderência pneu-pavimento, por meio da combinação da microtextura e macrotextura, criando propriedades de atrito adequadas à variação da velocidade das aeronaves e à adversidade das situações climáticas.

A estrutura do pavimento aeroportuário pode variar entre pavimento rígido e flexível, devido à ordem técnica e económica. A escolha do tipo de pavimento é justificada conforme o tipo de utilização do mesmo (pistas, caminhos de circulação, áreas de estacionamento).

O presente trabalho apresenta o estudo sobre o uso de misturas betuminosas do tipo camada porosa de atrito (CPA), que corresponde a uma camada betuminosa aberta, como camada de revestimento de pavimentos aeroportuários.

O trabalho desenvolve-se através do estudo das especificações técnicas para a utilização desse tipo de camada, bem como suas vantagens frente a revestimentos convencionais, que fundamentam sua aplicação como revestimento de pavimentos aeroportuários, e as limitações para seu uso.

Como estudo de caso será analisada a aplicação dessa mistura betuminosa aberta na obra de recapeamento na pista de aterragem e descolagem do Aeroporto de Catoca, a partir de documentos que relatam patologias ocorridas após um ano da execução.

Pretende-se, também, a identificação das possíveis causas dessas patologias por meio da comparação entre a descrição dos documentos fornecidos pela empresa responsável pelo projeto e as especificações técnicas apresentadas nesse trabalho.

Palavras-chave: atrito, revestimento, aderência, microtextura, macrotextura, pavimento aeroportuário.

ABSTRACT

The airport infrastructure assumes a prominent role in the case of flight safety, given to the high percentage of accidents in landing and taking-off operations. The airport pavements are responsible for promoting adequate characteristics to ensure the safety of users in such operations.

The general concern about the pavement's functional characteristics relates to the adhesion between the aircraft tire and the surface of the landing and taking-off runway. The goal is to obtain coatings from asphalt mixtures to ensure the tire-pavement grip, by combining microtextures and macrotextures in order to create friction properties suitable for both aircraft speed variation and climate adversity situations.

The structure of the airport pavement can be either rigid or flexible, due to technical and economic issues. The choice of the kind of pavement is justified according to the type of its use (runways, taxiways, parking areas).

This paper presents a study on the use of plant mixed of porous friction course (PFC), which corresponds to an open-graded course, as an airport wearing surface.

The study was developed by researches and analysis of the technical specifications for the use of PFC, its advantages over the conventional courses, which justifies its application in airport pavements, and the limitations for its use.

As a case study, the implementation of PFC in the resurfacing process of Catoca Airport's runway was analyzed, and it was developed from the documents reporting pathologies after a year of its implementation.

Thus, the case study allowed us to verify the probable causes of these occurrences by comparing the documentation provided by the company responsible for the project of the runway with technical specifications presented in this paper.

Keywords: Friction, wearing surface, adhesion, microtexture, macrotexture, airport pavement.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Ângelo Manuel Jacob e Patrícia Barboza da Silva pelo suporte, correções paciência e incentivos.

Aos meus pais Mônica Pompêo de Camargo e Paulo Sérgio Ranazzi por todo esforço, carinho e motivação que tornaram tudo possível.

A todos que de direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, o meu muito obrigada!

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Âmbito	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo Geral.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Enquadramento	2
1.4	Metodologia.....	3
1.5	Estrutura do Trabalho	4
2	Revisão da Literatura	5
2.1	Referências Introdutórias	5
2.2	Pavimentos Aeroportuários.....	6
2.2.1	Pavimento Flexível.....	7
2.2.2	Pavimento Rígido.....	9
2.2.3	Vida Útil do Pavimento Aeroportuário.....	11
2.3	Métodos de dimensionamento e avaliação de pavimentos aeroportuários	11
2.3.1	Método ACN/PCN.....	11
2.3.2	Método FAA.....	17
2.4	Aderência de pistas de aeroportos.....	21
2.4.1	Aderência pneu/pavimento.....	22
3	Misturas betuminosas do tipo camada porosa de atrito.....	35
3.1	Misturas betuminosas utilizadas em pistas de aterragem e descolagem	35
3.2	Introdução a misturas betuminosas do tipo camada porosa de atrito	37

3.3	Especificações da mistura	38
3.3.1	Materiais granulares	38
3.3.2	Ligantes betuminosos	39
3.3.3	Dosagem de misturas tipo CPA.....	40
3.4	Comparativo entre misturas betuminosas do tipo CPA e betões betuminosos convencionais..	41
3.5	Uso do CPA em revestimentos de pistas de aterragem e descolagem	44
3.6	Irregularidade longitudinal	45
3.7	Medidores de Atrito.....	48
4	Estudo de caso – Aeroporto de Catoca.....	57
4.1	Âmbito.....	57
4.2	Saurimo -Breve histórico do local	57
4.3	Obra realizada na pista de aterragem e descolagem	60
4.3.1	Estrutura obtida pelas recomendações da FAA.....	60
4.3.2	Características da pista do aeroporto de Catoca.....	62
4.3.3	CPA utilizada	67
5	Considerações Finais	75
5.1	Conclusões	75
5.2	Desenvolvimentos Futuros	77
	Referências Bibliográficas.....	79
	Anexos	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplo das áreas de operação – Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos (Adaptado de Google Maps, 2016)	6
Figura 2.2 – Sistema de camadas de um pavimento flexível e tensões solicitantes (Bernucci et al.,2008)	8
Figura 2.3 – Distribuição de cargas em um pavimento flexível (Balbo, 2007)	9
Figura 2.4 – Corte de pavimento rígido (Bernucci et al., 2008)	10
Figura 2.5 – Distribuição de cargas em um pavimento rígido.....	10
Figura 2.6 – Distribuição das cargas pelo trem de aterragem (Fernandes, 2010)	18
Figura 2.7 – Coeficiente de atrito longitudinal e transversal (Duarte, 2011).....	22
Figura 2.8 – Esquema do carregamento de um pneu estático (Rodrigues Filho, 2006)	23
Figura 2.9 – Esquema de força de um pneu em rolamento (Rodrigues Filho, 2006).....	24
Figura 2.10 – Pista molhada e com lâmina de água na superfície (Latersolo, 2010)	27
Figura 2.11 – Características geométricas do grooving (Peres, Silva e Merighi, 2006).....	33
Figura 3.1 – Estrutura típica dos pavimentos aeroportuários (Adaptado de FAA, 2016b)	35
Figura 3.2 – Representação da CPA (Peres, Silva e Merighi, 2006).....	37
Figura 3.3 - Diferença de drenabilidade entre CPA e CA convencional (Lugão, 2008)	42
Figura 3.4 – Comparação entre trechos com CA e CPA (Bernucci et al. 2008)	43
Figura 3.5 - Comparação entre corpos-de-prova de diferentes granulometrias (Bernucci et al., 2008)...	43
Figura 3.6 – Diversas faixas de variação do IRI (Bernucci et al., 2008)	45
Figura 3.7 – Exemplo de equipamento dipstick (Bernucci et al., 2008).....	47
Figura 3.8 – Dois equipamentos APL em paralelo (Service Technique de L'aviation Civile, 2016)	47
Figura 3.9 – Princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta (Bernucci et al., 2008).....	48
Figura 3.10 – Airport surface friction tester (Astf, 2016)	50
Figura 3.11 – Runway Friction Tester (Dynatest, 2016)	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.12 - Grip Tester Friction Meter (Findlay Irvine, 2016).....	51
Figura 3.13 – RT3 (Halliday Technologies, 2016).....	52
Figura 3.14 – BV-11 Skiddometer (Moventor, 2016)	52
Figura 3.15 – Mu-Meter (Douglas Equipment, 2016).....	53
Figura 3.16 – Detalhe do equipamento Mu-Meter (Lugão, 2008)	53
Figura 3.17 – NAC Dyncamic Friction Tester (Neubert Aero Corp., 2016)	54
Figura 3.18 - Runar (Norsemeter Friction, 2016).....	54
Figura 4.1 – Localização de Saurimo (Adaptado de World, 2014).....	58
Figura 4.2 – Vista aérea da mina de Catoca (Agência Lusa, 2015)	59
Figura 4.3 – Aeroporto de Catoca (Google Earth, 2016)	59
Figura 4.4 – Estrutura do pavimento flexível (Latersolo, 2010)	60
Figura 4.5 – Cálculo do PCN para aeronave Boeing 727-200 (Latersolo, 2010)	61
Figura 4.6 – Cálculo do PCN para aeronave Boeing 737-800 (Latersolo, 2010)	62
Figura 4.7 – Ensaio de adesividade com CCBit (Latersolo, 2010)	68
Figura 4.8 – Testes de campo realizados para CPA (Latersolo, 2010).....	71
Figura 4.9 – Teste de campo realizados para CPA após chuva forte (Latersolo, 2010)	71
Figura 4.10 – Detalhe da CPA executada no Aeroporto de Catoca (Latersolo, 2010).....	72
Figura 4.11 – Vista do defeito da pista de aterragem e descolagem de Catoca (Latersolo, 2010).....	73
Figura 4.12 – Trem de aterragem de uma aeronave B-737 (Latersolo, 2010)	73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Categoria de resistências do subleito em função do k para pavimentos rígidos (Adaptado de ICAO, 2004)	13
Tabela 2.2 – Categorias de resistência do subleito em função do CBR para pavimentos flexíveis (Adaptado de ICAO, 2004)	13
Tabela 2.3 – Código para pavimento rígido ou flexível (Adaptado de ICAO, 2004).....	15
Tabela 2.4 – Categoria de pressão máxima permitida dos pneus (Adaptado de ICAO, 2004)	15
Tabela 2.5 – Código para o método de avaliação utilizado	16
Tabela 2.6 – Fatores de conversão de trem de aterragem (Adaptação Igual, 2011).....	20
Tabela 2.7 – Classificação da textura (Adaptado de ASTM E-867, 1997 apud APS, 2006).....	30
Tabela 2.8 – Valores limites de microtextura (Adaptado de ABPv, 2009)	31
Tabela 2.9 – Classificação da macrotextura (Adaptado de Pasquet, 1968)	32
Tabela 3.1 – Faixas granulométricas da CPA (Adaptado de FAA, 2011)	39
Tabela 3.2 – Requisitos para ligantes betuminosos (Adaptado de FAA, 2011).....	39
Tabela 3.3 – Requisitos para ligantes betuminosos (Adaptado DNER, 1999).....	40
Tabela 3.4 – Ensaio para CPA (Adaptado DNER, 1999).....	41
Tabela 3.5 – Frequência de avaliação do atrito (Adaptado de FAA, 2016a)	49
Tabela 3.6 – Valores de atrito conforme o equipamento de medição (Adaptado de FAA, 2016a).....	49
Tabela 3.7 – Coeficiente de atrito na presença de lâmina d’água (Adaptado de ICAO, 2004)	55
Tabela 4.1 – Resumo das características do Aeroporto de Catoca (a Autora).....	62
Tabela 4.2 – Código de referência de Aeródromos (Adaptado de ICAO, 2004).....	63
Tabela 4.3 – Largura de pistas de aterragem e descolagem (Adaptado de ICAO, 2004).....	64
Tabela 4.4 – Pistas de táxi (Adaptado de ICAO, 2004)	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.5 – Largura da pista de táxi (Adaptado de ICAO, 2004).....	67
Tabela 4.6 – Afastamento das aeronaves (Adaptado de ICAO, 2004)	67
Tabela 4.7 – Betume 60/70 (Adaptado de Cepsa, 2016).....	70
Tabela 4.8 – Comparação entre os resultados da mistura de CPA e a especificação do DNER (a Autora)	70

ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACN	<i>Aircraft Classification Number</i>
AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BPN	<i>British Pendulum Number</i>
CAL	Coeficiente de Atrito Longitudinal
CAT	Coeficiente de Atrito Transversal
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CPA	Camada Porosa de Atrito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
F	Força de Atrito
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
F_R	Resistência ao Rolamento
HS	Profundidade Média
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IFI	<i>International Friction Index</i>
IRI	<i>International Roughness Index</i>
K	Modulo de Reação do Terreno de Fundação
LL	Limite de Liquidez

ABREVIATURAS

LP	Limite de Plasticidade
N	Força Normal
P	Carga da Roda
p	Pressão do Pneu
PCN	<i>Pavement Classification Number</i>
PFC	<i>Porous Friction Course</i>
PMD	Peso Máximo de Descolagem
r	Raio do Pneu Carregado
R_1	Número Equivalente Anual de Operações da Aeronave de Projeto
R_2	Número de Operações da Aeronave em Questão
SBS	Estireno-Butadieno-Estireno
TAAG	Transportes Aéreos Angolanos
W_1	Carga na Roda da Aeronave de Projeto
W_2	Carga na Roda da Aeronave em Questão
e	Distância Horizontal Entre o Eixo da Roda e o Centro de Pressão da Área de Contato
μ_R	Coeficiente de Atrito

1 INTRODUÇÃO

1.1 ÂMBITO

O transporte aéreo é rotineiro e primordial para o desenvolvimento das atividades econômicas mundiais, promovendo o rápido deslocamento de pessoas e de bens por longas distâncias num curto espaço de tempo. Desde sua invenção no começo do século XX, este meio de transporte está em constante evolução devido ao aperfeiçoamento das aeronaves e, simultaneamente, à ampliação de cargas transportadas.

Com relação à segurança do transporte aéreo, Peres, Silva e Merighi (2006) afirmam que esse apresenta um valor de ocorrência de acidentes 10 vezes menor em comparação a outros modais, como, por exemplo, o transporte rodoviário.

Apesar das estatísticas atestarem a segurança elevada do transporte aéreo, com incidência de acidentes aeronáuticos correspondente a 0,019 acidentes para cada um milhão de viagens, quando estes ocorrem são em sua maioria fatais com magnitudes catastróficas (PERES, SILVA e MERIGHI, 2006).

Dentre os fatores que podem ocasionar acidentes com aeronaves, Silva J. (2008) apresenta quatro com maior potencial, ocorrendo ou não de maneira simultânea. São eles: fator humano, fator meteorológico, fatores relacionados à aeronave e fatores relacionados à infraestrutura do aeródromo. Quando se trata desta última característica, os fatores mais significativos estão relacionados à pista de aterragem e auxílios à navegação.

Rodrigues Filho (2006) salienta que 57% das ocorrências de acidentes aeronáuticos, segundo as estatísticas da Boieng, ocorrem na pista de aterragem ou descolagem. Fatores como as características de atrito das pistas e a eficácia de frenagem do avião são indicadas como causa ou fator contribuinte para a ocorrência desses eventos.

Outra situação agravante é a existência de uma lâmina d'água na pista de aterragem e descolagem que pode promover o fenômeno da hidroplanagem, que se resume como a perda de contato entre o pneu e o pavimento. Essa perda de contato faz com que a aeronave perca seu controle direcional, que pode acarretar diversos eventos não planejados e com potencial de provocar um acidente (PALMA; PRADO, 2011).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar o estudo sobre o uso de misturas betuminosas do tipo camada porosa de atrito (ou camada betuminosa aberta) como camada de revestimento de pavimentos aeroportuários, para identificar quais são as patologias que esse material pode apresentar quando utilizado nesta camada e como podem ser evitadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

Pesquisar quais são as especificações que devem ser consideradas para o uso de misturas betuminosas do tipo camada porosa de atrito (CPA) em revestimentos de pavimentos aeroportuários.

Estudar a aplicação de CPA na obra de recapeamento na pista de aterragem e descolagem do aeroporto de Catoca, localizado em Saurimo, Angola, analisando as patologias ocorridas e as possíveis causas destas ocorrências.

1.3 ENQUADRAMENTO

Para a avaliação de segurança das pistas molhadas é necessário analisar aspectos do pavimento, da sinalização e do comportamento humano (piloto). Tratando-se dos aspectos do pavimento é importante avaliar o atrito pneu-pavimento, principalmente em situações de chuva, que envolve a quantificação da resistência à derrapagem que está em função da aderência. Os aspectos essenciais para a aderência pneu-pavimento em pistas molhadas são: a textura superficial da pista e características dos pneus (ranhuras, pressão de inflação, dimensão e tipo) (BERNUCCI et al. 2008).

Ao se discutir os efeitos da textura do pavimento na aderência, as características da superfície do pavimento que apresentam maior interferência nesse sentido são: microtextura e macrotextura. A primeira fornece propriedades de atrito para as aeronaves que operam em baixas velocidades, enquanto a segunda fornece propriedades de atrito para as aeronaves que operam em altas velocidades. Juntas, elas fornecem condições de aderência pneu-pavimento adequada para as aeronaves ao longo da variação de velocidade nas fases de aterragem e descolagem. A função principal da macrotextura em pavimentos aeroportuários é melhorar a drenabilidade superficial do pavimento, de modo a evitar a formação de lâmina d'água na superfície, propriedade que se torna mais importante à medida que as velocidades das aeronaves aumentam (FAA, 2016a).

Dessa maneira, torna-se necessário que os aeródromos tomem ações preventivas e corretivas para evitar o acúmulo de água na pista. Dentre essas ações, as mais comuns são o *grooving*, que corresponde as ranhuras transversais na pista de aterragem e descolagem ou a aplicação de uma camada de revestimento que confira ao pavimento as características de macrotextura adequadas (FAA, 2016a).

Quando utilizada como revestimento de pavimentos aeroportuários, a camada porosa de atrito provou ser um método eficaz para aumentar a relação de aderência pneu-pavimento, especialmente em condições de chuva, devido à sua granulometria aberta, que resulta no aumento da macrotextura da superfície. Essa granulometria aberta também permite a infiltração e a percolação de água pela camada, minimizando, assim, a ocorrência de lâmina d'água e evitando fenômenos como a hidroplanagem (KING; HARVEY; COOK, 2007).

De acordo com King, Harvey e Cook (2007), o desempenho do CPA como camada de revestimento tem apresentado resultados adversos. Há relatos de ocorrência de desagregação do pavimento de forma rápida e, qualquer desagregação, resultará em potencial de partículas soltas na pista, o que caracteriza uma condição de insegurança. Relatos também dão conta da ocorrência de trincamentos em camadas de revestimento que utilizam CPA nos locais com alta velocidade ou de mudanças de direção das aeronaves com rodas travadas.

Outro evento que compromete o desempenho da CPA é a colmatação, que é explicada por Virgiliis (2009) como a deposição de material particulado nos vazios da camada de revestimento, fazendo com que a capacidade de condutividade hidráulica do pavimento se perca de maneira lenta e progressiva. A colmatação está diretamente ligada à vida útil do pavimento, já que a infiltração da água pode tornar-se nula, transformando a camada, que era para ser drenante, em uma estrutura impermeável.

Assim sendo, o estudo da aplicação da camada porosa de atrito em pista de aterragem e descolagem, analisando as dificuldades encontradas em sua execução e manutenção, a análise das patologias que geralmente essa pode apresentar, suas prováveis causas e como evitá-las, justificam esse trabalho.

Há ainda o estudo de caso da obra de recapeamento da pista de aterragem e descolagem do aeroporto de Catoca, em Lunda-Sul, Angola, que empregou CPA como revestimento e possibilitará a análise das patologias ocorridas em um caso de aplicação, de suas prováveis causas e posterior definição de como essas poderiam ser evitadas.

1.4 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido por meio de pesquisas teóricas em publicações técnicas sobre o assunto, além de levantamento das especificações para a utilização da camada porosa de atrito em pistas de aterragem e descolagem de aeroportos.

CAPÍTULO 1

Para a pesquisa teórica serão estudadas as Normas e Especificações Técnicas para execução deste tipo de camada. Também serão consultados padrões internacionais e práticas recomendadas sobre aeródromos, tanto pelo ICAO (*International Civil Aviation Organization*) quanto pela FAA (*Federal Aviation Administration*).

Serão realizadas, ainda, pesquisas sobre as patologias que esse tipo de mistura betuminosa pode apresentar quando aplicada como revestimento de pistas de aterragem e descolagem de aeroportos e quais são as causas dessas ocorrências.

O estudo de caso será realizado sobre a aplicação de CPA como camada de revestimento na pista de aterragem e descolagem do Aeroporto de Catoca, localizado na cidade de Saurimo, sendo esta a capital de Lunda-Sul, Angola. Esta obra já foi finalizada e, para estudo de caso, serão utilizados dados do projeto e relatórios sobre o resultado obtido na finalização da obra, que serão fornecidos pela empresa responsável pelo projeto.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco seções.

O Capítulo 1 apresenta a Introdução, que é composta pelos seguintes itens: texto de conceituação e caracterização do tema; Objetivos; Justificativa; e Metodologia.

O Capítulo 2 destina-se à revisão da literatura, apresentando pesquisas da bibliografia relacionada aos pavimentos aeroportuários, bem como os tipos de pavimento, método de dimensionamento e avaliação, e caracterização da aderência dessas pistas.

O Capítulo 3 aborda as misturas betuminosas utilizadas em pavimentos aeroportuários e mistura betuminosa do tipo CPA, apresentando as especificações da mistura, materiais empregados, dosagem e aplicabilidade em pavimentos aeroportuários. Também são apresentados os conceitos e equipamentos para medição de irregularidade longitudinal e atrito.

O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso referente a utilização de CPA na pista de aterragem e descolagem do Aeroporto de Catoca, analisando as patologias ocorridas e as possíveis causas dessas ocorrências.

O Capítulo 5 relatará as conclusões do trabalho e indicará recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 REFERÊNCIAS INTRODUTÓRIAS

Com a finalidade de promover um melhor entendimento do funcionamento da infraestrutura aeroportuária, torna-se necessário a descrição de conceitos das partes integrantes desse complexo.

O ICAO (2004) define aeródromo como a área com o propósito de ser utilizada para a chegada, partida ou movimentação de aeronaves em sua superfície, podendo ser em terra ou em água, incluindo as construções, instalações e equipamentos.

Aeroportos são definidos por Fernandes (2010) como um aeródromo unido às instalações e aos serviços destinados ao público, controle de embarque de passageiros e de carga, e estruturas para o abastecimento, manutenção e reparação das aeronaves.

Segundo o ICAO (2004), o aeroporto é constituído por área de manobra, que corresponde à parte do aeródromo utilizada para descolagem, aterragem e táxi de aeronaves; área de movimento, contemplando todas as partes anteriores, com o acréscimo dos pátios das aeronaves; e a área de aterragem, formada somente pela área de movimento para a aterragem e/ou descolagem das aeronaves. As áreas de operação são representadas na Figura 2.1.

A pista de aterragem e descolagem (*runway*), uma área retangular em um aeródromo em terra, que é preparada para aterragem e descolagem de aeronaves. A trajetória de uma aeronave em um aeródromo em terra é chamada de pista de táxi (*taxiway*), com a finalidade de oferecer ligação entre as partes do aeródromo como: pista de táxi de estacionamento de aeronaves, pista de táxi de pátio de manobras e pista de táxi de saídas rápidas (ICAO, 2004).



Figura 2.1 – Exemplo das áreas de operação – Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos
(Adaptado de Google Maps, 2016)

O pátio de manobras tem o propósito de dispor as aeronaves para fins de embarque e desembarque de passageiros, carregamento ou descarregamento de cargas, abastecimento, estacionamento ou manutenção. O início da parcela de pista utilizada para a aterragem é denominado de cabeceira e a região além dessa parcela define-se como zona de toque, que corresponde a região em que se espera que as aeronaves, ao pousar, façam o primeiro contato com o solo (ICAO, 2004).

2.2 PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), pavimento é a estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- Resistir a distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e conforto;
- Resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

A estrutura multi-estratificada suporta diretamente as ações solicitantes do tráfego e as transmite à infraestrutura. Os pavimentos têm finalidade de satisfazer critérios de comportamento estrutural e funcional. O primeiro corresponde à capacidade de suportar, redistribuir e transferir para camadas inferiores as tensões induzidas pelo tráfego, enquanto o segundo engloba as boas condições de conforto, economia e segurança, que são garantidos por uma superfície regular (DUARTE, 2011).

Sendo assim, Merighi e Fortes (s/d) descrevem os pavimentos aeroportuários como estruturas com qualidade e espessura suficientes para suportar as cargas das aeronaves e transferi-las para o subleito. Devem ser estáveis, resistentes às intempéries e ao jato.

Segundo King, Harvey e Cook (2007), devido ao grande número de passageiros diários, é de enorme importância que os pavimentos aeroportuários sejam projetados do modo a tornar as viagens mais seguras. Para isso, os pavimentos devem apresentar: superfície apropriada, resistência à derrapagem, estrutura adequada, drenagem eficiente e resistência às cargas solicitadas pelas operações das aeronaves. Caso não apresentem essas características podem originar problemas de desempenho e de controle das aeronaves, principalmente devido às altas velocidades durante a aterragem e descolagem.

Os pavimentos rodoviários e aeronáuticos apresentam diferenças quanto: a magnitude da carga aplicada; a pressão e largura dos pneus; a configuração do trem de aterragem (ou eixo padrão para transporte rodoviário); o posicionamento do centro de gravidade; a seção geométrica; e o número de repetições de carga aplicada ao pavimento durante sua vida útil. Tais diferenças justificam as maiores exigências em termos de irregularidade, atrito e maiores espessuras nos pavimentos aeroportuários (FERNANDES, 2010).

Os pavimentos são classificados como flexíveis ou rígidos, apesar da possibilidade de existirem pavimentos mais complexos. Por possuírem diferenças de ordem técnica e econômica, os pavimentos flexíveis são utilizados com mais frequência nas pistas e caminhos de circulação, visto que apresentam condições de atrito, regularidade e conforto adequados a esta utilização. No caso dos pavimentos rígidos, estes são mais utilizados nas áreas de estacionamento, hangares e cabeceira, pela resistência a cargas elevadas estáticas e resistência química aos combustíveis, óleos e lubrificantes (FERNANDES, 2010).

2.2.1 Pavimento Flexível

Pavimentos flexíveis são caracterizados por serem constituídos por uma mistura formada por agregados e ligantes betuminosos. Geralmente possuem quatro camadas principais: revestimento betuminoso, base, sub-base e reforço do subleito. Algumas camadas podem estar ausentes, conforme o tipo de tráfego e os materiais disponíveis. A Figura 2.2 apresenta o sistema de camadas de um pavimento flexível. O revestimento betuminoso é formado por camada de rolamento (camada em contato direto com as rodas) e camadas intermediárias ou de ligação, também denominadas como *binder*. Esse termo gera uma certa confusão, já que na língua inglesa é utilizado para denominar o ligante betuminoso (BERNUCCI et al., 2008).

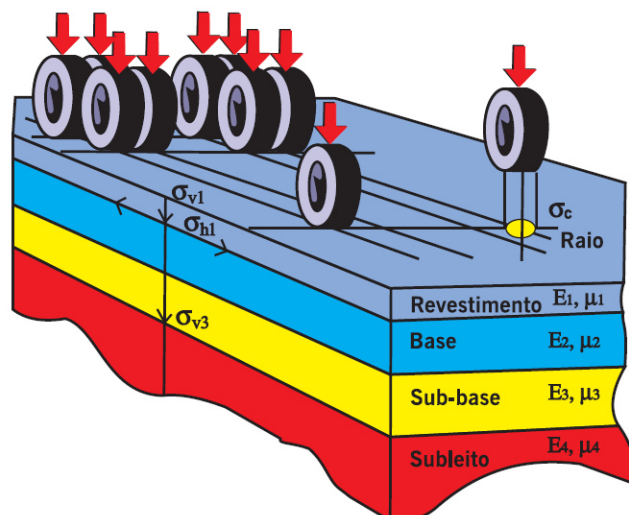


Figura 2.2 – Sistema de camadas de um pavimento flexível e tensões solicitantes (Bernucci et al.,2008)

A seguir são descritas as camadas que constituem o pavimento flexível, de acordo com a AC 150/5380-6C (FAA, 2014a) – *Guidelines and procedures for maintenance of airport pavements*:

Camada de revestimento – constituída de uma mistura de agregados de diferentes diâmetros e betumes betuminosos ou outros ligantes betuminosos. O material usado nesta camada é comumente referido como betão betuminoso produzido a quente. Esse tipo de revestimento evita que a água na superfície do pavimento penetre até a camada de base. Proporciona uma superfície lisa, aderente, livre de partículas soltas, e deve assegurar a resistência às tensões causadas pelas cargas das aeronaves e ser resistente à derrapagem, sem causar desgaste excessivos nos pneus.

Camada de base – funciona como principal componente estrutural do pavimento flexível. Distribui as cargas às camadas inferiores de sub-base e subleito. Essa camada base deve apresentar qualidade e espessura suficiente para garantir que as camadas abaixo resistam às tensões que serão dissipadas; resistir às pressões verticais que tendem a produzir afundamento por consolidação e deformação da camada de revestimento; e resistir à variação de volume que pode ocorrer, conforme seu teor de humidade. A qualidade da camada de base é função da sua composição, propriedades físicas e da compactação dos materiais. Estes podem ser materiais granulares ou cimentados (granulares tratados com aglomerantes hidráulicos).

Sub-base – a camada de sub-base é utilizada em locais onde a ação do gelo é grave ou o solo de fundação é muito fraco. A sub-base funciona como a camada de base, porém as necessidades dos materiais para essa camada não são tão rigorosas como para a camada de base, pois está sujeita a esforços mais baixos. A sub-base é constituída de material granular que deve ser adequadamente compactado.

Subleito – o subleito é a camada do solo que forma a fundação do pavimento. O solo do subleito é submetido a tensões mais baixas que as camadas acima. Uma vez que a carga diminui com a profundidade, a tensão geralmente se dá no topo do subleito. A espessura combinada de sub-base, de base e de revestimento tem que ser suficiente para reduzir as tensões que ocorrem no subleito para valores que não sejam capazes de causar deformações ou deslocamentos excessivos nesta camada.

Esse tipo de pavimento deve ser dimensionado para permitir que a carga aplicada seja transmitida camada por camada, como representado na Figura 2.3, sem que se exceda a capacidade de resistência das camadas sucessivas. Para isso, as camadas devem ser dispostas de forma que os módulos de elasticidade ou de rigidez estejam progressivamente decrescentes, conforme a profundidade. A constituição desse tipo de pavimento é variável, pois está em função do tipo de material disponível, das condições climáticas, da resistência do solo de fundação, da intensidade e do tipo do tráfego a que estão sujeitos (FERNANDES, 2010).

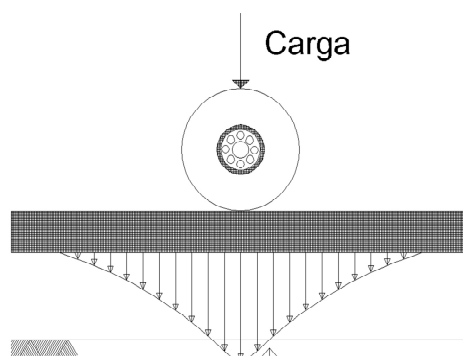


Figura 2.3 – Distribuição de cargas em um pavimento flexível (Balbo, 2007)

2.2.2 Pavimento Rígido

Os pavimentos rígidos são caracterizados pelo revestimento de placa de betão de cimento Portland. Dependendo das condições, a camada de revestimento desse pavimento pode ser projetada em betão simples, levemente armado, de forma contínua ou pré-esforçado, e essa costuma ser colocada sobre uma sub-base granular compactada ou tratada com aglomerante hidráulico, assente sobre um subleito compactado, como representado na Figura 2.4. A sub-base fornece suporte estável e uniforme, bem como pode fornecer drenagem subterrânea (FAA, 2014a).

A placa de revestimento do pavimento de betão de cimento Portland tem resistência à flexão considerável, sendo assim, essa configuração distribui as cargas aplicadas por uma grande área (FAA, 2014a). A distribuição das cargas é representada pela Figura 2.5.

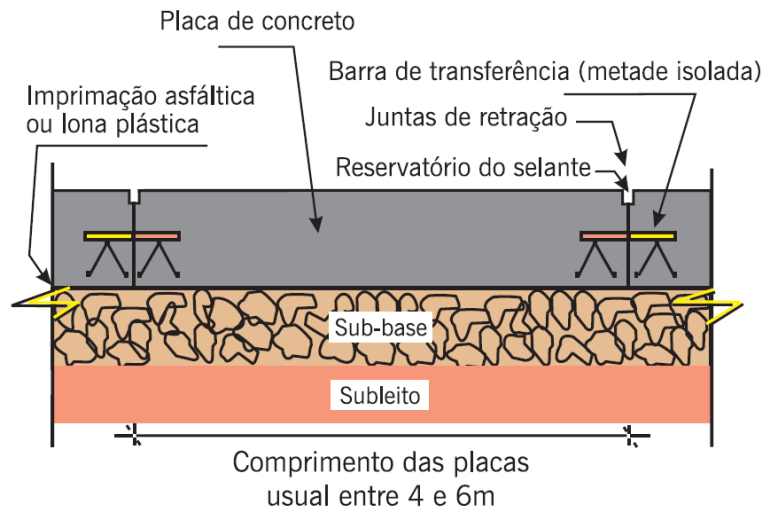


Figura 2.4 – Corte de pavimento rígido (Bernucci et al., 2008)

A seguir, são descritas as camadas que constituem o pavimento flexível, de acordo com a AC 150/5380-6C (FAA, 2014a) – *Guidelines and procedures for maintance of airport pavements*:

Placa de pavimento (camada de desgaste) – a placa do pavimento fornece suporte estrutural para a aeronave, resistência à derrapagem e evita que a água da superfície do pavimento infiltre na sub-base.

Sub-base – a camada de sub-base é utilizada em áreas onde a ação do gelo é severa ou onde o solo do subleito é fraco. A sub-base funciona como a camada de base, porém as necessidades dos materiais para a sub-base não são tão rigorosas como para a camada de base, pois essa está sujeita a esforços mais baixos. A sub-base é constituída de material granular estabilizado ou adequadamente compactado.

Subleito – o subleito é a camada do solo que forma a fundação do pavimento. O solo do subleito é submetido a tensões mais baixas que as camadas acima. Essas tensões diminuem com a profundidade.

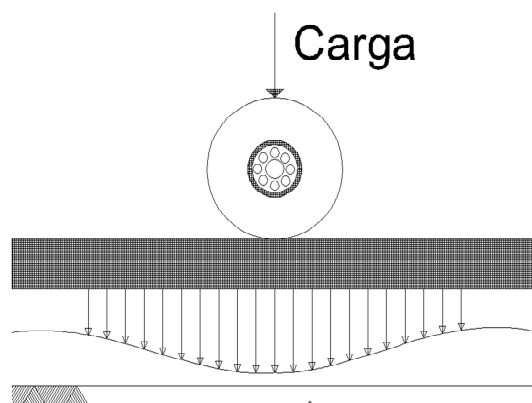


Figura 2.5 – Distribuição de cargas em um pavimento rígido

2.2.3 Vida Útil do Pavimento Aeroportuário

Com um projeto, materiais, construção e manutenção adequados, qualquer tipo de pavimento pode atingir a vida útil desejada. Historicamente, pavimentos aeroportuários apresentam um bom desempenho durante 20 anos, como mostra o *Operational Life of Airport Pavements*, (DOT / FAA / AR-04/46) (FAA, 2016b).

Para selecionar uma seção de pavimento é necessário a avaliação de vários fatores, incluindo custos e limitações financeiras, restrições operacionais, custo e frequência de manutenção, restrições ambientais, disponibilidade de material, planos de futuras expansões do aeroporto e mudanças previstas no tráfego. O engenheiro deve documentar a justificativa para a seção de pavimento selecionado e vida de serviço em seus relatórios (FAA, 2016b).

2.3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Para avaliar e dimensionar os pavimentos aeroportuários são utilizados dois métodos, o primeiro é o método do ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number*), apresentado no Anexo 14 do ICAO (2004), o qual é utilizado para aeronaves com peso bruto superior a 5.700kg. Esse método avalia a capacidade do pavimento para receber determinada aeronave. O segundo é o método do FAA (*Federal Aviation Administration*), que é utilizado para calcular as espessuras das camadas do pavimento.

2.3.1 Método ACN/PCN

Segundo o ICAO (2004), a resistência à compressão de pavimentos, com aeronaves com peso bruto superior a 5.700kg, deve ser disponibilizada pelo método ACN/PCN, que apresenta o efeito de aeronaves sobre determinado pavimento, levando em conta a resistência do solo de fundação, sendo necessárias as seguintes informações:

- a) O número de classificação de pavimentos;
- b) O tipo de pavimento a ser dimensionado;
- c) A categoria de resistência do subleito;
- d) Pressão máxima permitida nos pneus ou valor máximo de pressão nos pneus; e
- e) Método de avaliação.

Igual (2011) salienta que o ACN/PCN não tem como intuito o cálculo ou a avaliação de pavimentos, mas apenas a apresentação dos dados sobre a resistência dos pavimentos nas AIP (*Aeronautical Information Publication*), ou seja, determina se a aeronave poderá pousar ou não em determinada pista.

De acordo com o ICAO (2004), ACN (*Aircraft Classification Number*) corresponde ao número que indica o efeito relativo da aeronave sobre um pavimento, para determinada resistência do terreno de fundação; enquanto PCN (*Pavement Classification Number*) corresponde ao número que indica a resistência de um pavimento para ser utilizado sem restrições. Sendo assim, o valor de PCN indica a possibilidade de operação de aeronaves com valor de ACN igual ou inferior ao PCN informado.

O método teve origem em 1977 e foi formulado por um grupo de estudo do ICAO, no documento *Aerodrome Design Manual – Part 3*, visando a elaboração de um método simplificado de registro de resistência dos pavimentos. Os conceitos e especificações referentes a este método são apresentados na norma AC 150/5335-5C (FAA, 2014b). Este método não é um método de avaliação, uma vez que o ICAO esclarece que o PCN é apenas o ACN da aeronave mais prejudicial ao uso do pavimento de forma regular (LIMA, 2014).

Determinação do ACN

Lima (2014, p. 26) explica que para a determinação do ACN são utilizados dois modelos matemáticos, apresentados a seguir:

- Para pavimentos rígidos utiliza-se a solução de Westergaard, baseada numa placa elástica carregada sobre uma sub-base de Winkler (caso de carga interior), assumindo uma tensão de trabalho para o betão de 2,75 MPa;
- Para pavimentos flexíveis é usado o método do Índice de Suporte Califórnia (CBR), que emprega a solução de Boussinesq, baseada nos esforços e deslocamentos num semi-espaço isotrópico e homogêneo.

Os fabricantes de aeronaves publicam os ACNs calculados com a massa máxima na plataforma e massa representativa de operação em vazio, nos documentos que detalham as características dessas. O ACN é calculado para pavimentos rígidos e flexíveis, bem como para as quatro categorias normalizadas da resistência do terreno de fundação. A massa empregada no cálculo não prevê tolerância para o aumento da carga por efeito dinâmico, ou seja, corresponde a uma massa estática (IGUAL, 2014).

Apesar de caber ao fabricante fornecer os valores oficiais de ACN das aeronaves de sua fabricação, a FAA desenvolveu o software COMFAA, que possibilita o cálculo dos valores de ACN e PCN de cada avião em estudo (IGUAL, 2014).

As quatro categorias normalizadas da resistência do subleito, tanto para pavimentos rígidos como para flexíveis, são utilizadas para representar uma gama de condições de subleito como mostrados nas Tabelas 2.1 e 2.2:

Tabela 2.1 – Categoria de resistências do subleito em função do k para pavimentos rígidos (Adaptado de ICAO, 2004)

Categoria de resistência do subleito	Capacidade de suporte da fundação (k) – MN/m ³	Intervalo de valores de k MN/m ³	Código
Alta	150	$k \geq 120$	A
Média	80	$60 < k < 120$	B
Baixa	40	$25 < k < 60$	C
Muito baixa	20	$K \leq 25$	D

Tabela 2.2 – Categorias de resistência do subleito em função do CBR para pavimentos flexíveis (Adaptado de ICAO, 2004)

Categoria de resistência do subleito	CBR (%)	Intervalo de valores do CBR (%)	Código
Alta	15	$CBR \geq 13$	A
Média	10	$8 < CBR < 13$	B
Baixa	6	$4 < CBR < 8$	C
Muito baixa	3	$CBR \leq 4$	D

Para o cálculo do ACN de uma aeronave foi necessário introduzir um novo termo: o de carga de roda simples com 1,25 MPa de pressão dos pneus. Com isso é possível definir a interação entre o trem de aterragem e o pavimento, sem especificar a espessura do pavimento como parâmetro do ACN (IGUAL, 2011).

Essa condição pode ser atingida igualando a espessura proporcionada pelo modelo matemático para o trem de aterragem de uma aeronave à espessura correspondente a uma roda simples de pressão normalizada de 181 psi (1,25 MPa). O ACN é definido como duas vezes a carga derivada de roda simples, expressa em milhares de quilogramas (FAA, 2014b).

Cálculo do PCN

A determinação de uma classificação pavimento em termos de PCN é um processo de determinação do ACN para cada aeronave considerada significativa para o tráfego do pavimento em questão e difusão destes valores. Nestas condições, qualquer aeronave com o ACN igual ou inferior ao valor PCN pode operar com segurança no pavimento sujeito a quaisquer limitações na pressão dos pneus. Os valores de PCN determinados dependerão do tráfego de aeronave utilizada para determinar o valor de PCN, sendo assim, aeroportos devem reavaliar seu valor PCN caso ocorram alterações significativas no tráfego aeronave original (FAA, 2014b).

De acordo com o FAA (2014b), a determinação do valor do PCN para um pavimento aeroportuário específico pode ser baseada em dois procedimentos, sendo um baseado nas experiências com aviões que operam usualmente no pavimento e outro que baseia em avaliação técnica. O ICAO permite que qualquer um desses procedimentos possa ser utilizado, mas a metodologia utilizada deverá ser apresentada como parte da classificação publicada.

No método experimental, os valores de ACN de todas as aeronaves autorizadas a utilizar o pavimento são determinados e o maior entre esses valores é notificado como o valor de PCN do pavimento. Esse método é considerado fácil de ser aplicado e não necessita de conhecimentos detalhados da estrutura do pavimento. No caso da avaliação técnica, são usados os mesmos princípios para o projeto de pavimentos, sendo que o valor numérico do PCN é determinado a partir da obtenção da carga máxima admissível que o pavimento suporta. A determinação do valor do PCN torna-se um processo simples a partir da aquisição do ACN do avião que representa a carga admissível (LIMA, 2014).

O sistema PCN utiliza um formato codificado para maximizar a quantidade de informações no menor número de caracteres possível, para facilitar a transmissão da informação. O PCN de um pavimento é constituído por cinco partes, nas quais os seguintes códigos são ordenados e separados por barras: valor numérico do PCN/ tipo de pavimento/ categoria do subleito/ pressão dos pneus admissível/ método utilizado para determinar o PCN (FAA, 2014b).

A aplicação do método ACN/PCN requer as seguintes informações comunicadas em forma de código:

- **Valor Numérico do PCN:** o valor numérico PCN indica a capacidade de carga de um pavimento, em termos de uma carga padrão em uma única roda, a uma pressão de 181 psi (1,25 MPa). O valor PCN deve ser relatado em números inteiros, arredondando-se as frações para o número inteiro mais próximo (FAA, 2014b).
- **Tipo de Pavimento:** para o fim de informações de valores de PCN, tipos de pavimento são considerados como estruturas flexíveis ou rígidas (FAA, 2014b).

No caso de a construção ser composta ou não ser padrão, deve ser incluído uma nota a respeito disso (ICAO, 2004).

Tabela 2.3 – Código para pavimento rígido ou flexível (Adaptado de ICAO, 2004)

Localização	Código
Rígido	R
Flexível	F

- **Categoria de resistência do subleito:** para a categoria de resistência do subleito são utilizadas quatro categorias normalizadas da resistência do subleito, tanto para pavimentos rígidos como para flexíveis, conforme foram explicadas no item sobre ACN.
- **Categoria de pressão máxima permitida de pneus:** o sistema PCN usa quatro categorias para notificação da pressão admissível de pneus, estando estas apresentadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Categoria de pressão máxima permitida dos pneus (Adaptado de ICAO, 2004)

Categoria de pressão máxima permitida de pneus	Pressão	Código
Alta	Sem limite	W
Média	Limitada a 1,50 MPa	X
Baixa	Limitada a 1,00 MPa	Y
Muito baixa	Limitada a 0,50 MPa	Z

- **Método de Avaliação:** para o método de avaliação, o sistema PCN, segundo ICAO (2004), divide-se em duas categorias:
 - A) Avaliação técnica: representa um estudo específico das características do pavimento e da aplicação da tecnologia de comportamento do pavimento.
 - B) Utilizando a experiência com aeronaves: representa um conhecimento do tipo e massa específica de uma aeronave, sendo satisfatoriamente suportada em uso regular.

Tabela 2.5 – Código para o método de avaliação utilizado

Método de Avaliação	Código
Avaliação Técnica	T
Utilizando Experiencia com Aeronaves	U

Apresentação dos dados

O exemplo a seguir, dado pelo ICAO (2004), ilustra como os dados de resistência do pavimento à compressão são informados pelo método ACN-PCN.

Exemplo: se a resistência à compressão de um pavimento rígido, sobre um subleito de resistência média, tecnicamente avaliado como sendo PCN 80 e não houver limite de pressão, então a informação a ser prestada deverá ser: **PCN 80/R/B/W/T**

Operações em sobrecarga

Tratando-se de operações com sobrecargas, ICAO (2004) esclarece que a aplicação de cargas maiores que as definidas no projeto ou em avaliação reduzem a vida útil do pavimento. Contudo que não seja o caso de sobrecarga excessiva, não existe uma carga limite determinada acima da qual os pavimentos podem ruir repentinamente ou catastróficamente.

O desempenho estrutural de um pavimento é indicado por meio do número de repetições de uma determinada carga durante sua vida útil de projeto. Com isso, aceita-se uma pequena sobrecarga ocasional, apenas com perda limitada da sua expectativa de vida útil e aceleração relativamente pequena de deterioração do pavimento. Para as operações em que a magnitude de sobrecarga e/ou frequência de uso não justifiquem estudos mais detalhados, os seguintes critérios relacionados ao ACN e a frequência são sugeridos:

- Para pavimentos flexíveis, movimentos ocasionais de aeronaves, cujo ACN não exceda 10% do PCN notificado, são admitidos como não prejudiciais aos pavimentos;
- Para pavimentos rígidos ou com base composta, em que uma camada de pavimento rígida oferece um elemento primário da estrutura, os movimentos ocasionais de aeronaves, cujo ACN não exceda mais de 5% do PCN notificado, são admitidos como não prejudiciais para os pavimentos.;
- Caso a estrutura do pavimento seja desconhecida, a limitação de 5% deve ser aplicável; e
- O número anual de movimentos de sobrecarga não deverá exceder 5% do número total anual previsto de movimentos de aeronaves.

As operações em sobrecarga não devem ser permitidas em pavimentos que apresentam sinais de desgaste ou falhas, e deve ser evitada em situações de descongelamento ou quando a resistência do pavimento e/ou do subleito puder ser enfraquecida pela água. As repetições excessivas dessas operações podem reduzir drasticamente a vida útil de um pavimento ou exigir um grande trabalho de recuperação (ICAO, 2004).

2.3.2 Método FAA

A AC 150/5320-6F (FAA, 2016b) explica que o dimensionamento de um pavimento requer a análise da interação de quatro componentes igualmente importantes: o subleito, as camadas dos pavimentos (camada de desgaste, base e sub-base), as características das cargas aplicadas e as características climáticas.

Por envolver um grande número de variáveis, o dimensionamento de pavimentos dos aeroportos e dos aeródromos é um problema técnico e muito complexo. A FAA optou por calcular e notificar a resistência dos pavimentos aeroportuários em função do peso bruto da aeronave e do tipo de trem de aterragem. Esse método se baseia na utilização das curvas criadas pela FAA, para obter as devidas espessuras das camadas dos pavimentos, sendo as curvas utilizadas para dimensionamento de pavimentos flexíveis diferentes daquelas utilizadas para os rígidos (IGUAL, 2011).

Pavimentos aeroportuários são projetados e construídos para fornecer suporte adequado às cargas impostas pelas aeronaves e apresentar superfície firme, estável, suave e resistente à derrapagem, sob qualquer característica climática, sendo que sua superfície deve estar livre de qualquer material contaminante que possa influenciar seu comportamento (FAA, 2016b).

Contudo, para cumprir os requisitos de desempenho, a AC 150/5320-6F (FAA, 2016b) enfatiza a importância da qualidade, espessura adequada das camadas do pavimento e a estabilidade suficiente para suportar a ação abrasiva do tráfego, condições meteorológicas adversas e outras condições de deterioração.

2.3.2.1 Parâmetros de dimensionamento empregados pelo método

Identificação e Avaliação do Solo

A norma AC 150/5320-6F (FAA, 2016b) recomenda que se utilize a ASTM D 2487 (ASTM, 2006) para classificar os solos, com o fim de dimensionamento de aeroportos civis, e especifica ensaios como: granulometria, limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). Indica, também, a profundidade e espaçamento dos furos de sondagem e exige o Ensaio de Índice de Suporte CBR (*California Bearing Ratio*), sendo esse realizado em campo ou em laboratório.

Carga

Com relação às cargas, esse método de cálculo é baseado no peso operacional bruto máximo (*gross weight*), que se assume ser o peso máximo de decolagem (PMD ou “*maximum takeoff weight*”). Quanto à distribuição dessas cargas nos trens de aterragem, supõe-se que 95% do peso bruto é suportado pelo trem de aterragem principal e os 5% restantes pelo trem de nariz, ou bequilha, como apresentado na Figura 2.6. (IGUAL, 2011)

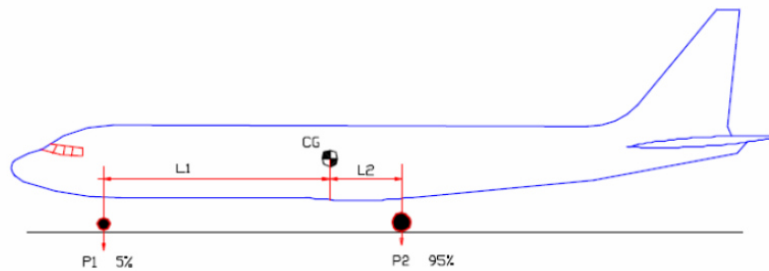


Figura 2.6 – Distribuição das cargas pelo trem de aterragem (Fernandes, 2010)

A norma atual, AC 150/5320-6F (FAA, 2016b), não divide mais o procedimento de cálculo do dimensionamento entre aeronaves com valores maiores ou menores que 30.000 lb (13.610kg). Para o cálculo utiliza-se o software FAARFIELD.

O software FAARFIELD fornece os pesos operacionais brutos e as distribuições de cargas recomendadas pelos fabricantes, tanto para aviões civis como militares. Ao se utilizar o peso máximo operacional de decolagem, é possível realizar um projeto conservador que permite mudanças no uso operacional e de tráfego em aeroportos, onde o tráfego regular opera com menos que a carga máxima utilizada no projeto (FAA, 2016b).

O dimensionamento de pavimentos flexíveis é baseado no Método do CBR, enquanto o de pavimentos rígidos, na teoria de Westergaard. O Peso Máximo de Aterragem não é utilizado para o cálculo dos pavimentos, tendo em vista que esse corresponde a cerca de 75% do Peso Máximo de Decolagem (MERIGHI; FORTES, (s/d))

Tipo de Trem de Aterragem

O tipo de trem de aterragem e sua configuração são responsáveis por determinar o modo de distribuição do peso da aeronave no pavimento e estabelecem a resposta do pavimento a essas cargas (FAA, 2016b).

Segundo Fortes e Merighi (s/d) e Igual (2011), o trem de aterragem pode apresentar as seguintes configurações:

- Eixo simples (single gear aircraft):

- Não requer nenhuma hipótese especial.

- Eixo duplo (dual gear aircraft):

- Aeronaves leves: distância de 20 polegadas (0,51m) entre os eixos das rodas;
- Aeronaves pesadas: distância de 34 polegadas (0,86m) entre os eixos das rodas.

- Eixo tandem duplo (dual tandem gear aircraft)

- Aeronaves leves: espaço entre duas rodas de 20 polegadas (0,51m) e entre tandem de 45 polegadas (1,14m);
- Aeronaves pesadas: espaço entre duas rodas de 30 polegadas (0,76m) e entre tandem de 55 polegadas (1,40m).

- Aeronaves especiais (wide body aircraft)

- Tipo B-747, DC-10, L-1011.

Pressão dos Pneus

A pressão dos pneus aplicada nos pavimentos varia conforme a configuração do trem de aterragem, o peso bruto e o tamanho do pneu utilizado. Tem influência significativamente maior sobre as camadas da superfície do que no subleito. No caso de pavimentos flexíveis construídos com elevada estabilidade, a pressão dos pneus pode chegar até 254 psi (1,75 mPa), sem causar danos. Em pavimentos rígidos, a pressão dos pneus não tem efeito considerável no dimensionamento (FAA, 2016b).

Volume de Tráfego

Para o dimensionamento dos pavimentos aeroportuários é necessária a realização de previsões de saídas anuais para cada tipo de aeronave que utilizará a pista. Essas informações se encontram disponíveis nos planos principais de operação do aeródromo ou aeroporto, nas previsões da área terminal, no plano nacional de sistema de aeroportos, nas estatísticas da atividade aeroportuária e na atividade de tráfego aéreo (IGUAL, 2011).

Em geral, os pavimentos devem ser projetados para acomodar o uso regular das aeronaves, sendo o uso regular definido como pelo menos 250 partidas anuais (500 operações). No entanto, alguns casos sazonais ou operações de aeronaves não previstas podem ter impacto significativo na estrutura de pavimento necessária. Torna-se aconselhável realizar uma análise de sensibilidade, comparando a estrutura necessária para acomodar todos os aviões da frota com a estrutura necessária para todos os planos que têm pelo menos 250 partidas anuais (FAA, 2016b).

Determinação da Aeronave de Projeto

Para a escolha da aeronave de projeto, deve-se levar em consideração a previsão de saídas anuais para cada tipo de aeronave, analisando a situação que requer a maior espessura de pavimento, conforme a utilização da aeronave. O tipo de aeronave que determine a espessura maior de pavimento é a aeronave de cálculo, entretanto, esta não é necessariamente a mais pesada (IGUAL, 2011).

$$PMD \times n^{\circ} \text{ de partidas} \times \text{tipo de trem de aterragem} \quad (2.1)$$

onde:

PMD — peso máximo de descolagem.

Determinação do número equivalente de descolagens na aeronave de projeto

Segundo Merighi e Fortes (s/d), a previsão do tráfego que opera em uma pista é realizada por meio de diferentes aeronaves, com diferentes trens de aterragem e diferentes pesos. Para calcular os efeitos de todo o tráfego, é necessário converter todas as aeronaves para o mesmo tipo de trem de aterragem da aeronave de projeto. Sendo assim, multiplica-se o número de partidas pelo fator de conversão a seguir:

Tabela 2.6 – Fatores de conversão de trem de aterragem (Adaptação Igual, 2011)

Geometria do trem de aterragem		Fator de conversão
De:	Para:	
Roda simples	Dois rodados duplos	0,5
Rodado duplo	Dois rodados duplos	0,6
Quatro rodados duplos	Dois rodados duplos	1,0
Roda simples	Rodado duplo	0,8
Dois rodados duplos	Rodado duplo	1,7
Dois rodados duplos	Roda simples	2,0
Rodado duplo	Roda simples	1,3
Quatro rodados duplos	Rodado duplo	1,7

Em seguida, é necessário calcular o número de descolagens anuais da aeronave de projeto, que é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Log } R_1 = (\text{log } R_2) \times \sqrt{W_2/W_1} \quad (2.2)$$

onde:

R_1 — Número equivalente anual de operações da aeronave de projeto;

R_2 — Número de operações da aeronave em questão;

W_1 —Carga na roda da aeronave de projeto;

W_2 —Carga na roda da aeronave em questão.

2.4 ADERÊNCIA DE PISTAS DE AEROPORTOS

De todas as operações de movimento das aeronaves, deve-se dar prioridade a aterragem e descolagem quanto à segurança, uma vez que são nessas operações que ocorrem o maior número de acidentes ou incidentes. Estatísticas da Boeing (2014) mostram que, dos acidentes fatais envolvendo operações de aeronaves comerciais a jato, entre 1959 e 2013, cerca de 23% ocorreram na aterragem (OLIVEIRA; ALMEIDA; RAMOS, 2016).

Para a avaliação da segurança em pistas, é necessário analisar vários fatores que podem influenciar o desempenho, dentre eles está a sinalização, o comportamento humano e aspetos do próprio pavimento. Deste último, deverá ser analisado a geometria, a irregularidade superficial e a aderência pneu-pavimento, principalmente em dias de chuva, que envolve a quantificação da resistência à derrapagem. Os fatores que mais colaboram para a aderência pneu pavimento são: a textura superficial da pista e as características dos pneus (BERNUCCI et al. 2008).

Por meio da aderência pneu-pavimento objetiva-se garantir a segurança à derrapagem, sendo que a macrotextura e o coeficiente de atrito são os principais parâmetros mensurados pelos operadores de aeródromos, sendo regulados e fiscalizados pelas autoridades aeronáuticas. Esses parâmetros, juntamente com a irregularidade longitudinal, favorecem a segurança das operações de aterragem e descolagem, devido a melhoria da resistência à derrapagem, do controle direcional e do conforto ao rolamento (OLIVEIRA; ALMEIDA; RAMOS, 2016)

Duarte (2011) apresenta as definições de resistência à derrapagem e atrito, como sendo:

- Resistência à derrapagem: capacidade que um pavimento apresenta para mobilizar atrito, quando está em contato com um pneu, sobre determinadas condições. A sua obtenção permite a avaliação de um pavimento, mediante a utilização de equipamentos padronizados. Permite que um veículo seja capaz de acelerar, travar ou mudar de direção.
- Atrito: resistência ao movimento gerado no contato entre duas superfícies, podendo ser expresso por um coeficiente, que é a relação entre uma força paralela aplicada na superfície, oposta ao movimento realizado, e uma força normal a essa superfície. Em termos de medição, o

coeficiente de atrito pode ser medido longitudinalmente (CAL) ou transversalmente (CAT). Os coeficientes de atrito são apresentados na Figura 2.7.

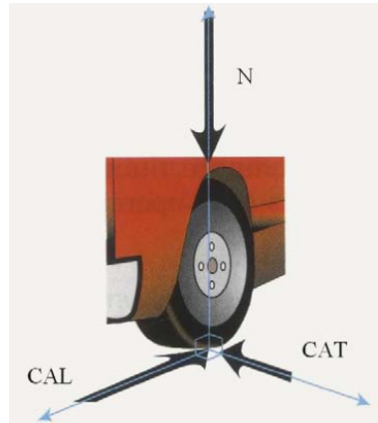


Figura 2.7 – Coeficiente de atrito longitudinal e transversal (Duarte, 2011)

O CAL está relacionado com a distância necessária para que o veículo seja imobilizado e é de interesse no estudo de infraestruturas aeroportuárias. O CAT tem influência na segurança durante a circulação em curvas horizontais (DUARTE, 2011).

A superfície de uma pista de aterragem e decolagem pavimentada deve ser mantida em condição capaz de fornecer boas características de atrito e conforto ao rolamento. Água, neve, óleos e outras impurezas, que são consideradas contaminantes, devem ser removidas o mais rápido possível para minimizar seu acúmulo (ICAO, 2004).

2.4.1 Aderência pneu/pavimento

Nas operações com aeronaves no solo (como o taxiamento, aterragem ou decolagem), todas as forças, desprezando-se as gravitações ou aerodinâmicas, são aplicadas através das rodas em contato com o pavimento. As forças de atrito resultantes da interação entre o pneu e a pista são os principais contribuintes para a frenagem de uma aeronave, após a aterragem ou para suspender uma decolagem. Apesar de contribuir para a eficiência da parada da aeronave, a reversão dos motores é considerada como complemento à operação (LUGÃO, 2008)

Devido a sua importância para a frenagem eficaz de uma aeronave, é essencial entender os fatores que influenciam a interação entre pneu e pavimento, para que se atenda objetivos de desempenho, qualidade de rolamento e dirigibilidade das aeronaves durante as operações no solo, tanto para operações em situação de pistas secas ou molhadas.

2.4.1.1 Interação entre pneu e pista seca

Tratando-se de pistas secas, não existem grandes problemas de frenagem dos pneus. Nesse subitem serão apresentados os conceitos relativos à resistência ao rolamento e ao atrito, devido ao deslizamento, essenciais para entender a interação entre pneu e pavimento em condições de pista seca.

Resistência ao rolamento

Quando submetidos a uma força vertical, os pneus aeronáuticos estáticos deformam-se conforme a Figura 2.8. As pressões que se formam na área de contato são distribuídas de tal forma que a resultante é uma força vertical que passa pelo centro da roda.

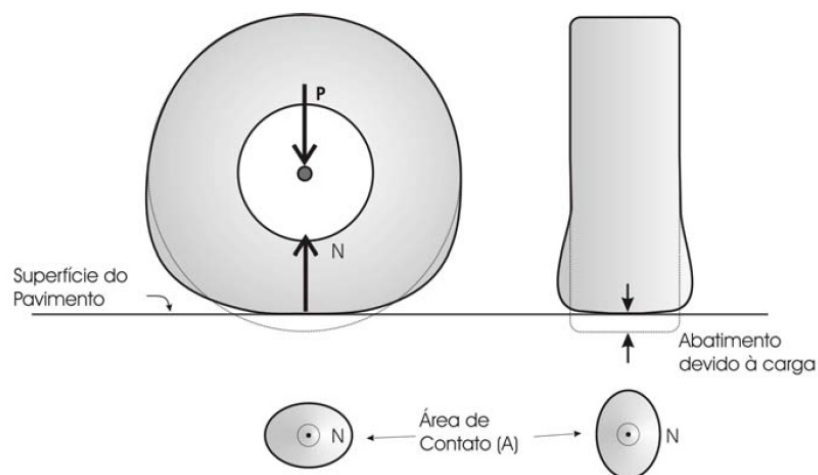


Figura 2.8 – Esquema do carregamento de um pneu estático (Rodrigues Filho, 2006)

Lugão (2008) afirma que, em consequência da deflexão dos pneus, também existem forças horizontais locais, no entanto, como o pneu é estático, a resultante horizontal é zero. Apesar de diversos autores relatarem que as tensões normais que se desenvolvem na área de contato do pneu com o pavimento não se distribuem uniformemente, consideram-se valores médios, tornando possível escrever a equação a seguir:

$$P = p \times A \quad (2.3)$$

onde:

P — Carga da roda;

p — Pressão do pneu;

A — Área de contato.

Segundo Rodrigues Filho (2006), a resistência ao rolamento de um pneu é promovida, especialmente, pela ação da histerese, devido ao material do qual é constituído, pois apresenta comportamento viscoelástico.

O fenômeno da histerese consiste na deformação mecânica do pneu quando está em contato com uma superfície não regular, devido à macrotextura, e contribui para uma maior resistência à derrapagem, especialmente em altas velocidades e com o pavimento molhado (DUARTE, 2011).

Devido às propriedades viscoelásticas da borracha, quando os pneus estão girando, a distribuição de pressões na área de contato muda. Nessa situação, a força vertical N se move para frente, em relação a situação anterior - na qual ficava posicionada no centro da roda - opondo-se à rotação. Se a rotação é mantida em consequência da ação de uma força de tração no eixo da roda, uma força horizontal equivalente é formada na área de contato, mas em sentido contrário, conforme a Figura 2.9 (LUGÃO, 2008).

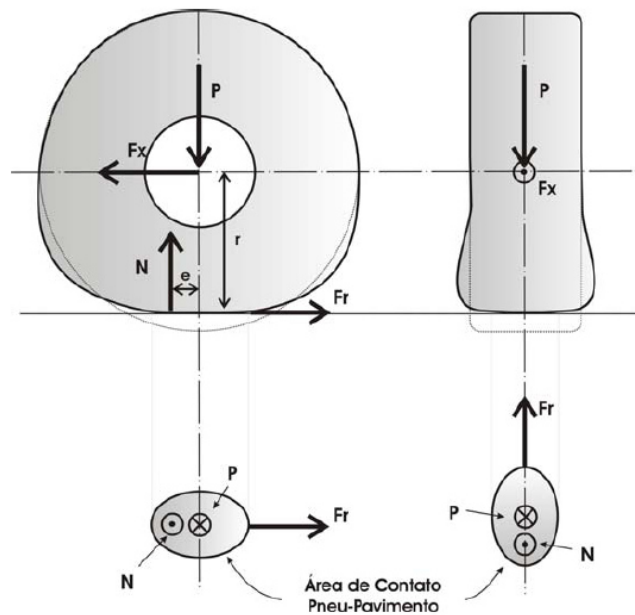


Figura 2.9 – Esquema de força de um pneu em rolamento (Rodrigues Filho, 2006)

De acordo com Rodrigues Filho (2006), a força em sentido contrário ao do movimento, originada pela deformação da banda de rodagem, é denominada resistência ao rolamento da roda e seu valor pode ser calculado por:

$$F_R = N \times \frac{e}{r} \tag{2.4}$$

onde:

F_R — Resistência ao rolamento;

N — Força normal;

e — Distância horizontal entre o eixo da roda e o centro de pressão da área de contato;

r — Raio do pneu carregado.

Em consequência da rotação da roda, tanto a distância horizontal entre o eixo da roda e o centro de pressão da área de contato, quanto o raio do pneu carregado, aumentam levemente de tamanho, conforme a velocidade. Na prática, a resistência ao rolamento inclui contribuições, devido ao atrito interno do eixo da roda, à resistência ao avanço e à deflexão do pavimento (LUGÃO, 2008).

Dessa forma, pode-se determinar o coeficiente de atrito e o coeficiente de atrito ao rolamento com as seguintes equações:

$$\mu_R = \frac{F}{N} \quad (2.5)$$

onde:

μ_R — Coeficiente de atrito;

F — Força de atrito.

Pode-se também escrever:

$$\mu_R = \frac{e}{r} \quad (2.6)$$

Rodrigues Filho (2006) indica que a resistência ao rolamento de um pneu é influenciada por diversos fatores, tanto da estrutura do pneu (construção e materiais), quanto relativo às condições de operação (pressão de enchimento, velocidade, temperatura e superfície de rolamento).

Adesão

A adesão refere-se apenas às superfícies de contato, ou seja, banda de rodagem e pavimento, surgindo dos vínculos intermoleculares entre as duas superfícies. A adesão é componente primordial do atrito em pistas secas, porém, quando essas superfícies se encontram separadas por um contaminante, este sofre redução substancial (LUGÃO, 2008).

Rodrigues Filho (2006) explica que, para determinada textura e velocidade de deslizamento, a perda de energia cinética por adesão somente depende do número de ligações moleculares simultâneas. Em outras palavras, as perdas dependem unicamente das dimensões da área de contato e independem da força normal.

O atrito por adesão provém: da natureza e da atração dos materiais em contato, da condição seca da superfície e da área de real contato. As perdas por adesão estão relacionadas com a microtextura do pavimento e pertencem a microcaracterística do atrito (LUGÃO, 2008).

Histerese

A perda de energia por histerese acontece quando a borracha se deforma, propiciando o deslizamento da banda de rodagem sobre as irregularidades do pavimento. A presença da água não afeta demasiadamente o atrito por histerese, dessa forma, os pneus aeroportuários fabricados com borracha de alto valor de histerese possuem valores melhores de adesão nos pavimentos com a presença de água (LUGÃO, 2008).

A componente do coeficiente de atrito devido à histerese aumenta conforme a velocidade de deslizamento e seu valor máximo ocorre quando a temperatura aumenta, decorrente das maiores velocidades (RODRIGUES FILHO, 2006).

A textura superficial da pista afeta o processo que produz perdas por histerese, que ocorre em toda banda de rodagem. Com relação ao processo que produz perdas por adesão, a histerese envolve um volume maior da banda de rodagem. Se porventura a pista não apresentar macrotextura, torna-se impossível a ocorrência de perdas por histerese no deslizamento, sendo que essas perdas estão intimamente relacionadas com a macrotextura do pavimento, pertencendo como macrocaracterística do atrito (LUGÃO, 2008).

2.4.1.2 Interação entre pneu e pavimento em pista molhada

A interação entre o pneu e o pavimento da pista é significativamente afetada pela presença da água. A película de água existente entre as superfícies não pode ser totalmente afastada para fora da área de contato, ocasionando diminuição no atrito, quando comparado a pista seca (LUGÃO, 2008).

Rodrigues Filho (2006) apresenta o desempenho dos pneus em uma pista molhada como dependente dos seguintes fatores:

- Pressão de enchimento;
- Textura da superfície do pavimento;
- Profundidade da lâmina d'água;
- Material, padrão e profundidade das ranhuras da banda de rodagem do pneu;

- Tipo de pneu (diagonal ou radial);
- Carga de roda;
- Velocidade de deslocamento;
- Área de contato;
- Ação no eixo da roda (roda livre, roda freada, roda em tração ou, ainda, roda em curva).

O ICAO (2004) recomenda que, na presença de água em uma pista de aterragem e descolagem, deverá ser realizado uma descrição das condições da pista, na metade da largura central, incluindo a possível medição da profundidade da lâmina d'água, quando aplicável, utilizando-se os seguintes termos:

- Húmida – superfície demonstra uma mudança na coloração devido à presença de humidade;
- Molhada – a superfície está encharcada, mas não há água parada;
- Poças d'água – poças significativas de água são visíveis;
- Alagada – pode-se ver muita água na pista.

A Figura 2.10 apresenta uma pista de aterragem e descolagem molhada e com lâmina de água, sendo possível observar o reflexo da aeronave.



Figura 2.10 – Pista molhada e com lâmina de água na superfície (Latersolo, 2010)

A superfície de uma pista de aterragem e descolagem pavimentada deve ser mantida em uma condição capaz de fornecer boas características de atrito e resistência ao rolamento adequada. Materiais como água parada, lama, poeira, areia, óleo, emborrachamento e outras impurezas devem ser removidos o mais rápido possível para minimizar seu acúmulo (ICAO, 2004).

Atrito em pista molhada

Com relação a pistas de aterragem e descolagem secas, o atrito devido à adesão de uma pista molhada é substancialmente inferior, em decorrência da lâmina de água que permanece na área de contato do pneu. A fim de se obter o atrito necessário para a frenagem de uma aeronave, é fundamental que se rompa ou se desloque a lâmina da água (LUGÃO, 2008).

O ICAO (2004) apresenta uma série de recomendações para pistas de aterragem e descolagem, quanto ao atrito, em situação que houver presença de água. A superfície de uma pista pavimentada deve ser executada de modo a oferecer condições de atrito, quando sua superfície estiver molhada.

Medições de atrito devem ser realizadas, de acordo com ICAO (2004), em pistas de aterragem e descolagem nos seguintes casos:

- Para verificação das características de atrito de pistas de aterragem e descolagem molhadas, quando estas forem recém-pavimentadas ou, ainda, recapeadas;
- Para avaliação periódica do nível de resistência à derrapagem de pistas de aterragem e descolagem com superfície molhada;
- Para determinação do efeito sobre o atrito, quando as características de drenagem forem precárias;
- Para determinação do atrito de pistas de aterragem e descolagem que se tornarem escorregadias sob condições não usuais.

As medições das características de atrito de uma pista nova ou recapeada devem ser realizadas com um aparelho de medição de atrito contínuo, utilizando funções de alto humedecimento, de modo a garantir que os objetivos do projeto, com relação às suas características de atrito, tenham sido atendidos (ICAO, 2004).

Conforme o aumento da velocidade, o tempo de contato entre banda de rodagem e o pavimento diminui, reduzindo, simultaneamente, o tempo disponível para a expulsão da água. Dessa forma, o atrito em situações de pistas molhadas diminui com o aumento da velocidade e é proporcional à área de contato. Mesmo quando o contato direto ocorra em áreas muito pequenas, o atrito é equivalente à somatória dessas pequenas áreas (RODRIGUES FILHO, 2006).

Hidroplanagem

O fenômeno de hidroplanagem ocorre com a presença de uma lamina d'água sobre o pavimento de uma pista de aterragem e descolagem, promovendo a perda de contato entre o pneu e o pavimento, o que se dá quando a lamina d'água é superior a 3 mm (espessura crítica de hidroplanagem) (PALMA; PRADO, 2011).

Neste cenário, a força de atrito é praticamente nula, segundo Rodrigues Filho (2006), tornando-se insuficiente para manter a roda girando. Em decorrência, a ação das rodas no controle direcional e a frenagem tornam-se ineficazes. Os fatores que mais influenciam o fenômeno da hidroplanagem são: pneu, fluido contaminante (água), pavimento e aeronave. Este último fator abrange as características próprias da aeronave e suas condições de operações, como a carga e velocidade, enquanto os três primeiros abrangem os principais componentes da interface pneu-pavimento.

Nessa seção serão descritos os três tipos de hidroplanagem:

Hidroplanagem viscosa:

Ocorre em velocidades relativamente baixas, em consequência do efeito de viscosidade da água, que se opõe à sua expulsão da área de contato entre pneu e pavimento. Esse fenômeno é favorecido em superfícies mais lisas, condição mais frequente nas regiões impregnadas por borracha oriunda do desgaste dos pneus das aeronaves (RODRIGUES FILHO, 2006).

Hidroplanagem dinâmica:

Ocorre quando, durante o deslocamento de aeronaves por uma pista coberta de água, ocorre o deslocamento desta água pelo pneu, de maneira que a roda possa avançar e que se estabeleça contato entre o pneu e a pista, fazendo com que seja formada uma onda, com pressão correspondente ao impulso transmitido pelo pneu à água, gerando o choque do pneu contra essa onda. Esta pressão deforma o pneu, de forma que as porções de água subsequentes são capazes de penetrar na área de contato entre o pneu e o pavimento. Acima da espessura crítica de película d'água e da velocidade de hidroplanagem, a água ocupa completamente a área de contato, promovendo a ocorrência da hidroplanagem dinâmica completa, não havendo perdas de energia cinética por adesão, mas somente por histerese (RODRIGUES FILHO, 2006).

Hidroplanagem por desvulcanização:

Ocorre quando a borracha do pneu se deforma localmente pela inexistência de rotação. A área de contato superaquece em razão das propriedades viscoelásticas da borracha. Caso a duração desse processo seja longa, existe a possibilidade de ocorrer perdas da qualidade elástica da borracha, tornando-as plásticas. Quando esse processo ocorre, as perdas de energia cinética por histerese desaparecem (RODRIGUES FILHO, 2006).

Hidroplanagem combinada:

Segundo Rodrigues Filho (2006), é extremamente raro a ocorrência de hidroplanagem totalmente viscosa ou dinâmica, uma vez que normalmente essas duas ocorrem simultaneamente.

Texturas superficiais de um pavimento que atuam na aderência pneu/pavimento

A principal forma de se caracterizar a superfície de um pavimento é por meio da avaliação da textura, que seria o conjunto de características associadas à capacidade do pavimento de atender a demanda do tráfego de maneira segura, suave, confortável e econômica (RODRIGUES FILHO, 2006).

A textura do revestimento do pavimento é considerada um parâmetro que descreve o comportamento da superfície, no que se refere à aderência. Existe correlação entre a textura do revestimento e os índices de derrapagem, devido a atuação da textura no atrito a altas velocidades e em pistas molhadas (LUGÃO, 2008).

A textura superficial é descrita por Fernandes (2010) como fator determinante para a qualidade funcional do pavimento, quanto a: (i) desenvolvimento de atrito no contato pneu-pavimento em pista molhada; (ii) resistência ao movimento (interferindo no consumo de combustível); (iii) desgaste dos pneus com micro deslizamento da borracha no contato pneu-pavimento; (iv) vibrações sentidas no interior dos veículos; e (v) ruído resultante da interação pneu-pavimento.

As características da superfície do pavimento relacionadas ao atrito são classificadas em quatro categorias singulares de textura, em função do seu comprimento, onda e amplitude, conforme Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Classificação da textura (Adaptado de ASTM E-867, 1997 apud APS, 2006)

Domínio	Horizontal	Vertical
Microtextura	0 – 0,5 mm	0 – 0,2 mm
Macrotextura	0,5 mm – 50 mm	0,2mm – 10 mm
Megatextura	50 mm – 500 mm	1mm – 50 mm
Irregularidade	0,5 m – 50 m	1mm – 20 cm

Ao discutir os efeitos da textura do pavimento em seu atrito e na possibilidade de ocorrência de hidroplanagem, as duas características de textura que mais tem influência são: microtextura e macrotextura (FAA, 2016b).

A resistência à derrapagem está intimamente associada à segurança dos utentes, visto que a resistência à derrapagem adequada de um revestimento betuminoso é função de dois fatores principais: o tipo de agregado (microtextura) e a textura da superfície do revestimento (macrotextura) (NEVES FILHO, 2004).

A ausência da resistência à derrapagem é um problema crítico de segurança em pavimentos aeroportuário. Desse modo, a textura da pista deve ser avaliada com regularidade e em condições de clima adversas (OLIVEIRA; ALMEIDA; RAMOS, 2016).

Microtextura é o fator predominante que influencia o atrito em pavimentos secos. No entanto, também tem benefícios durante condições de chuva. Os pequenos desvios nas superfícies do pavimento (microtextura) agem para penetrar os pequenos filmes de água, criando maior contato entre o pneu e a superfície do pavimento. Microtextura é caracterizada como lisa a rugosa.

Uma microtextura adequada é obtida através da seleção do tipo de agregado mineral adequado, que apresenta angularidade suficiente, resistência e textura superficial desejada (KING; HARVEY; COOK, 2007).

Segundo Rodrigues Filho (2006), a natureza petrográfica e química dos agregados também tem influência na microtextura e em sua resistência ao polimento, que é provocado pelo contato com os pneus. Os granitos e quartzitos resistem bem à ação do tráfego, em razão de serem rochas duras, conservando a angularidade, os cantos vivos e a microtextura.

Para avaliação da microtextura, pode-se utilizar equipamentos como Pendulo Britânico, que seguem as especificações do método ASTM E 303-93. Os resultados desses ensaios são expressos em BPN (*British Pendulum Number*) e medem o atrito entre a base da borracha e o pavimento (SILVA, P., 2005).

Tabela 2.8 – Valores limites de microtextura (Adaptado de ABPv, 2009)

Resistência à derrapagem (Classificação da microtextura)	BPN	
	Mínimo	Máximo
Perigosa	< 25	
Muito Lisa	25	31
Lisa	32	39
Insuficientemente rugosa	40	46
Medianamente rugosa	47	54
Rugosa	55	75
Muito rugosa	> 75	

A macrotextura é função do tamanho do agregado, da faixa granulométrica empregada na mistura betuminosa, da configuração geométrica do agregado e pelos vazios da mistura, podendo ser fechada ou aberta (LUGÃO, 2008).

Macrotextura adequada fornece canais para a água escorrer para fora da superfície do pavimento. Esta drenagem superficial ajuda a evitar formação de películas de água que se acumulem entre o pneu e a superfície do pavimento, evitando a hidroplanagem (KING; HARVEY; COOK, 2007).

A componente da histerese na resistência à derrapagem é a mais influenciada pela macrotextura da superfície do pavimento. Um benefício adicional de aumento da macrotextura, com respeito a resistência à derrapagem, é que a macrotextura contribui para a retirada da água superficial.

Em razão da importância da macrotextura na drenagem ativa da água na superfície dos pavimentos aeroportuários, é necessário que se conserve as pistas de aterragem e descolagem com relação à impregnação de contaminantes (OLIVEIRA; ALMEIDA; RAMOS, 2016).

Segundo Bezerra Filho e Oliveira (s/d), a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) classifica a macrotextura de acordo com a profundidade média de areia (HS), medida pelo ensaio de mancha de areia, realizado conforme a ASTM E 965 - 01, de acordo com a Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Classificação da macrotextura (Adaptado de Pasquet, 1968)

HS (mm)	Macrotextura
$\leq 0,20$	Muito fechada
$0,20 < HS \leq 0,40$	Fechada
$0,40 < HS \leq 0,80$	Média
$0,80 < HS \leq 1,20$	Aberta
$HS > 1,20$	Muito aberta

A macrotextura torna-se mais importante a medida que aumentam a velocidade das aeronaves e a espessura da lâmina d'água. Sendo assim, a microtextura fornece propriedades de atrito para as aeronaves que operam a baixas velocidades e a macrotextura fornece propriedades de atrito para as aeronaves que operam em altas velocidades. Juntas, elas fornecem propriedades de atrito adequado para as aeronaves ao longo da variação de velocidade nas operações de aterragem e descolagem (FAA, 2016b).

Por oferecer atrito nas operações de baixas velocidades, a microtextura é fundamental no taxiamento das aeronaves após a aterragem. A macrotextura, por sua vez, proporciona, maior drenagem da água presente na superfície das pistas de aterragem e descolagem (OLIVEIRA; ALMEIDA; RAMOS, 2016).

A aparência da textura, no entanto, pode ser enganadora. Uma superfície áspera, que aparentemente poderia fornecer canais de drenagem adequados para a água, pode conter agregados miúdos constituído de grãos minerais polidos, transformando a superfície do pavimento escorregadia, quando molhada (FAA, 2016b).

Dessa forma, microtextura e macrotextura são as categorias de textura superficial mais importantes no que diz respeito às propriedades de atrito.

Técnicas utilizadas para aumento da macrotextura dos revestimentos de pista de aterragem e descolagem

Com o propósito de garantir as características de superfícies, a norma do FAA, vigente à época da execução da CPA, que é objeto de estudo desse trabalho, era a AC 150/5320-12C (FAA, 1997). Nessa estão publicadas diretrizes e procedimentos para a concepção e construção de pavimentos resistentes à derrapagem.

O *grooving* é recomendado pela referida norma (FAA, 1997) como a primeira opção para atingir características das superfícies de pavimento mais seguras nas operações de aeronaves em condições de chuva. Na prática, consiste em ranhuras transversais à pista, com largura e profundidade de 6 milímetros por 6 milímetros e distância de centro de sulco a centro de sulco de 38 milímetros. Esse mecanismo permite que a água da chuva escape de baixo dos pneus das aeronaves e está representado na Figura 2.11.

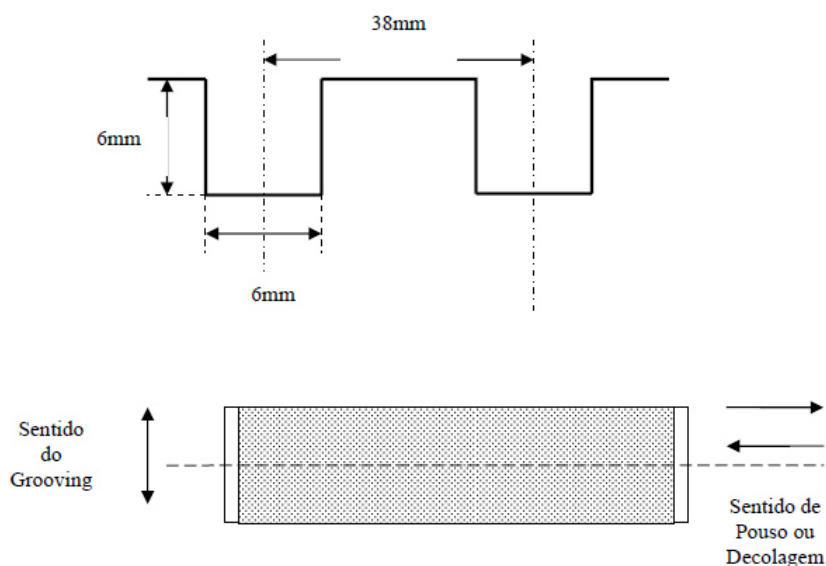


Figura 2.11 – Características geométricas do *grooving* (Peres, Silva e Merighi, 2006)

A FAA (1997) propõe outra solução além do *grooving*. A última camada do pavimento (revestimento) pode ser construída de uma mistura betuminosa denominada na língua inglesa de *Porous Friction Course* (PFC), que pode ser traduzida para o português como Camada Porosa de Atrito (CPA). Essa mistura betuminosa possui graduação aberta e, dessa forma, permite que água da chuva entre nos espaços vazios da camada e evite o acúmulo da mesma na superfície do pavimento.

3 MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO CAMADA POROSA DE ATRITO

3.1 MISTURAS BETUMINOSAS UTILIZADAS EM PISTAS DE ATERRAGEM E DESCOLAGEM

Segundo Fernandes (2010) os pavimentos rígidos e flexíveis comportam-se de forma diferente às solicitações impostas pelo tráfego e variações climáticas de acordo com os materiais usados na sua estrutura. A escolha do tipo de pavimento está em função de questões econômicas e de ordem técnica. O habitual, ao nível de projeto, é a utilização de pavimentos flexíveis nas pistas e caminhos de circulação, por apresentarem boas características de atrito, regularidade e conforto. Ao mesmo tempo, os pavimentos rígidos são mais utilizados nas áreas de estacionamento de aeronaves, hangares e cabeceira, por apresentarem maior resistência química aos combustíveis, óleos e lubrificantes.

A AC 150/5320-6F (FAA, 2016b) apresenta a estrutura típica dos pavimentos rígido e flexível, bem como as constituições dessas camadas, como na Figura 3.1.

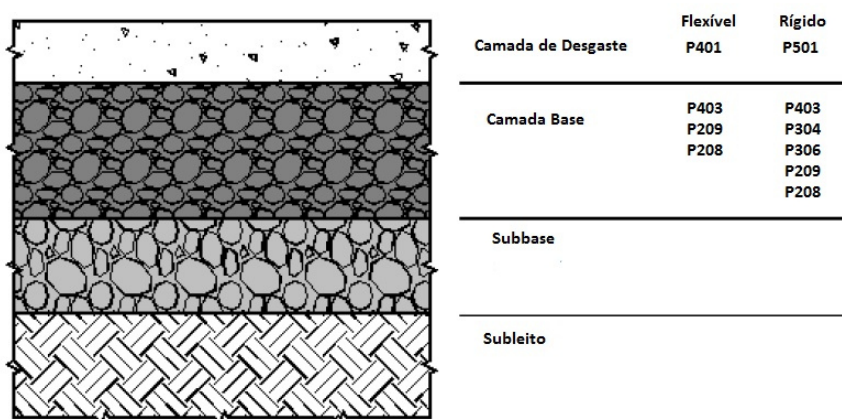


Figura 3.1 – Estrutura típica dos pavimentos aeroportuários (Adaptado de FAA, 2016b)

Onde:

P401 – Mistura betuminosa a quente

P501 – Betão de cimento Portland

P403 – Mistura betuminosa a quente

P209 - Base de agregado britado

P208 – Base de agregado

P304 – Camada base tratada com cimento

P306 – Fina camada base de betão

Tipos de ligantes betuminosos

O Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias (2009) na disposição normativa sobre construção e reabilitação de pavimentos, apresenta a seguinte descrição quanto aos ligantes betuminoso utilizados em misturas produzidas a quente e betumes especiais:

- Betumes de pavimentação

Corresponde ao betume utilizado para envolver o agregado mineral na fabricação de misturas betuminosas tradicionais, utilizadas na construção e conservação de pavimentos e trabalhos hidráulicos. São empregues principalmente em misturas betuminosas a quente e são aplicados nas camadas de base, de ligação, de regularização, de desgaste e ainda servem para a fabricação dos ligantes betuminosos restantes.

- Betumes duros

Os betumes duros são utilizados na fabricação de misturas betuminosas de alto módulo, principalmente usados na construção e conservação de pavimentos. São fabricadas a quente, para aplicação em camadas de base, de ligação e de regularização, com exceção das utilizadas em camadas de desgaste.

- Betumes modificados com polímeros e betumes-borracha

Betumes modificados são os ligantes betuminosos cujas propriedades reológicas foram modificadas durante a fabricação ou através da utilização agentes químicos. No caso dos betumes modificados com polímeros, o modificador utilizado corresponde aos polímeros orgânicos, enquanto o betume-borracha corresponde a uma modificação devida a incorporação de granulado de borracha, produzido a partir de borracha reciclada de pneus usados de camião. Esses tipos de betume são empregados na fabricação do betão betuminoso drenante, do betão betuminoso rugoso, do microbetão betuminoso rugoso, ou em outras misturas betuminosas delgadas ou abertas, para camadas de desgaste. Também podem ser utilizados na fabricação de mástiques betuminosos, em revestimentos superficiais, ou empregues nas misturas betuminosas que constituem interfaces ou membranas anti-fissura ou na regularização dos tabuleiros de viadutos e pontes.

- Betumes especiais anti-querosene

Os betumes especiais anti-querosene são concebidos para resistir aos ataques dos óleos e combustíveis. Foram especialmente desenvolvidos para a utilização em infraestruturas aeroportuárias, e também podem ser empregadas em áreas de estacionamento ou de aproximação de praças de portagem das auto-estradas. Além da maior resistência ao derrame de combustíveis, os betumes especiais anti-querosene conferem à mistura maior resistência às deformações permanentes, menor suscetibilidade térmica e permite melhorar a adesividade agregado/betume e uma maior flexibilidade da mistura betuminosa, resistindo melhor à fadiga.

3.2 INTRODUÇÃO A MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO CAMADA POROSA DE ATRITO

O uso das misturas betuminosas com granulometrias abertas, representada na Figura 3.2, se mostram eficientes principalmente tratando-se de drenagem superficial nas pistas, atuando no rápido escoamento da água, reduzindo o potencial de ocorrência de hidroplanagem dos veículos e aeronaves (LUGÃO, 2008).

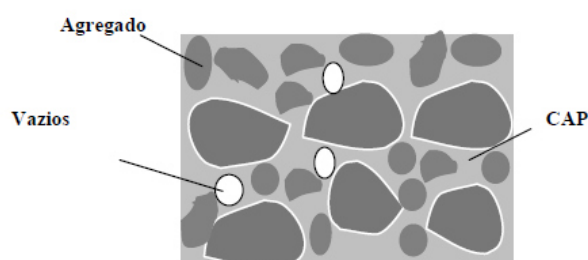


Figura 3.2 – Representação da CPA (Peres, Silva e Merighi, 2006)

Para Bernucci et al. (2008) a camada porosa de atrito é um revestimento que proporciona a retirada da água de chuva acumulada na superfície de um pavimento, sua permeabilidade se dá pela sua rápida percolação devida ao elevado volume de vazios, sendo utilizada a fim de aumentar a aderência pneu-pavimento.

De acordo com a norma DNER ES 386/99 (DNER,1999) este tipo de mistura betuminosa corresponde a um pré-misturado produzido a quente com betume modificado com polímero. Esse revestimento é constituído de agregado, filler (material de enchimento) e ligante betuminoso modificado por polímero do tipo SBS (Estireno-Butadieno-Estireno).

Ainda segundo DNER (1999) o volume de vazios deve estar entre 18 a 25%, que é assegurado pela pequena quantidade de filler, agregado miúdo e de ligante betuminoso. Essa camada é executada sobre

uma camada de mistura densa e estrutural de deve ser impermeável, garantindo que a água não entre no interior da estrutura do pavimento.

3.3 ESPECIFICAÇÕES DA MISTURA

Na época execução da obra do aeroporto de Catoca, a especificação vigente do FAA para misturas betuminosas utilizadas em revestimentos de pistas de aterragem e descolagem era a circular 150/5370-10F (*Standards For Specifying Construction of Airports*), que fornece os padrões para construção de aeroportos. O item P-402 *Porous Friction Course*, apresentava as especificações das misturas betuminosas do tipo CPA.

O FAA (2011) recomenda que a mistura do tipo CPA deve ser executada como uma superfície de livre drenagem, com espessura uniforme. Esse tipo de mistura betuminosa não deve ser aplicado por cima de uma CPA previamente existente.

A seguir são descritas as exigências referentes aos materiais a serem empregados em misturas betuminosas do tipo CPA, de acordo com a AC 150/5370-10F (*Standards For Specifying Construction of Airports*) e a norma DNER ES 386/99.

3.3.1 Materiais granulares

Os agregados a serem empregados devem ser do tipo britados, composto por partículas sólidas, limpas, resistentes e duráveis, livres de materiais de argilosos, matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais.

A porção do material retida na peneira Nº 4 deve ser classificada como agregado graúdo, a porção que passa na peneira de Nº 4, porém é retida na de Nº 200 como agregado miúdo e a porção que passar pela peneira de Nº 200 será classificada como material de enchimento ou filler mineral.

A fração graúda do agregado deve conter ao menos 75%, em peso, de agregados britados, com duas ou mais faces fraturadas e 100% com uma ou mais faces fraturadas. A área de cada face deve ser igual a no mínimo 75% da menor seção central da amostra. Quando duas fraturas estão adjacentes, o ângulo entre os planos de fratura devem ser de no mínimo 30°, para serem consideradas como duas faces fraturadas.

O agregado graúdo não deve apresentar mais que 8%, em peso, de fragmentos lamelares ou alongados, medidos conforme norma ASTM D 693, e o desgaste à Abrasão Los Angeles não deve ser maior que 30% quando testado em conformidade com a norma ASTM C 131. A durabilidade em sulfato de sódio não deve exceder 12% depois de cinco ciclos, quando testado de acordo com a norma ASTM C 88.

Enquanto a norma DNER ES 386/99, recomenda que o agregado graúdo seja pedra, escória ou outros materiais especificados, desde que sejam sãos, duráveis, livres de torrões de argila, substâncias nocivas e índice de forma superior à 0,5, quando determinado pelo método DNER-ME 086, além dos mesmos requisitos para desgaste à Abrasão Los Angeles e Durabilidade.

O Agregado miúdo pode ser constituído de areia, pó-de-pedra, ou mistura de ambos, sendo que suas partículas individuais devem ser resistentes, de angulosidade moderada, livre de torrões de argila e substâncias nocivas. O equivalente de areia, determinado segundo DNER-ME 054, deve ser igual ou inferior a 55% (DNER, 1999).

As especificações indicam, ainda, a possibilidade do uso de filler (material de enchimento), caso seja necessário em quantidade além daquela existente no agregado, desde que sejam atendidos os requisitos da norma ASTM D 242 ou DNER-ME 083.

A Tabela 3.1 indica as faixas granulométricas preconizadas em FAA (2011).

Tabela 3.1 – Faixas granulométricas da CPA (Adaptado de FAA, 2011)

Peneira	¾" Máximo	½" Máximo	Faixa de Projeto
Tolerância			
¾"	100	-	-
½"	70-90	100	+/- 5%
3/8"	40-65	85-95	+/- 5%
#4	15-25	30-45	+/- 5%
#8	8-15	20-30	+/- 2%
#30	5-9	9-17	+/- 2%
#200	1-5	2-7	+/- 2%
Betume	+/- 0,2%		
Temperatura da Mistura	+/- 20°C		

3.3.2 Ligantes betuminosos

Para misturas betuminosas tipo CPA deve ser utilizado ligantes betuminosos cujas características atendam às indicações da especificação apresentada na Tabela 3.2 dessa seção.

Tabela 3.2 – Requisitos para ligantes betuminosos (Adaptado de FAA, 2011)

Propriedade	ASTM	Mínimo	Máximo
Viscosidade à 140°F	D-2171	1600	2400

Viscosidade à 275°F	D-2170	325	
Ponto de Fulgor °F	D-92	450	
Ductilidade à 77°F (5 cm/min) cm	D-113	100	
Ductilidade à 39,2°F (5 cm/min) cm	D-113	50	
Fratura, polegadas-libras	D-5801	110	
Tenacidade, polegadas-libras	D-5801	75	
<i>Thin Film Oven Test</i>			
Teste em Resíduo			
Viscosidade à 140°F	D-2171	-	8000
Ductilidade à 77°F (5 cm/min) cm	D-113	100	
Ductilidade à 39,2°F (5 cm/min) cm	D-113	25	

3.3.3 Dosagem de misturas tipo CPA

A dosagem deve ser realizada pelo método Marshall prevalecendo o volume de vazios requeridos de 18 a 25%;

Para o DNER ES 386/99, a composição da mistura do CPA deve satisfazer os requisitos do Tabela 3.3, atendendo as tolerâncias no que diz respeito à granulometria e o teor do ligante betuminoso.

Tabela 3.3 – Requisitos para ligantes betuminosos (Adaptado DNER, 1999)

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso (faixas)					Tolerância na curva de projeto (%)
ABNT	Abertura (mm)	I	II	III	IV	V	
¾"	19,0	-	-	-	-	100	-
½"	12,5	100	100	100	100	70-100	± 7
3/8"	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	70-100	± 7
Nº 4	4,8	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30	± 5
Nº 10	2,0	20-40	5-20	10-18	10-22	10-22	± 5
Nº 40	0,42	20-40	-	6-12	6-13	6-13	± 5
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-	± 3
Nº 200	0,075	3-5	0-4	3-6	3-6	3-6	± 2
Ligante solúvel no tricloroetileno	4,0 – 6,0						± 0,3

Segundo Bernucci et al. (2008), o ligante a ser utilizado na mistura betuminosa deve apresentar baixa suscetibilidade térmica e alta resistência ao envelhecimento. Dessa forma, o betume modificado por polímero é utilizado para aumentar a durabilidade e reduzir a desagregação;

Dever ser adotado o Ensaio Marshall (DNER-ME 043), a fim da verificação do volume de vazios, desgaste por abrasão Los Angeles através do ensaio de Cântabro, com os valores de referência apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Ensaios para CPA (Adaptado DNER, 1999)

Características	Camada Porosa de Atrito
Percentagem de vazios	18 a 25
Desgaste à Abrasão Los Angeles – Ensaio Cantabro, % máximo	25
Resistência à tração por compressão diametral; a 25°C, kgf/cm ² , mínimo	5,5

3.4 COMPARATIVO ENTRE MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO CPA E BETÕES BETUMINOSOS CONVENCIONAIS

Segundo Lugão (2008), Bernucci et al. (2008), Virgiliis (2009), King, Harvey e Cook (2007) frente aos betões betuminosos convencionais a mistura betuminosa do tipo CPA apresenta as seguintes vantagens:

- Redução da lâmina d'água na superfície de rolamento;
- Reduções das distâncias de frenagem sob chuva;
- Melhora a resistência à derrapagem (especialmente em dias de chuva);
- Redução do Spray;
- Aumento da distância de visibilidade;
- Redução da reflexão da luz dos faróis noturnos;
- Redução do ruído do de rolamento;
- Elevada capacidade de drenagem;
- Redução do risco de hidroplanagem.

A mistura do tipo CPA ao ser empregada como camada de revestimento, promove o aumento de aderência pneu-pavimento em dias de chuva, pois é capaz de promover rápida percolação, em consequência da sua elevada permeabilidade, como apresentado na Figura 3.3.

Por causar a redução da lamina d'água na superfície do rolamento, a camada promove diminuição nas distâncias de frenagem. O aumento de visibilidade se deve a redução do spray, que resumidamente é o borrifo de água proveniente dos pneus dos veículos e também reduz o reflexo da luz dos faróis noturnos, apresentado na Figura 3.4. Todos esses aspectos atuam na redução do número de acidentes nos dias de chuva (BERNUCCI et al. 2008).

A redução do reflexo da luz dos faróis é mais aplicável aos pavimentos rodoviários, devido ao ângulo de visão no qual os motoristas visualizam a superfície do pavimento (KING; HARVEY; COOK, 2007).



Figura 3.3 - Diferença de drenabilidade entre CPA e CA convencional (Lugão, 2008)

A porosidade apresentada por esse tipo de camada de revestimento permite tanto a drenagem da água como a do ar que preenche as ranhuras do pneu, promovendo uma melhor absorção sonora, que se caracteriza pela redução da reflexão acústica do pavimento e na atenuação da propagação das ondas. Para que se garanta a eficiência desses efeitos, a porosidade deve estar em torno de 20% (FREITAS, 2008).

Existem aspectos do CPA que contribuem para prevenir a ocorrência de hidroplanagem. O primeiro corresponde à capacidade drenante, visto que não há formação de lâmina d'água para impedir o contato entre a superfície do pneu e pavimento. O segundo aspecto está relacionado à macrotextura fornecida pela superfície (KING; HARVEY; COOK, 2007).



a) Trecho em CA seguido por Trecho em CPA

b) Trecho em CPA na Bahia

Figura 3.4 – Comparação entre trechos com CA e CPA (Bernucci et al. 2008)

Ao comparar as imagens apresentadas na Figura 3.4 são notáveis as melhorias com a aplicação do CPA em relação a um betão betuminoso denso. A Figura 3.5 apresenta a comparação entre corpos-de-prova de diferentes granulométricas.



Figura 3.5 - Comparação entre corpos-de-prova de diferentes granulometrias (Bernucci et al., 2008)

O volume de vazios em um betão betuminoso produzido a quente pode variar na faixa de 3% a 5%, enquanto na camada porosa de atrito esse índice pode atingir até 25%. A CPA não possui função estrutural no pavimento, apenas é utilizada para aspeto funcional (LUGÃO, 2008).

3.5 USO DO CPA EM REVESTIMENTOS DE PISTAS DE ATERRAGEM E DESCOLAGEM

O propósito da utilização da CPA como camada de revestimento aeroportuária, é a melhora das características de aderência dos pavimentos, especialmente em dias de chuva, pois esse tipo de mistura betuminosa melhora a resistência à derrapagem em pistas molhadas por ser utilizar graduação granulométrica aberta, que resulta em uma macrotextura adequada da superfície do pavimento (KING; HARVEY; COOK, 2007).

Essa mistura betuminosa é utilizada pela sua característica drenante, com o intuito de retirar a água acumulada na superfície o mais rápido possível, diminuindo o potencial de ocorrência de hidroplanagem das aeronaves. A drenagem é realizada através de sua alta quantidade de vazios e pela interconexão desses, que permite a infiltração da água pela camada e escoar pela camada subjacente em direção a borda da pista (LUGÃO, 2008).

Limitações do uso

Apesar dos benefícios de sua aplicação como camada de revestimento, a CPA apresenta resultados divergentes. Existem relatos da ocorrência rápida de patologias como desagregação do revestimento, que resulta em potenciais objetos soltos na pista, causando insegurança nas operações em alta velocidade das aeronaves. Outra patologia relatada é a ocorrência de trincamentos nas regiões com altas velocidades ou de mudanças de direção (KING; HARVEY; COOK, 2007)

De acordo com King, Harvey e Cook (2007), Virgiliis (2009), Lefebvre (1993), Bolzan (2001), Lugão (2008) e Kandhal (2002) em consequência da elevada porosidade, a camada porosa de atrito apresenta, ainda, as seguintes limitações:

- Colmatação: redução gradativa das funções drenantes e acústicas do pavimento, ao longo de sua vida útil, devido a contaminação dos vazios, sobretudo por borracha dos pneus, ocasionando a perda de suas vantagens com relação aos revestimentos convencionais;
- Durabilidade: a oxidação e o envelhecimento por ação de agentes externos são agravados pelo maior volume de vazios, que também pode favorecer o dano pela ação da água, como o desprendimento de agregado no caso de má adesividade entre o agregado e o ligante. O processo de deterioração é combatido principalmente por aumento da espessura da película de ligante recobrando os agregados pelo uso de betume modificado por polímero;
- Custo: pela presença de betume modificado por polímero, a necessidade de agregado de qualidade superior, o maior gasto com a sinalização horizontal (penetração da tinta), e a necessidade de camada de ligação de boa qualidade, que podem chegar a dobrar o custo do revestimento drenante em relação a um revestimento convencional;

- Vida útil: o revestimento de CPA apresenta vida útil relativamente curta, a maioria das referências afirmam que a vida útil desta camada varia de 8 a 12 anos em pavimentos rodoviários, enquanto os revestimentos convencionais variam de 10 a 15 anos;
- Resistência Estrutural: o alto volume de vazios contribui para a baixa resistência estrutural da camada;
- Longas distâncias: a CPA não deve ser utilizada em projetos que incluem longas distâncias de transporte da mistura, uma vez que podem aumentar o potencial de escorrimento do betume e/ou perda de temperatura da mistura;
- Camada subjacente: esse tipo de revestimento não deve ser colocado sobre uma camada de pavimento permeável, dado que a infiltração da água pode causar danos a estrutura do pavimento.

3.6 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

Irregularidade longitudinal pode ser definida como a somatória dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico que influencia a dinâmica do veículo, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial. Para medir a irregularidade, existe um índice internacional denominado *International Roughness Index* (IRI), que consiste em um índice estático, expresso em m/km, que tem como objetivo quantificação dos desvios da superfície do pavimento em questão em relação ao projeto, sendo utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviço em alguns países (BERNUCCI et al., 2008).

As faixas de variação do IRI é apresentada na Figura 3.6, em diversas situações.

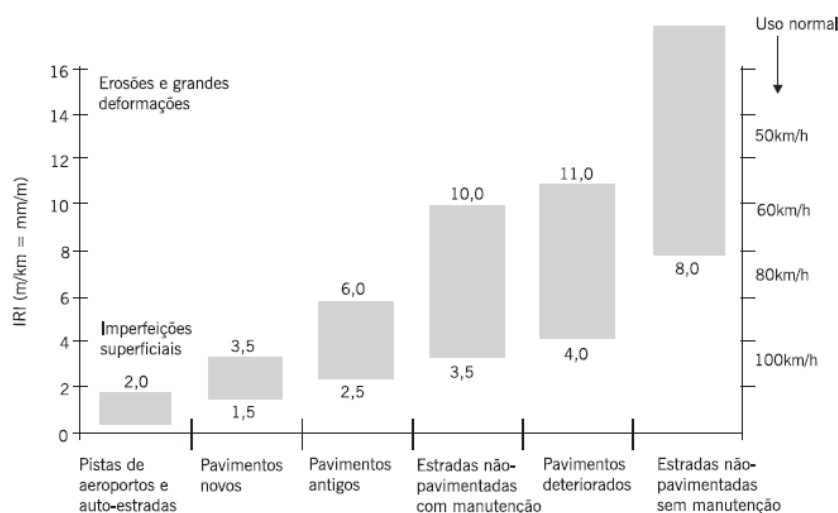


Figura 3.6 – Diversas faixas de variação do IRI (Bernucci et al., 2008)

Desta forma, a irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da via, e geralmente coincide com as regiões de trilhas de rodas. A linha de levantamento longitudinal possui largura variando de alguns milímetros a centímetros. Caso exista o interesse em detalhar melhor o perfil da via pode-se realizar o levantamento em diversas linhas paralelas imaginárias (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo Fernandes (2010), o IRI além de ser um indicador das condições de irregularidade longitudinal de pavimentos, também permite relacionar as características de irregularidade com os custos de manutenção, as condições de segurança e conforto da via. Por toda extensão do pavimento podem ser encontrados dois tipos de defeitos de irregularidade, sendo:

- Irregularidade de elevado comprimento de onda e reduzida frequência: provoca desconforto para os utentes;
- Irregularidade de comprimento reduzido de onda e elevada frequência: responsável por oscilações e vibrações dos veículos, as quais, para além de aumentarem o desconforto, aumentam as cargas dinâmicas dos veículos pesados;

Em pavimentos com elevada irregularidade longitudinal, o ciclo de degradação da vida pode ser acelerado, juntamente com o ciclo de fadiga das aeronaves, uma vez que a carga aplicada por eixo pode atingir duas ou mais vezes a carga estática, dessa forma, aumentando os custos de operação (FERNANDES, 2010).

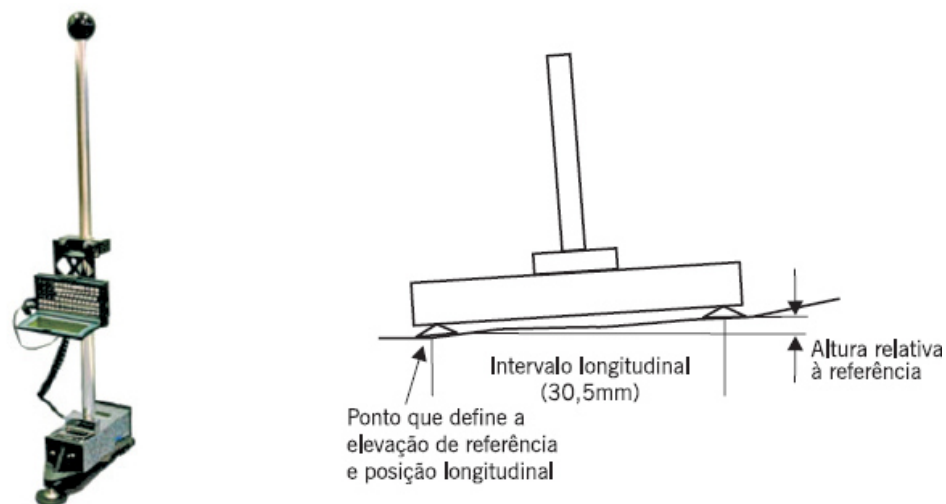
Bernucci et al. (2008) descreve que a irregularidade pode ser levantada diretamente por meio de medidas topográficas, equipamentos medidores do perfil longitudinal (com ou sem contato). No caso de levantamentos indiretos, são utilizados equipamentos do tipo “resposta”, que fornecem o somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão, desta forma, esses equipamentos medem mais o efeito da irregularidade nos veículos do que propriamente a irregularidade.

Avaliação direta

A avaliação direta compreende equipamentos de classe I (nível e mira; *Dipstick*, perfilômetro do TRL) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês).

O *Dipstick* corresponde a um método manual de nivelamento de pequeno rendimento, usado para calibração de um trecho de referência. Para realizar da medição, um operador caminha com o aparelho por toda a extensão das tilhas de roda, o aparelho é girado 180° em torno do segundo ponto de apoio,

de modo que os dois apoios estão sempre em uma linha imaginária na longitudinal paralela ao eixo, como apresentado na Figura 3.7 (BERNUCCI et al., 2008).



a) Equipamento b) Esquema de Funcionamento
 Figura 3.7 – Exemplo de equipamento *dipstick* (Bernucci et al., 2008).

O *Analyseur de Profil en Long* (APL) corresponde a um reboque que pode ser aplicado isolado ou com dois reboques paralelos, utilizado para o levantamento das irregularidades nas trilhas de rodas. O APL possui um pendulo inercial de baixa frequência que serve como referência horizontal, e permite registrar o comprimento de onda entre 1 e 40m (BERNUCCI et al., 2008).

A Figura 3.8 apresenta a medição da irregularidade longitudinal com dois equipamentos paralelos.



Figura 3.8 – Dois equipamentos APL em paralelo (Service Technique de L'aviation Civile, 2016)

Avaliação indireta

A avaliação indireta compreende equipamentos de classe III do tipo “resposta” (TRL *Bump integrator*, *Maysmeter*, *Merlin* etc.).

De acordo com Bernucci et al. (2008) os equipamentos da classe III são muito utilizados devido a sua praticidade. Esses equipamentos apresentam um sistema sensível a uma fotocélula que permite o registro dos movimentos do veículo em relação ao eixo traseiro. As informações são transmitidos a uma unidade de processamento. As informações são disponibilizadas em quociente de irregularidade (QI), geralmente realizados na extensão de 80 a 320 metros. A Figura 3.9 apresenta o princípio de funcionamento dos equipamentos dessa natureza.

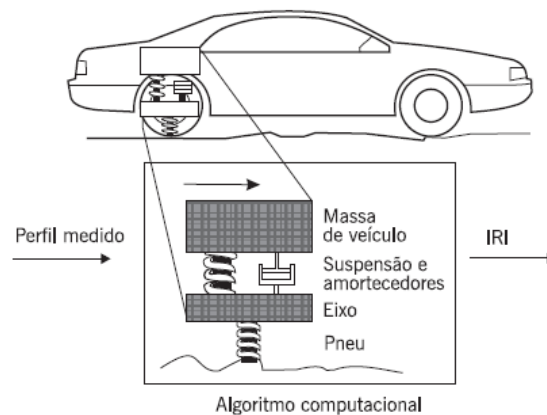


Figura 3.9 – Princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta (Bernucci et al., 2008)

3.7 MEDIDORES DE ATRITO

Ao longo do tempo, as condições de atrito do pavimento de uma pista de aterragem e descolagem se modificam principalmente devido ao desgaste mecânico e o polimento da superfície, promovidos pela ação dos pneus em rolamento ou frenagem no revestimento. Outro fator agravante é o acúmulo de contaminantes na superfície, especialmente borracha proveniente dos pneus das aeronaves. O efeito desses fatores está diretamente relacionado ao volume e tipo de tráfego, entretanto, as condições de atrito também é influenciadas pelas características climáticas locais, o tipo de pavimento, os materiais utilizados, tratamentos superficiais e práticas de manutenção (FAA, 2016a).

Os operadores de aeroportos com tráfego de aeronaves a jato devem realizar avaliações periódicas das características de atrito da pista, sendo que cada pista deve ser avaliada ao menos uma vez por ano. Dependendo do volume e tipo de tráfego será necessário realizar avaliações com mais frequência, como detalhado na Tabela 3.5. Essa tabela deve ser utilizada como orientação para a programação inicial das avaliações de atrito na pista de aterragem e descolagem, e é baseada em uma média de aeronaves à jato (FAA, 2016a).

Tabela 3.5 – Frequência de avaliação do atrito (Adaptado de FAA, 2016a)

Número diário de pouso de aeronaves à jato	Frequência mínima de avaliação do atrito
Menos que 15	1 ano
16 – 30	6 meses
31 – 90	3 meses
91 – 150	1 mês
151 – 210	2 semanas
Mais que 210	1 semana

A maioria das aeronaves consideradas para a elaboração da Tabela 3.5 são do tipo *narrow-body* (fuselagem estreita), como o DC-9, BAC-111, B-727, B-737. As aeronaves *wide-body* (fuselagem larga), como L-1011, 290 B-747, DC- 10, MD-11, C-5, também foram consideradas. Caso a pista receba mais de 20% de aeronaves do tipo *wide-body*, recomenda-se que o aeroporto utilize no nível mais elevado da Tabela 3.5 para determinar a frequência de avaliação de atrito. Cada pista deverá ser avaliada separadamente, e enquanto os testes estão sendo realizados, a pista não poderá ser utilizada por aeronaves (FAA, 2016a).

Ensaios

Os valores do coeficiente de atrito podem ser utilizados como diretrizes para avaliar a deterioração superficial do pavimento da pista e para identificação das ações corretivas apropriadas. A Tabela 3.6 apresenta valores de atrito a velocidades de ensaio de 40 e 60 mph (65 e 95 km/h), conforme os equipamentos de medição contínua de atrito homologadas na AC 150/5320-12D (FAA, 2016a).

Tabela 3.6 – Valores de atrito conforme o equipamento de medição (Adaptado de FAA, 2016a)

Equipamento	Fabricante	40 mph (65 km/h)		60 mph (95 km/h)	
		Mínimo	Planejamento de Manutenção	Mínimo	Planejamento de Manutenção
Airport Surface Friction Tester	ASFT Industries AB	0,50	0,60	0,34	0,47
Safegate Friction Tester	Airport Technology USA	0,50	0,60	0,34	0,47

Dynatest Runway Friction Tester	Dynatest Consulting, inc.	0,50	0,60	0,41	0,47
Grip Tester Friction Meter	Findlay, Irvine, LTD.	0,43	0,53	0,24	0,36
RT3	Halliday Technologies	0,45	0,55	0,42	0,52
BV-11 Skiddometer	Moventor Oy Inc.	0,50	0,60	0,34	0,47
Mu Meter	Douglas Equipment LTD	0,42	0,52	0,26	0,38
NAC Dynamic Friction Tester	Neubert Aero Corp.	0,42	0,52	0,28	0,38
RUNAR (operated at fixed 16% slip)	Norsemeter	0,45	0,52	0,32	0,42
Tatra Friction Tester*	Intertech Engineering	0,48	0,57	0,42	0,52
*não está mais disponível					

Equipamentos

- Airport Surface Friction Tester

Nesse equipamento, o atrito é medido através do pneu, com formato e material semelhante à de uma aeronave, instalada no eixo traseiro de um veículo a uma taxa de deslizamento de 12% (LUGÃO, 2008). A Figura 3.10 apresenta um exemplo deste equipamento.



Figura 3.10 – Airport surface friction tester (Astf, 2016)

Segundo APS (2006) esse equipamento possui um sistema de espargimento que permite a aplicação de uma lâmina d'água com espessura de 1 mm, simulando as condições de pista molhada.

- Runway Friction Tester

Segundo Lugão (2008), a medição é realizada através do equipamento instalado no eixo traseiro de um veículo. A taxa de deslizamento controlada corresponde à 13,5%, sendo que a roda de medição tem rotação retardada. A Figura 3.11 apresenta um exemplo deste equipamento.



Figura 3.11 – Runway Friction Tester (Dynatest, 2016)

O modelo 6875 é projetado tanto para teste funcional (manutenção) como para operacional, a fim de avaliar o atrito superficial, inclusive nas mudanças devido a contaminantes climáticos e borracha. Os testes operacionais podem ser realizados em condições climáticas adversas, como chuva forte, gelo, lama ou neve (DYNATEST, 2016).

- Grip Tester Friction Meter

Esse equipamento é constituído por um reboque de três rodas do tipo deslizômetro (skiddometer), sendo que a roda central é responsável pela medição do atrito. Pode atingir velocidade de deslocamento de 65 km/h, com taxa de deslizamento controlada de 15% e rotação retardada (FINDLAY IRVINE, 2016). A Figura 3.12 apresenta um exemplo deste equipamento.



Figura 3.12 - Grip Tester Friction Meter (Findlay Irvine, 2016)

- RT3

Esse equipamento é mais utilizado na medição de atrito em pistas com neve, correspondendo a um reboque constituído por três rodas e pode atingir velocidade entre 10 e 60 mph (HALLIDAY TECHNOLOGIES, 2016). A Figura 3.13 apresenta um exemplo deste equipamento.



Figura 3.13 – RT3 (Halliday Technologies, 2016)

- BV-11 Skiddometer

De acordo com Lugão (2008), esse equipamento também corresponde à um reboque constituído por três rodas, em que as rodas laterais giram livremente enquanto a roda central é responsável pela medição do atrito, com operação retardada e taxa de deslizamento de 17%.

Durante a medição, as rodas laterais suportam o peso da estrutura do equipamento e a roda central recebe a aplicação de uma força de 100 kgf que pode ser composta de pneus de baixa ou alta pressão, 200 e 700 kPa respetivamente (APS, 2006). A Figura 3.14 apresenta um exemplo deste equipamento.



Figura 3.14 – BV-11 Skiddometer (Moventor, 2016)

- Mu-Meter

O uso desse equipamento é muito comum nas pistas de aeroportos brasileiros, mas também podem ser utilizados em pavimentos rodoviários. Corresponde à um equipamento rebocado, constituído por três rodas, sendo que duas destinadas à medição do coeficiente de atrito e a outra para indicar a distância percorrida. O Mu-meter é utilizado tanto para medições tanto em pavimentos secos como molhados, como é apresentado na Figura 3.15, com um sistema de espargimento que permite a aplicação de uma lâmina d'água com espessura de 1 mm à frente das rodas sensoras (APS, 2006).



Figura 3.15 – Mu-Meter (Douglas Equipment, 2016)

As duas rodas que se destinam à medição do atrito também são chamadas de *Friction Wheels (FW)*, e geralmente possuem alinhamento convergente em relação à direção longitudinal do reboque, como apresentado na Figura 3.16, com ângulo de convergência de $7,5^\circ$, que produz uma taxa de escorregamento e de 13% (LUGÃO, 2008).

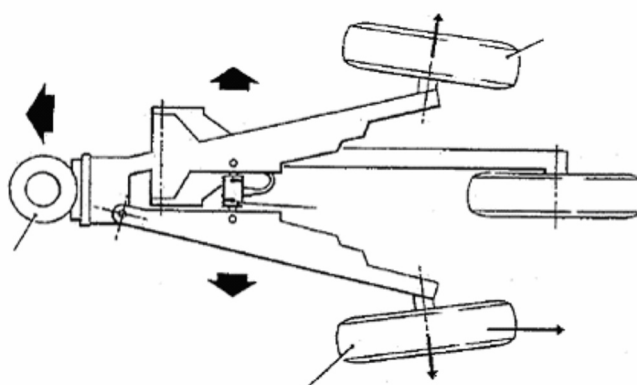


Figura 3.16 – Detalhe do equipamento Mu-Meter (Lugão, 2008)

- NAC Dynamic Friction Tester

Esse equipamento possibilita a medição separada dos valores de atrito com a roda girando e com a roda deslizando, e a caracterização do fluido contaminante do pavimento (LUGÃO, 2008). A Figura 3.17, apresenta a realização do teste em condição de neve.



Figura 3.17 – NAC Dynamic Friction Tester (Neubert Aero Corp., 2016)

- Runar

As medições efetuadas por esse equipamento podem ser realizadas com deslizamento fixo ou variável. Permite a medição de atrito e textura, em pavimentos secos, molhados ou com neve e informa o *International Friction Index* (IFI) e atrito máximo (NORSEMETER FRICTION, 2016). A Figura 3.18 apresenta um exemplo deste equipamento.



Figura 3.18 - Runar (Norsemeter Friction, 2016)

Parâmetros de Atrito em Pistas molhadas

Para determinação das características de atrito de pistas de aterragem e descolagem molhadas, a ICAO (2004) estabeleceu valores de coeficiente de atrito para cada tipo de equipamento de medição, com a presença de lâmina d'água de 1 mm, apresentados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Coeficiente de atrito na presença de lâmina d'água (Adaptado de ICAO, 2004)

Equipamento teste	Tipo de Pneu	Pressão no pneu (kpa)	Velocidade do teste (km/m)	Profundidade da água no teste (mm)	Objetivo do projeto para superfície nova	Nível de planejamento de manutenção	Nível de atrito mínimo
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Mu-meter	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Skiddometer	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Surface Friction Tester Vehicle	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Runway Friction Tester Vehicle	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
TATRA Friction Tester Vehicle	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42
Griptester	C	140	65	1,0	0,74	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,64	0,36	0,24

Os valores de atrito mencionados acima são absolutos e devem ser aplicados sem qualquer tolerância. As especificações dos pneus (tipos A, B e C) então contidos no *Aerodrome Design Manual – Part 2* (ICAO, 1999). Os valores nas colunas 5, 6 e 7 são valores médios que representam a pista, ou sua parte significativa. As características de atrito devem ser medidas em mais de uma velocidade, e outros equipamentos de medição de atrito podem ser utilizados, contanto que tenham correlação com pelo menos um equipamento de teste anteriormente mencionado (ICAO, 2004).

4 ESTUDO DE CASO – AEROPORTO DE CATOCA

4.1 ÂMBITO

O presente estudo de caso refere-se à execução de um revestimento de camada porosa de atrito na pista de aterragem e descolagem do aeroporto de Catoca, localizado em Saurimo, Lunda-Sul, Angola, analisando as patologias ocorridas e as possíveis causas.

Após um ano da execução da CPA, essa camada apresentou desagregações, dessa forma o objetivo do estudo de caso é analisar as patologias ocorridas e, a partir dos dados de literatura estudados, avaliar as possíveis causas dessas ocorrências.

4.2 SAURIMO -BREVE HISTÓRICO DO LOCAL

Saurimo é uma cidade e município de Angola, sendo a capital da província de Lunda-Sul, como apresentado na Figura 4.1. Em 2004 possuía em torno de 423 mil habitantes, na área de 24900 km², e é constituída pelas comunas de: Saurimo, Mona-Quimbundo e Sombo. Possui aproximadamente 140 aldeias, das quais 61 já unificadas e um total de 16 povoações. Seu subsolo é rico em minérios como: diamantes, manganês e ferro (ANGOP, 2015).



Figura 4.1 – Localização de Saurimo (Adaptado de World, 2014)

O nome da cidade foi Vila Henrique de Carvalho, de 1923 até o fim da administração portuguesa, em homenagem a Henrique Augusto Dias de Carvalho, que foi o primeiro explorador da região de Lunda. Anteriormente, antes da divisão entre Lunda Sul e Lunda Note, era a capital de toda a província. Ao Norte faz fronteira com os municípios de Lucapa e Cambulo; República Democrática do Congo a Leste; ao Sul pelo municio de Dala; A Oeste por Cacolo e Lubalo (ANGOP, 2015).

Em relação ao nível do mar, Saurimo está a uma altitude de 1081 metros, com uma temperatura média anual de 22°C, e caracterizado por um clima tropical húmido de altitude. Devido ao solo rico em minérios, o município é essencialmente mineiro, com grande potencial no setor diamantífero. A principal exploração de minério se dá na mina de Catoca, região onde encontra-se o quarto maior quimberlito do mundo.

A precipitação média anual é de 1350 mm, com grande ocorrência nos meses de setembro a abril, nos quais o regime de chuvas é abundante, com clima húmido e com dias nublados. A partir de setembro as temperaturas sobem, atingindo valores em torno de 38°C.

A maioria da população de Saurimo vive essencialmente da agricultura, produção de carvão artesanal vegetal e pesca, apenas uma minoria trabalha no setor mineiro. Apesar da grande riqueza que a província apresenta, a cidade tem poucas infraestruturas, edifícios antigos e pouca qualidade de vida para os habitantes.

O setor mineiro é caracterizado pela Sociedade Mineira de Catoca Lda., empresa angolana responsável pela prospeção, exploração, recuperação e comercialização de diamantes. É a maior empresa no subsetor diamantífero em Angola, sendo responsável pela extração de mais de 75% dos diamantes

angolanos, e é constituída pela Endiama (Angola), Odebrecht (Brasil), Alrosa (Rússia) e LLV (China) (SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA, 2016). A Figura 4.2 apresenta uma vista aérea da mina de diamante de Catoca.



Figura 4.2 – Vista aérea da mina de Catoca (Agência Lusa, 2015)

Gerido pelo setor privado, mais precisamente pela Sociedade Mineira de Catoca, está o aeroporto de Catoca, apresentado Figura 4.3, que serve de alternativa ao Aeroporto de Saurimo, localizado a 35 km, conferindo maior segurança, comodidade e tempo menor de viagem.



Figura 4.3 – Aeroporto de Catoca (Google Earth, 2016)

O voo inaugural ocorreu no dia 18 de junho de 2010, pela companhia de bandeira TAAG (Transportes Aéreos Angolanos), de um Boeing 737-700. Os voos da companhia TAAG para Catoca ocorrem às segundas e sextas-feiras e complementam os voos que a companhia realiza para Saurimo, às quartas e quintas-feiras (ANGOP, 2010).

4.3 OBRA REALIZADA NA PISTA DE ATERRAGEM E DESCOLAGEM

No ano de 2009 foram realizadas algumas obras para ampliação do Aeroporto de Catoca, dentre as quais está a requalificação e recapeamento da pista de aterragem e decolagem, com o objetivo de adequar suas características às necessidades para operações de aeronaves de grande porte. Essas obras, objeto deste estudo de caso, tiveram duração de cerca de seis meses.

4.3.1 Estrutura obtida pelas recomendações da FAA

Inicialmente, a seção transversal do aeroporto, que já era utilizado pela Sociedade Mineira de Catoca, era composta por uma sub-base com CBR de 10%, uma camada de base composta por material do tipo brita graduada simples de 15 cm e uma camada de Betão betuminoso produzido a quente com 10 cm.

Na intervenção realizada, para o dimensionamento das espessuras de cada camada desse pavimento foi utilizado o software FAIRFIELD (mais detalhes sobre o dimensionamento são apresentados no Anexo I). O subleito do aeroporto militar foi aproveitado e refizeram a estrutura. Foi executada uma base estabilizada e tratada com cimento de 20 cm com CBR de 80%, uma camada de 10 cm de Betão betuminoso produzido a quente e, por fim, uma camada de 2 cm de desgaste, utilizando mistura betuminosa do tipo CPA, conforme indicado na Figura 4.4.

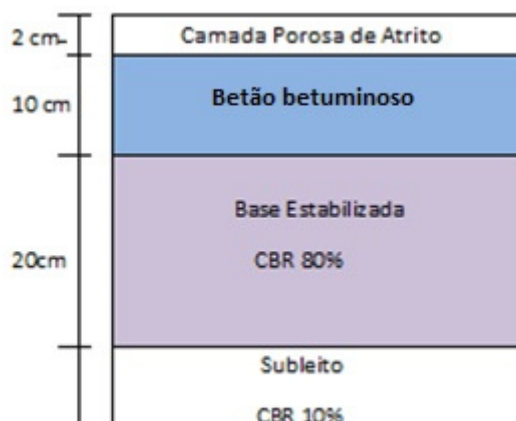


Figura 4.4 – Estrutura do pavimento flexível (Latersolo, 2010)

O uso do CPA se deve a elevada ocorrência de chuvas na região, com precipitação média anual de cerca de 1350 mm, conforme citado anteriormente. Assim, o uso de uma camada de revestimento com características de drenabilidade elevada garante a segurança da pista em dias de chuva.

Para determinação do PCN do novo pavimento, foi adotado como documento de referência o FAA (2006), que recomenda a utilização do software COMFAA 3.0, sendo que a estrutura do pavimento flexível considerada foi aquela descrita anteriormente.

Para o cálculo, foram utilizadas as aeronaves Boeing 727-20 e Boeing 737-800, considerando o valor de 900 operações por ano, e pressão de inflação dos pneus de respectivamente 148 e 205 psi. As Figuras 4.5 e 4-6 apresentam as interfaces do cálculo utilizando o COMFAA 3.0.

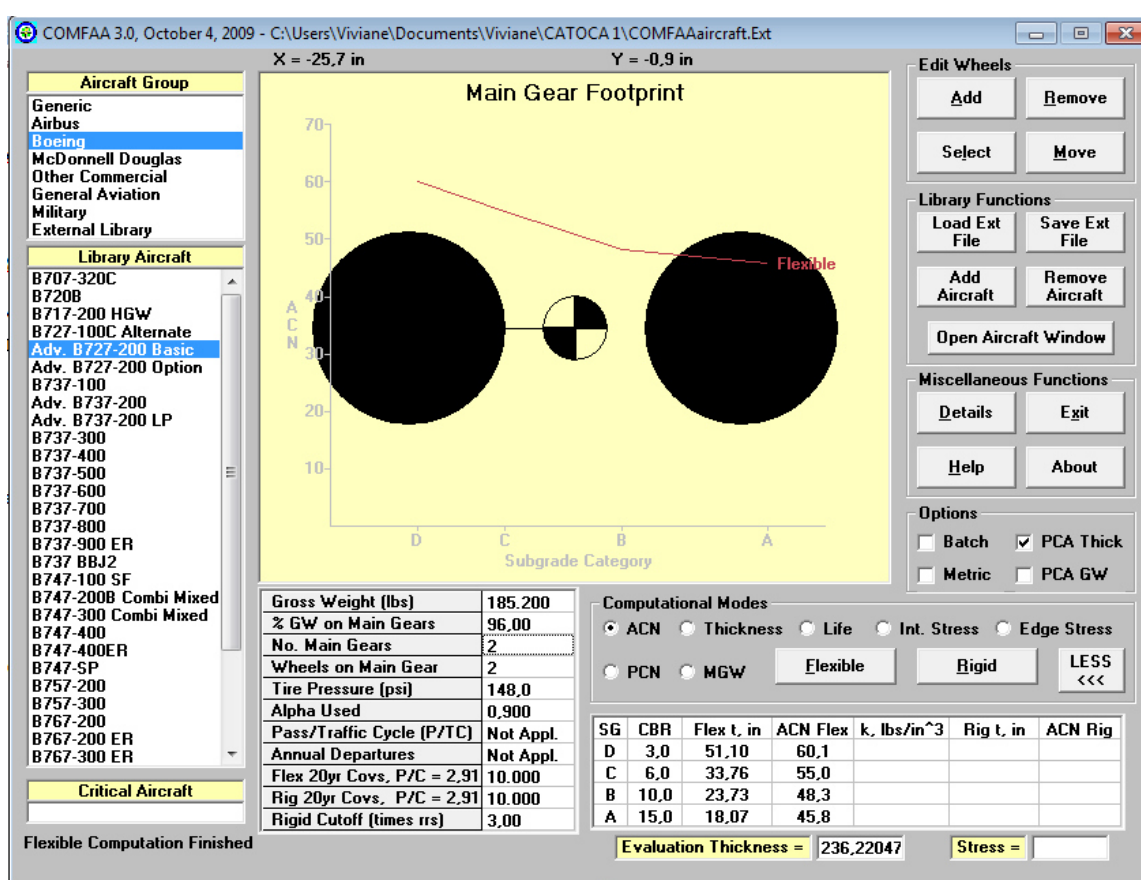


Figura 4.5 – Cálculo do PCN para aeronave Boeing 727-200 (LaterSolo, 2010)

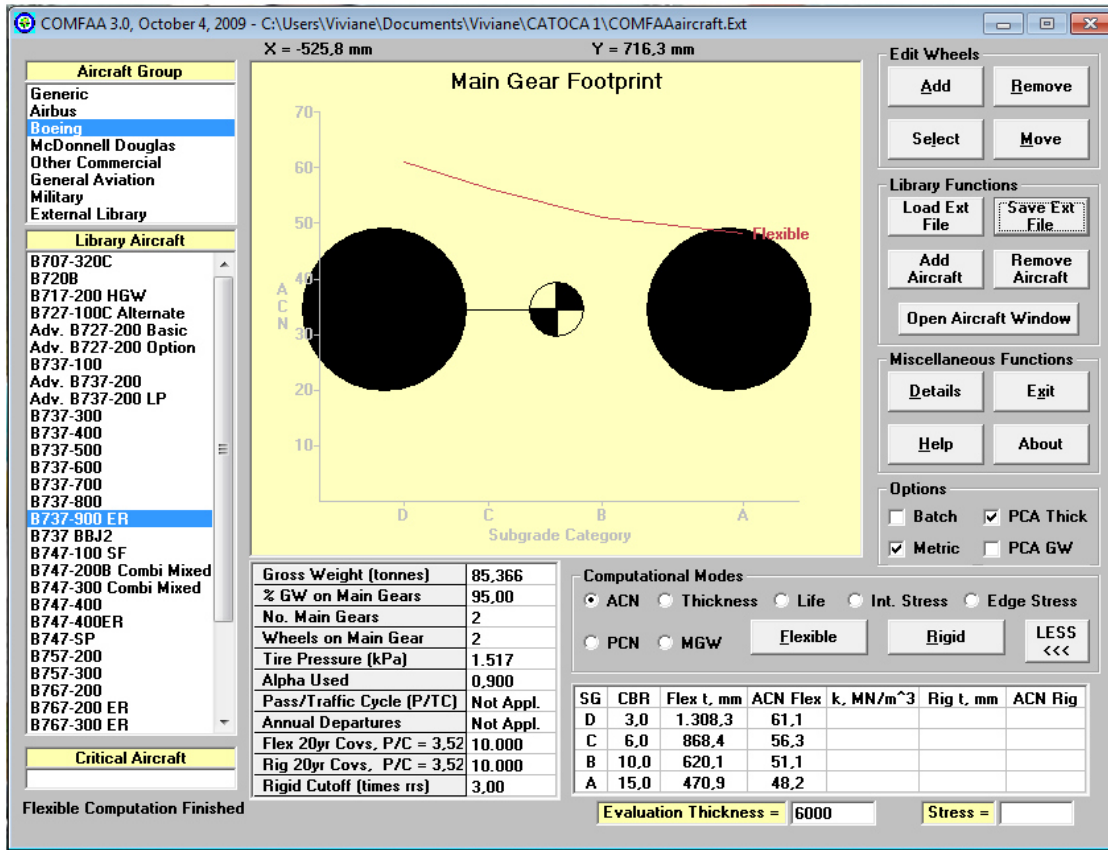


Figura 4.6 – Cálculo do PCN para aeronave Boeing 737-800 (Latersolo, 2010)

Segundo a LaterSolo (2010) valor do PCN do Aeroporto de Catoca é 46/F/B/W/T.

4.3.2 Características da pista do aeroporto de Catoca

A Tabela 4.1 apresenta um resumo das características da pista de aterragem e descolagem do Aeroporto de Catoca. O Anexo II apresenta as plantas da pista de aterragem e descolagem do aeroporto de Catoca.

Tabela 4.1 – Resumo das características do Aeroporto de Catoca (a Autora)

Nome do Aeroporto	Aeroporto de Catoca
Cidade	Saurimo
País	Angola
Continente	África
Coordenadas Geográficas	9°25'45" S 20°18'40" E
Direção	17/35
Comprimento	2420 m
Largura	30 m

Código de Referência

O Código de referência de um aeródromo é formado por um número e uma letra, que são determinados objetivando o planejamento de um aeródromo. Esse código deve ser determinado de acordo com as características das aeronaves para as quais o aeródromo está sendo desenvolvido.

O número de código para o elemento 1 deve ser determinado pela Tabela 4.2, selecionando-se o número de código que corresponde ao valor mais alto do comprimento do campo de referência das aeronaves para as quais a pista será desenvolvida. O comprimento básico de campo das aeronaves é utilizado unicamente para a seleção de um número de código e não influenciar no comprimento real de pista fornecido. A letra de código para o elemento 2 deve ser determinada pela Tabela 4.2, selecionando-se a letra de código que corresponde a maior envergadura ou a maior distância entre rodas externas do trem de aterragem principal (ICAO, 2004).

Tabela 4.2 – Código de referência de Aeródromos (Adaptado de ICAO, 2004)

Elemento 1		Elemento 2		
Número de código	Comprimento do campo de referência do avião	Letra de código	Envergadura	Distância entre as rodas externas do trem de aterragem principal ^a
1	Até 800 m	A	Até 15 m	4,5 m
2	800 a 1200 m	B	15 a 24 m	4,5 a 6 m
3	1200 a 1800 m	C	24 a 36 m	6 a 9 m
4	Acima de 1800 m	D	36 a 52 m	9 a 14 m
		E	52 a 65 m	9 a 14 m
		F	65 a 80 m	14 a 16 m
a. Distancia entre bordas externas das rodas do trem de aterragem principal				

De acordo com as aeronaves utilizadas pela Latersolo para o cálculo do PCN, conclui-se que a letra de código para a pista de aterragem e descolagem de Catoca corresponde a C. A seguir são descritas uma série de características geométricas que são determinadas a partir do número e código de referência de aeródromos, conforme as recomendações do Anexo 14 do ICAO (2004).

Largura das pistas de aterragem e descolagem

A largura de uma pista de aterragem e descolagem não deve ser inferior à dimensão especificada na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Largura de pistas de aterragem e descolagem (Adaptado de ICAO, 2004)

Número de Código	A	B	C	D	E	F
1	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

A largura de uma pista de aproximação de precisão não deveria ser inferior a 30 metros.

Declividades em pistas de pouso de descolagem

- Longitudinal:

A declividade computada, dividindo-se a diferença entre a elevação máxima e mínima ao longo do eixo da pista pelo comprimento da pista, não deveria exceder:

1 % onde o número de código for 3 ou 4;

2% onde o número de código for 1 ou 2.

- Transversal:

Para realizar uma drenagem mais rápida da água, a superfície da pista deveria, se possível, ser inclinada.

1,5% onde a letra de código for C, D, E ou F;

2% onde a letra de código for A ou B.

Acostamentos de pistas de aterragem e descolagem

Os acostamentos de pista de aterragem e descolagem devem ser implantados em uma pista onde a letra do código for D ou E e a largura for menor que 60 metros, ou pistas onde a letra de código for F.

- Largura:

Os acostamentos devem estender-se simetricamente em cada pista e não devem ser inferiores à:

60 m onde a letra de código for D ou E;

75 m onde a letra de código for F.

Faixas de pista de aterragem e descolagem

Uma faixa de aterragem e descolagem de quaisquer zonas de parada (*stopways*) a ela associadas devem estar incluídas em uma faixa de pista.

- Comprimento de faixa de pista:

Uma faixa de pista deve estender-se antes da cabeceira e após o fim da pista ou da zona de parada a uma distância de, no mínimo:

60 m onde o número de código for 2, 3, ou 4;

60 m onde o número de código for 1 e a pista for por instrumento;

63 m onde o número de código for 1 e a pista for de não-instrumento.

- Largura de faixa de pista:

Uma faixa de pista contendo uma pista de aproximação de precisão deve, onde quer que seja viável, estender-se lateralmente ao eixo da pista, a uma distância de, no mínimo:

150 m onde o número de código dor 3 ou 4;

75 m onde o número de código for 1 ou 2.

Área de segurança de fim de pista

Deve existir uma área de segurança de fim de pista em cada uma das extremidades da faixa de pista quando (i) o número de código for 3 ou 4; e (ii) o número de código for 1 ou 2 e a pista for do tipo por instrumento.

- Dimensões da área de segurança de fim de pista

As áreas de segurança de fim de pista devem se estender a partir do final de uma faixa de pista a uma distância de, no mínimo, 90m. O ICAO (2004) recomenda que uma área de segurança de fim de pista

deveria, na medida do possível, estender-se a partir do final de uma faixa de pista a uma distância de, no mínimo:

240 m onde o número de código for 3 ou 4;

120 m onde o número de código for 1 ou 2.

Pistas de Táxi

As pistas de táxi deveriam existir para permitir a movimentação segura e rápida de aeronaves. O projeto de uma pista de táxi deveria ser tal que, quando a cabine de comando da aeronave para qual a pista de táxi se destina permanecer sobre o eixo da mesma, o afastamento entre a roda externa do trem de aterragem principal e a borda da pista de táxi não seja inferior a distancia apresentada na Tabela 4.4:

Tabela 4.4 – Pistas de táxi (Adaptado de ICAO, 2004)

Letra de Código	Afastamento
A	1,5 m
B	2,25 m
C	3 m se a pista de táxi for destinada a aeronaves com base menor que 18 m
	4,5 m se a pista de táxi for destinada a aeronaves com base igual ou maior que 18 m
D	4,5 m
E	4,5 m
F	4,5 m
Base (<i>wheel base</i>) corresponde à distância entre o trem de nariz e o centro geométrico do trem principal	

- Largura da pista de táxi

As partes retilíneas da pista de táxi não deveriam ter largura inferior às larguras apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Largura da pista de táxi (Adaptado de ICAO, 2004)

Letra de código	Largura da pista de táxi
A	7,5 m
B	10,5 m
C	15 m se a pista de táxi for destinada a aeronaves com base menor que 18 m
	18 m se a pista de táxi for destinada a aeronaves com base igual ou maior que 18 m
D	18 m se a pista de táxi for destinada a aeronaves com distância entre as rodas externas do trem de aterragem principal for menor que 9 m
	13 m se a pista de táxi for destinada a aeronaves com distância entre as rodas externas do trem de aterragem principal for maior ou igual que 9 m
E	23 m
F	25 m

Afastamento em posições de estacionamento de aeronaves

Uma posição de estacionamento de aeronave deveria possuir os seguintes afastamentos mínimos entre uma aeronave e qualquer construção, aeronave ou outros objetos.

Tabela 4.6 – Afastamento das aeronaves (Adaptado de ICAO, 2004)

Letra de código	Afastamento
A	3 m
B	3 m
C	4,5 m
D	4,5 m
E	7,5 m
F	7,5 m

4.3.3 CPA utilizada

Na época da obra, a norma vigente do FAA era a AC 150/5320-12C (*Measurement, construction, and maintenance of skid-resistant airport pavement surfaces*) (FAA, 1997), na qual estavam publicadas diretrizes e procedimentos para a concepção e construção de pavimentos resistentes à derrapagem.

Como foi dito anteriormente, essa norma recomenda a aplicação do *grooving* bem como a utilização da camada porosa de atrito.

Segundo o relatório fornecido pela Lattersolo (2010), durante a fase de execução da obra do aeroporto de Catoca, haviam agravantes como o cronograma e a necessidade de se concluir a pista para ser liberada ao tráfego, que justificaram a escolha da camada de CPA como revestimento. Os fatores determinantes para essa escolha foram:

- Ausência de equipamento em Saurimo para execução do *grooving*. A construção de uma máquina para esse serviço poderia atrasar muito o cronograma da obra e não havia equipamento disponível em Luanda;
- Mesmo se houvesse o referido equipamento, haveria a necessidade de se deixar o betão betuminoso curando por pelo menos um mês, como recomenda o FAA (1997) através do documento vigente, em seu item 2.9, prevenindo, assim, a desagregação de agregados.

Em consequência dos obstáculos para a realização do *grooving*, a camada porosa de atrito foi escolhida como camada de revestimento, a fim de promover melhorias na aderência entre pneu e pavimento, principalmente em pistas molhadas.

Entretanto, conforme o relatório fornecido pela Lattersolo, o agregado disponível apresentava baixa adesividade ao ligante betuminoso e baixa resistência mecânica, sendo considerado muito frágil.

A falta de adesividade faz com que a resistência mecânica do betão betuminoso diminua. A Figura 4.7 apresenta o ensaio de adesividade com e sem o CCBit, aditivo químico utilizado na mistura com o objetivo de melhorar a adesividade ligante-agregado (Lattersolo, 2010).



Figura 4.7 – Ensaio de adesividade com CCBit (Lattersolo, 2010)

De acordo com Merighi (informação verbal)¹, a escolha do CCBIt como aditivo químico se deu devido ao aumento do ponto de amolecimento do ligante betuminoso utilizado, além da obtenção de uma mistura morna, o que possibilita trabalhar com a mistura em temperaturas menores quando comparadas às utilizadas para o betão betuminoso convencional.

Devido aos esforços tangenciais durante as operações de aterragem e descolagem, é recomendado que se utilize um produto que, além de melhorar a adesividade do agregado, também contribua para a resistência mecânica, para, dessa forma, reduzir o perigo de desprendimento do agregado durante essas operações. O desprendimento reduz a vida útil do pavimento e coloca em risco as operações das aeronaves.

Conforme o relatório fornecido pela Latersolo, foi acordado com a contratante que seria realizada uma camada porosa de atrito. A faixa granulométrica escolhida para atender aos requisitos da CPA foi a denominada $3/4$, preconizada pelo FAA (2007), na circular corrente à época, apresentada na Tabela 3.1.

Segundo FAA (1997), para pavimentos novos, o valor mínimo da mancha de areia 1,14 mm, e que de acordo com a Tabela 2.9, indica macrotextura aberta. No caso do Aeroporto de Catoca, os estudos realizados em campo mostraram que a macrotextura atende ao limite mínimo para a mancha de areia determinado na especificação (LATERSOLO, 2010).

Assim, relata-se em Latersolo (2010) que, após estudos em laboratório, obteve-se uma mistura betuminosa do tipo CPA, utilizando o betume 60/70, curva granulométrica atendendo a faixa $3/4$ da FAA (2007) e aditivo do tipo CCBIt, para melhoria da adesividade ligante agregado, além de possibilitar a obtenção de um CPA do tipo morno. A Tabela 4.7 apresenta as características para o betume 60/70 de acordo com a norma ASTM D-946 (ASTM, 2015).

¹ Informação fornecidos por João Virgílio Merighi, Diretor Técnico da Latersolo, empresa responsável pelo projeto do Aeroporto de Catoca, em São Paulo, em junho de 2016.

Tabela 4.7 – Betume 60/70 (Adaptado de Cepsa, 2016)

Característica	Unidade	Norma	Mínimo	Máximo
Penetração 25°C	0,1 mm	ASTM D5	60	70
Ductilidade	cm	ASTM D113	100	-
Solubilidade	%	ASTM D2042	99	-
Ponto de inflamação	°F	ASTM D92	450	-
Resistência ao endurecimento a 163°C (ASTM D1754)				
Penetração retida	%	ASTM D5	47	-
Ductilidade	°C	ASTM D113	75	-
Temperaturas orientativas de trabalho				
Temperatura de mistura	°C		150	160
Temperatura do ligante	°C		150	160
Temperatura de compactação	°C		145	155
Aplicações:				
Misturas betuminosas a quente				

Sendo assim, foi possível executar uma camada com espessura de 2 cm, em princípio com comportamento drenante adequado e atendendo às especificações citadas anteriormente.

Os resultados obtidos para os ensaios de estabilidade Marshall - resistência à tração e determinação do volume de vazios - são apresentados na Tabela 4.8 a seguir, juntamente com os critérios mínimos para estes parâmetros preconizados pela norma do DNER.

Tabela 4.8 – Comparação entre os resultados da mistura de CPA e a especificação do DNER (a Autora)

Material	Estabilidade Marshall (kgf)	Resistência à Tração (kgf/cm ²)	Desgaste à abrasão Los Angeles – Ensaio de Cântabro (%)	Volume de Vazios (%)
Mistura utilizada em Catoca	1225	7,9	-	10,8
Especificação do DNER	-	5,5	25	18 - 25

Salienta-se, no relatório da LaterSolo, que esse tipo de mistura betuminosa apresenta excelente desempenho em relação à permeabilidade. A camada drenante de 2 centímetros de espessura permite a penetração da água e, conseqüentemente, o escoamento da mesma lateralmente, o que promove uma pista com características de superfície adequadas em dias de chuva.

A Figura 4.8 faz parte dos ensaios em campo realizados no mês de dezembro de 2009, visando testar a aplicação da mistura betuminosa e verificar o desempenho dos equipamentos de execução de obra, tratando-se de uma aplicação delgada da mistura betuminosa estipulada.



Figura 4.8 – Testes de campo realizados para CPA (Latersolo, 2010)

A mesma região de teste mostrada na Figura 4.8 é mostrada na Figura 4.9, após uma chuva com bastante intensidade. Observa-se que, na região onde está aplicada a camada porosa de atrito, a superfície não se encontra “espelhada”, uma vez que não existe lamina d’água na superfície do pavimento, diferente do que é observado no pavimento ao lado da CPA.



Figura 4.9 – Teste de campo realizados para CPA após chuva forte (Latersolo, 2010)

A Figura 4.10 apresenta a superfície da camada porosa de atrito aplicada no revestimento do aeroporto de Catoca.



Figura 4.10 – Detalhe da CPA executada no Aeroporto de Catoca (LaterSolo, 2010)

Conforme o relatório da LaterSolo, o ligante betuminoso disponível, expedido pelo fornecedor, apresenta ponto de amolecimento de 49,1°C, enquanto que a penetração nominal 60/70 foi entregue com 64 décimos de mm. Seria ideal que se utilizasse um ligante betuminoso mais duro, uma vez que a temperatura do pavimento atingia a temperatura de 70°C no mês de outubro, quase que diariamente, mas não se encontrava outro ligante betuminoso disponível no mercado local na data da execução da CPA.

Devido ao elevado volume de vazios da camada porosa de atrito, esse tipo de revestimento tem a vantagem de reduzir a probabilidade de ocorrência da hidroplanagem, entretanto, requer certos cuidados na utilização, conforme as características do local em que foi implantada.

Após aproximadamente um ano da execução do revestimento de CPA, foi verificada a ocorrência de patologias na superfície, caracterizadas pela abertura de panelas no revestimento, como pode ser observado na Figura 4.11.



Figura 4.11 – Vista do defeito da pista de aterragem e descolagem de Catoca (Latersolo, 2010)

No caso do Aeroporto de Catoca, a alta temperatura associada ao elevado volume de vazios, podem ter contribuído para a deterioração do pavimento.

O movimento de manobra, em que a aeronave trava as rodas de um trem de aterragem de um dos lados e acelera a turbina do lado oposto, mais conhecido como “pinar” a aeronave, não é recomendado para pavimentos dessa natureza. Essa prática faz com que um conjunto do trem de aterragem fique estático, ou melhor, travado, enquanto o outro gira sobre o primeiro. O esforço por cisalhamento é bastante elevado, uma vez que os trens de aterragem das aeronaves apresentam carregamento da ordem de 25 toneladas (12,5 toneladas por roda de esforço de cisalhamento).

A Figura 4.12 mostra o trem de aterragem de uma aeronave B 737 e a área de atuação de duas rodas do trem de aterragem quando travadas.



Figura 4.12 – Trem de aterragem de uma aeronave B-737 (Latersolo, 2010)

O relatório da later solo descreve que o revestimento de camada porosa de atrito com o esforço de torção elevado, gerado pela manobra de “pinar” a aeronave, projetada para suportar cargas dinâmicas e não rotacionais, associada à fragilidade do agregado e do ligante betuminoso empregado, não obteve o desempenho esperado, mesmo após a aplicação do aditivo químico. Em vista disso, a camada de revestimento do Aeroporto de Catoca apresentou desagregação em alguns pontos, que originaram panelas no pavimento.

As panelas ou buracos correspondem à uma cavidade no revestimento betuminoso, podendo ou não atingir as camadas inferiores. Segundo Bernucci et al. (2008), esses defeitos podem ser ocasionados devido à:

- existência de trincas interligadas e, com a ação do tráfego e intempéries, houve a remoção do revestimento ou mesmo de parte da base;
- falha construtiva – deficiência na compactação, humidade excessiva em camadas de solo e falhas na imprimação;
- desagregação por falha na dosagem, stripping ou ainda segregação;
- falha na pintura de ligação em camadas de revestimento, causando o destacamento ou “despelamento”.

Outras possibilidades para essa ocorrência podem ser devidas a algumas características da mistura de CPA utilizada na camada de revestimento.

A primeira consideração é em relação ao volume de vazios empregado, que corresponde a 10,8%, inferior ao mínimo estabelecido por especificações para esse tipo de mistura. Essa característica pode ocasionar a diminuição da drenabilidade dessa camada, gerando o aprisionamento de água dentro da camada. Dessa forma, a passagem das aeronaves gera pressão na água aprisionada, que tende a romper a camada de revestimento.

Outro fator relevante é a ausência de dados sobre o teor do ligante, que pode ter sido insuficiente e, com isso, ter provocado a desagregação, principalmente na presença de água, uma vez que os dados sobre a composição da mistura não foram disponibilizados.

O ligante betuminoso 60/70, apresenta baixa consistência, como indicado por Later solo (2010), sendo inadequado para as características climáticas do local. O ideal seria que se utilizasse um ligante betuminoso mais duro, uma vez que o 60/70 apresenta suscetibilidade térmica muito elevada às altas temperaturas, o que pode promover a ocorrência de deformações plásticas localizadas no revestimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

De acordo os objetivos desse trabalho, foi realizado o estudo sobre o uso de mistura betuminosa do tipo camada porosa de atrito como camada de revestimento de pavimento aeroportuário. Foram apresentadas as especificações a serem consideradas para a aplicação desse tipo de camada de revestimento, os resultados para o comportamento e integridade esperados dessa camada. Também foram descritas as limitações de uso de acordo com a literatura estudada, em companhia de possíveis patologias que ocorrem com certa regularidade em revestimento de CPA. A partir do conhecimento adquirido, foi possível estudar a aplicação de CPA na obra de recapeamento na pista de aterragem e descolagem do aeroporto de Catoca, localizado em Saurimo, Angola, analisando as patologias ocorridas e as possíveis causas destas ocorrências.

Quando empregada como revestimento de pavimentos aeroportuários, sendo dosada e executada em conformidade com as especificações dos órgãos competentes, a CPA é uma solução eficiente para o aumento de aderência entre o pneu-pavimento, principalmente em situações em que a aderência se encontra comprometida, como o caso de situações de chuva.

O aumento da aderência pneu-pavimento pode ser atribuído à granulometria aberta da mistura betuminosa, pois essa característica possibilita a drenagem da água na superfície do pavimento, minimizando o risco da ocorrência da hidroplanagem. A granulometria aberta também promove o aumento da macrotextura, que fornece propriedades de atrito adequadas para aeronaves a altas velocidades, uma vez que evita a formação da lamina d'água.

Entretanto, quando a CPA não é dosada ou executada seguindo as especificações, o resultado da aplicação é divergente do esperado. O estudo de caso da camada de revestimento em CPA da pista de aterragem e descolagem do Aeroporto de Catoca permitiu identificar, além daquelas já indicadas pela projetista (LATERSOLO, 2010), outras possíveis causas das patologias ocorridas, conforme enumeradas a seguir:

- O volume de vazios empregado de 10,8% é inferior ao mínimo estabelecido por especificações para esse tipo de mistura, o que pode ter diminuído a drenabilidade, aprisionando a água no

interior da camada e, com a passagem das aeronaves, a pressão gerada na água aprisionada pode ocasionar a rutura da camada de revestimento.

- Como não há dados sobre o teor do ligante, é possível que esse tenha sido insuficiente e, com isso, ter provocado a desagregação, principalmente na presença de água, uma vez que os dados sobre a composição da mistura não foram disponibilizados.
- O ligante utilizado na mistura betuminosa apresenta baixa consistência, como indicado por Lattersolo (2010), sendo inadequado para as características climáticas do local, pois apresenta suscetibilidade térmica muito elevada às altas temperaturas, o que pode promover a ocorrência de deformações plásticas localizadas no revestimento.

As ocorrências citadas acima podem ter influenciado em conjunto ou isoladamente para a degradação da camada de revestimento do pavimento em questão.

Analisando a localização do aeroporto em estudo, das possíveis soluções para garantir as características das superfícies do pavimento em condições de chuva, o *grooving* seria a melhor escolha, pois é uma medida eficaz para evitar a ocorrência de hidroplanagem, fornece grande macrotextura e não está sujeita a tantas interferências climáticas ou à colmatção, bem como não apresenta durabilidade comprometida devido à ação de agentes externos.

Outro fator a ser considerado para a escolha ou não da CPA como revestimento, tem relação com o custo dessa solução frente ao *grooving*. Fatores como as exigências quanto aos betumes modificados, a qualidade superior do agregado, a sinalização horizontal e a necessidade de uma camada de ligação de boa qualidade, associados à curta vida útil do CPA, elevam ainda mais o custo com a aplicação dessa camada, uma vez que deve ser realizada a remoção completa da camada comprometida antes da aplicação de uma nova.

Com a realização deste trabalho, conclui-se que a CPA só deve ser utilizada como revestimento de pavimentos aeroportuários caso as especificações preconizadas pelos órgãos competentes sejam seguidas rigorosamente, para que a vida útil não seja comprometida.

Os objetivos propostos para a realização deste trabalho foram alcançados, conforme o desenvolvimento do mesmo.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível perceber como uma única patologia pode ser motivada por diferentes fatores, associados ou não. Dessa maneira, é necessário o aprofundamento no estudo desses fatores, bem como a análise de dados específicos que não foram disponibilizados para a realização deste estudo de caso.

Realizar um estudo no qual se faça o acompanhamento do projeto para a estrutura da dosagem da mistura betuminosa CPA e de sua execução em uma pista de aeroportos, possibilitando avaliar as dificuldades e possíveis falhas ocorridas nas diversas etapas do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA LUSA. Russo Mitiukhin assume liderança da Catoca. 2015. Disponível em:
<<http://www.redeangola.info/russo-mitiukhin-assume-lideranca-da-catoca/>>. Acesso em: 25 ago. 2016.
- ANGOP (Saurimo). Lunda Sul: Saurimo comemora 59 anos da sua fundação. 2015. Disponível em:
<http://www.angop.ao/angola/pt_pt/noticias/sociedade/2015/4/22/Lunda-Sul-Saurimo-comemora-anos-sua-fundacao,7f6543b4-47d1-452e-8632-f31e36e99d6e.html>. Acesso em: 24 ago. 2016.
- ANGOP. TAAG inicia voos regulares a Catoca. 2010. Disponível em:
<<http://www.angonoticias.com/Artigos/item/26435/taag-inicia-voos-regulares-a-catoca>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- APS, M. Classificação Aderência Pneu-Pavimento pelo Índice Combinado IFI – International Friction Index para Revestimentos Asfálticos. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, USP. São Paulo. 2006. 179p.
- Associação Brasileira de Pavimentação. Boletim técnico n.º 18 – Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 1999. 28p.
- ASTF (Suécia). **ASFT friction measuring system**. 2016. Disponível em: <<http://www.asft.se/measuring-system>>. Acesso em: 18 out. 2016.
- BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.
- BEZERRA FILHO, Claudio Inon Farias; OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de. **ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE A MACROTEXTURA E O COEFICIENTE DE ATRITO EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**. Fortaleza: Universidade de Fortaleza, /. 11 p.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLZAN, P.E., NICHOLLS, G.A. Huber, Searching for Superior Performing porous Asphalt Wearing Courses, TRB 2001 Annual Meeting, transportation research board. National Research Council. Washington, D.C. 2001.

CEPSA. 2016. Disponível em:

<http://www.cepsa.com/stfls/CepasaCom/PROAS/Productos_proas/Carretera/Ficheros/Cepsasfalt 60-70.Rev.2.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ES 386/99**: Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito. Rio de Janeiro: Dner, 1999. 15 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE. **IPR - 719**: Manual de Pavimentação. 3 ed. Rio de Janeiro: Dnit, 2006. 278 p.

DOUGLAS EQUIPMENT. **Mu-Meter Runway Friction Measurement**. 2016. Disponível em: <Fonte: http://www.douglasequipment.co.uk/05_Mu-Meter.html>. Acesso em: 15 out. 2016.

DUARTE, João Pedro Sousa. **Avaliação do Coeficiente de Atrito em Aeroportos Portugueses**. 2011. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143164978/João Duarte 56508.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143164978/João%20Duarte%2056508.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2016.

DYNATEST. **RUNWAY FRICTION TESTER (RFT) 6875**. 2016. Disponível em: <<http://www.dynatest.com/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

FERNANDES, Cristina Isabel Cachado dos Santos Henriques. **Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários: Caracterização e Aplicabilidade**. 2010. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142226863/Tese_CF.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2016.

FORTES, Rita Moura; MERIGHI, João Virgílio. – Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Rígidos – Método do FAA. São Paulo: Merighi, /. 15 p.

FREITAS, Elisabete F. Contribuição da Superfície dos Pavimentos para a Produção de Ruído. Guimarães: Universidade do Minho, 2008. 12 p.

FINDLAY IRVINE. **GripTester MK2 For Airports**. 2016. Disponível em: <<http://www.findlayirvine.com/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

HALLIDAY TECHNOLOGIES. **RT3 Flight Friction Testing**. 2016. Disponível em: <<http://www.hallidaytech.com/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

- INSTITUTO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS (Lisboa) (Ed.). **Construção e Reabilitação de Pavimentos: Ligantes Betuminosos**. Lisboa: Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, 2009. 39 p.
- IGUAL, Javier Zamorano. **CATÁLOGO PARA PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **ANEXO 14: Aerodromes - Aerodrome Design and Operations**. 3 ed. -: ICAO, 2014. 211 p.
- KANDHAL, P.S. Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. National Asphalt Pavement Association. Information Series 115. Lanham, Maryland. 2002.
- KING, Ryan; HARVEY, Gary G.; COOK, John. **IMPROVED POROUS FRICTION COURSES (PFC) ON ASPHALT AIRFIELD PAVEMENTS**. Ridgeland: Burns Cooley Dennis, Inc., 2007. 157 p. Airfield Asphalt Pavement Technology Program.
- LATERSOLO (São Paulo) (Org.). **RELATÓRIO – PISTA DE POUSO DECOLAGEM DE CATOCA**. São Paulo: Latersolo, 2010. 11 p.
- LIMA, Maria Inês de Castro. **Avaliação do PCN em pavimentos aeroportuários**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade do Minho, Minho, 2014. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/36350>>. Acesso em: 27 jun. 2016.
- LEFEBVRE, G. POROUS ASPHALT. PIARC Technical Committee of Flexible Roads and Association of Road Congresses. 1993.
- LUGÃO, Wilson Gandini. **ANÁLISE DA ADERÊNCIA ENTRE PNEU E PAVIMENTO COM CAMADA POROSA DE ATRITO NO AEROPORTO INTERNACIONAL TANCREDO NEVES – MG**. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- MOVENTOR. **Skidometer BV11**. Disponível em: <<http://moventor.com/>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- NEUBERT AERO CORP.. **Runway Friction Equipment**. 2016. Disponível em: <<https://www.airportnac.com/>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- NEVES FILHO, Cláudio Luiz Dubeux. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha**. 2004. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.
- NORSEMETER FRICTION. **RUNAR - a unit for Airports**. 2016. Disponível em: <<http://www.norsemeter.no/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de; ALMEIDA, Lucas Cavalcante de; RAMOS, Saulo Passos. Estudo do comportamento da aderência e do conforto ao rolamento em pistas de pouso e decolagem.

Transportes, São Paulo, v. 2, n. 24, p.27-33, jun. 2016.

PALMA, Giovano; PRADO, Lucius de Albuquerque. CONSIDERAÇÕES SOBRE A FORMAÇÃO DE LÂMINA D'ÁGUA EM PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM DE AEROPORTOS. São Paulo: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2011. 14 p

Pasquet, A. Campagne nationale de glissance 1967 in France; In: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA GLISSANCE ET LA CIRCULATION SUR ROUTES MOUILÉES, Berlin, 1968. Alemanha. Pp 717-732.

PERES, Ricardo; SILVA, Gilberto Teixeira da; MERIGHI, Joao Virgílio. **INFLUÊNCIA DA NATUREZA DA SUPERFÍCIE DE CONTATO NA GERAÇÃO DE ADERÊNCIA NOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**. Recife: V Jornadas Luso-brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias, 2006. 14 p. Disponível em: <[http://www.andit.org.br/vjornada/Trabalho Final/Trabalho V-039.pdf](http://www.andit.org.br/vjornada/Trabalho%20Final/Trabalho%20V-039.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2016.

RODRIGUES FILHO, Oswaldo Sansone. **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários**: estudo de caso d aeroporto internacional de São Paulo. 2006. 290 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-01122006-142419/pt-br.php>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

SERVICE TECHNIQUE DE L'AVIATION CIVILE. **Analyseur de profil en long**. 2016. Disponível em: <<http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/galleries/zoomgcp/galegcp25.php>>. Acesso em: 15 out. 2016.

SILVA, João Paulo Sousa. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/3470>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

SILVA, Patricia Barboza da. **Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas sma 0/8s**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA (Catoca). Uma Empresa a Valorizar o Brilho do Povo. 2016. Disponível em: <http://www.catoca.com/empresa_catoca.asp>. Acesso em: 24 ago. 2016.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **150/5320-6F**: Airport Pavement Design and Evaluation. F ed. Washington, Dc: Federal Aviation Administration, 2016b. 169 p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **150/5320-12C**: MEASUREMENT, CONSTRUCTION, AND MAINTENANCE OF SKID-RESISTANT AIRPORT PAVEMENT SURFACES. C ed. Washington, Dc: Federal Aviation Administration, 1997. 45 p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **150/5320-12D**: Measurement and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces. D ed. Washington, Dc: Federal Aviation Administration, 2016a. 40 p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. 150/5335-5A: Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN. A ed. Washington, Dc: Faa, 2006. 63 p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **150/5335-5C**: Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN. C ed. Washington, Dc: Federal Aviation Administration, 2014b. 113 p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. 150/5370-10C: STANDARDS FOR SPECIFYING CONSTRUCTION OF AIRPORTS. C ed. Washington, Dc: Faa, 2007. 511 p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **150/5380-6C**: Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements. C ed. Washington, Dc: Federal Aviation Administration, 201a4. 52 p.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. 50/5370-10F: Standards for Specifying Construction Of Airports. F ed. Washington, Dc: Federal Aviation Administration, 2011. 580 p.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/pt-br.php>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

WORLD, Maps Of (Org.). **Angola Mapa**. 2014. Disponível em: <<http://pt.mapsofworld.com/angola/>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

ANEXOS

Anexo I – Dimensionamento da Estrutura do Pavimento do Aeroporto de Catoca Utilizando o Software FAAIRFIELD

Anexo II – Plantas do Projeto da Pista de Aterragem e Descolagem do Aeroporto de Catoca

II.1 Sistema de drenagem – localização dos poços de de inspecção

II.2 Corte da seção transversal

Anexo I

Engineer - JOÃO VIRGÍLIO MERIGHI

AIP No. 007//2009

Enter

Comments

10" Total Thickness Required (inches)

No thickness adjustments required

Stabilized Base/Subbase Are Not Required

Initial Pavement Cross Section		Stabilized or Modified Cross Section		Factors
4"	Pavement Surface Layer (P-401)	4"	P-401 Plant Mix Bituminous Pavements	
6" (1,52)	Base Layer (P-209)	4,5"	P-304, Cement Treated Base Course	1,4
0"	Subbase #1 (P-154) CBR= 20	0"	P-208, Aggregate Base Course	1
0"	Subbase #2 CBR= 0	0"	Material as defined by user	
0"	Subbase #3 CBR= 0	0"	Material as defined by user	

() = Submiminal base thickness calculation

Frost Considerations			
100 lb/cf	Dry Unit Weight of Soil		
1000	Degree Days °F		
45"	Frost Penetration Depth		
10	Original CBR value of subgrade Soil		
10	CBR Value used for the Subgrade Soil	Non-Frost Code for Subgrade Soil	
20	CBR Value used for subbase #1	Non-Frost code for Subbase #1	
0	CBR Value used for subbase #2	No frost selection made for Subbase #2	
0	CBR Value used for subbase #3	No frost selection made for Subbase #3	

Design Aircraft Information			
The Design Aircraft is a DUAL50 - 50,000 lbs -- ()			
50000 lbs	Gross Weight	20	Design Life (years)
500	Equivalent Annual Departures		

Subgrade Compaction Requirements for Design Aircraft			
Non-Cohesive Soils		Cohesive Soils	
Compaction	Depth Required	Compaction	Depth Required
100%	0 - 12"	95%	0 - 6"
95%	12 - 28"	90%	6 - 10"
90%	28 - 38"	85%	10 - 17"
85%	38 - 50"	80%	17 - 22"

See Appendix 5 to AC 150/5320-6D, Airport Design and Evaluation, for application of this software.

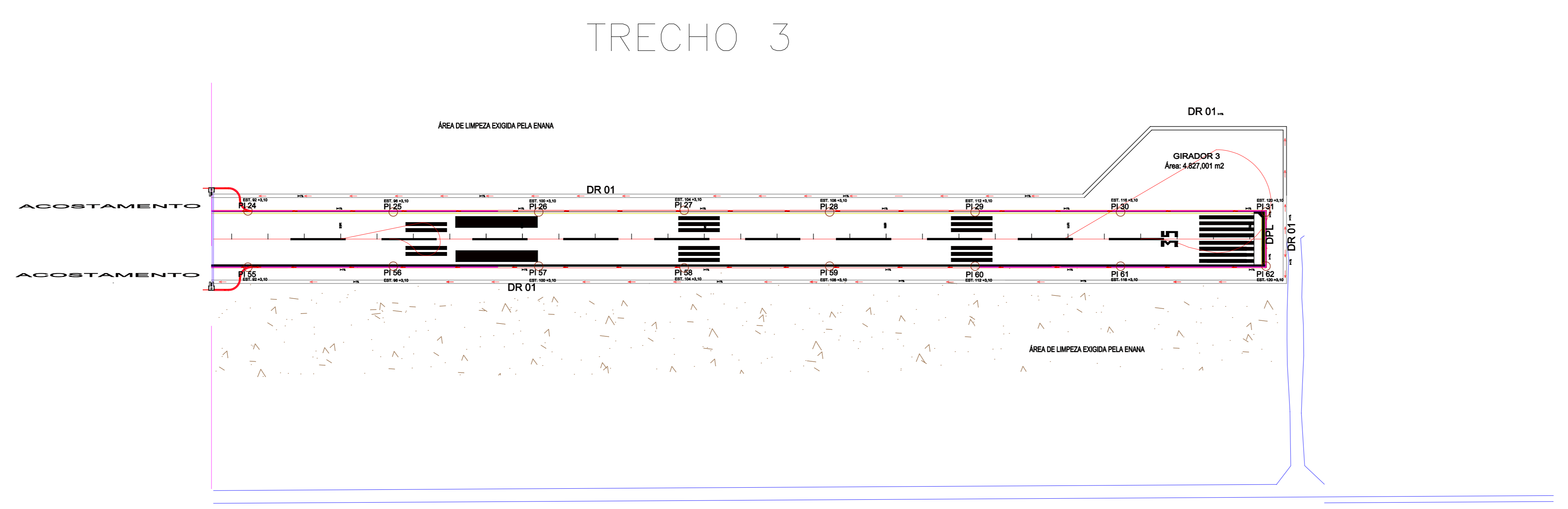
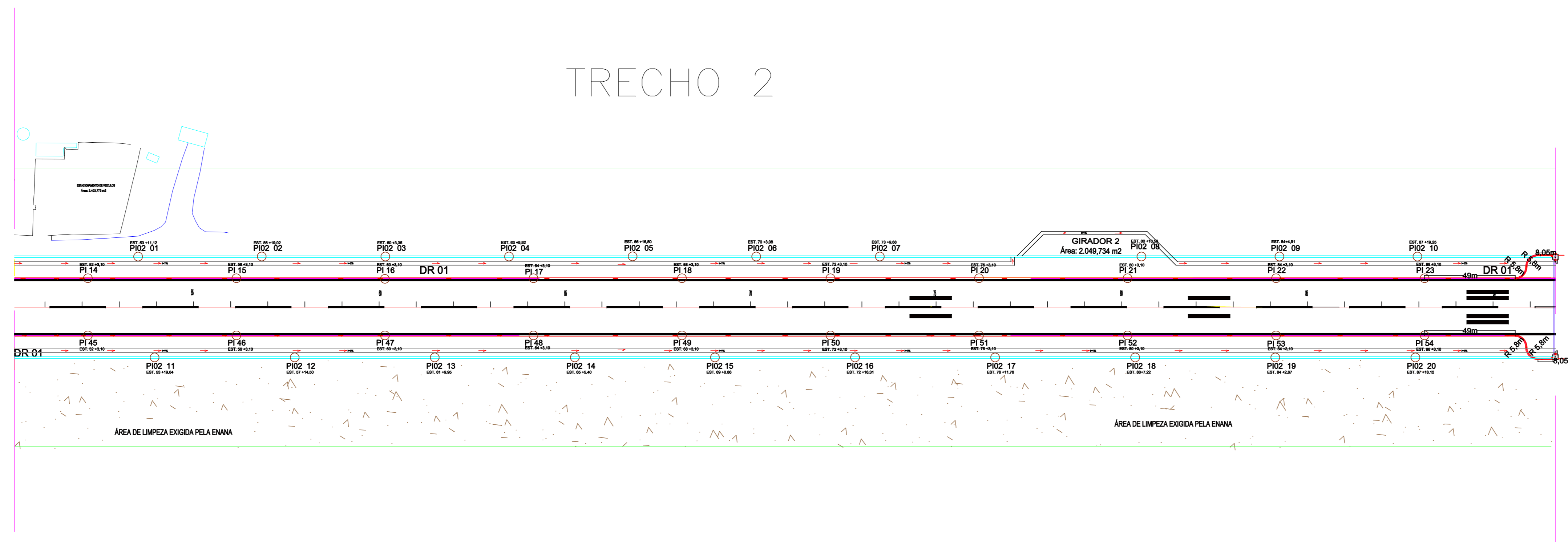
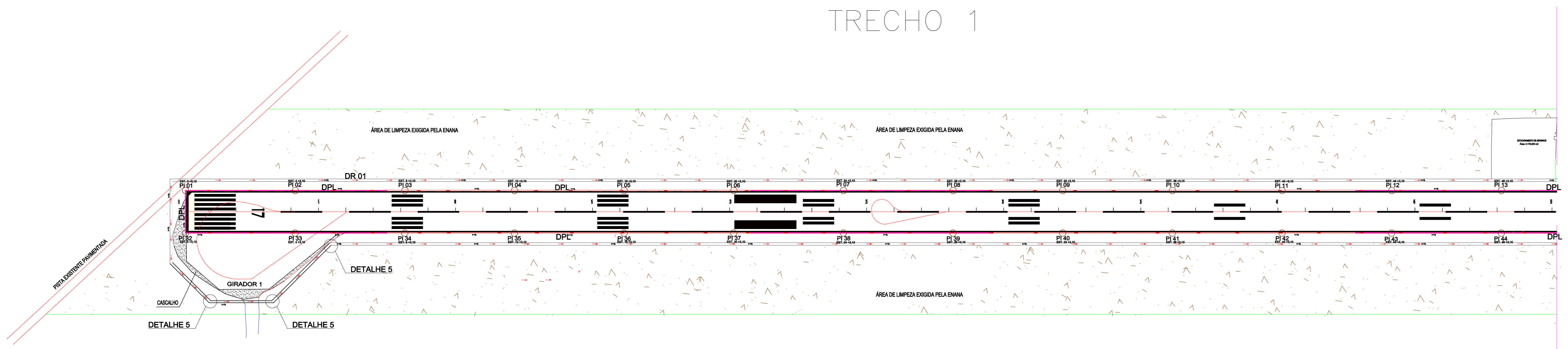
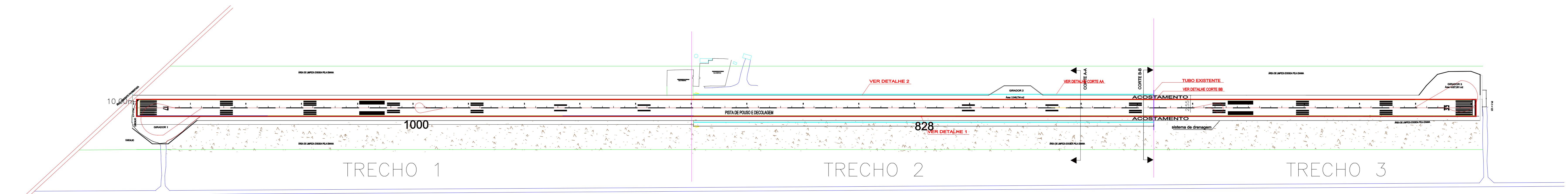
Print Summary Only

Return to Flexible Design

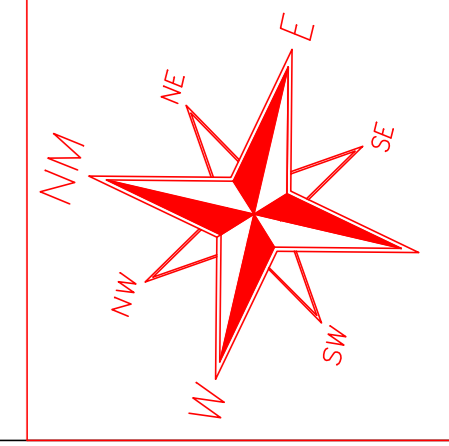
View/Print Graph of Departure vs Total Thickness

View/Print Graph of CBR vs Total Thickness

ANEXO II



LEGENDA	
DR 01	CANALETA DE CONCRETO TRAPEZOIDAL
DPL	DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO
PI	POÇO DE INSPEÇÃO DE DRENO PROFUNDO A CADA 80m
PI02	POÇO DE INSPEÇÃO PARA TUBO DE CONCRETO
	CANALETA DE CONCRETO TRAPEZOIDAL
	DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO
	DRENO EXISTENTE
	DRENO PROFUNDO
	CANALETA DE DRENAGEM SUPERFICIAL
	TUBO COLETOR DE CONCRETO Ø80



NOTAS

- 1) MEDIDAS EM CM, EXCETO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.
- 2) A DECLIVIDADE MÍNIMA NO FUNDO DA SAÍDA DO DRENO PROFUNDO SERÁ DE 1%.
- 3) O TUBO DE LIGAÇÃO DO DRENO PROFUNDO À CAIXA COLETOIRA DEVERÁ SER DO TIPO NÃO PERFORADO.
- 4) AS FACES VERTICAIS DAS EXTREMIDADES INICIAL E FINAL DO DRENO PROFUNDO E A CAIXA COLETOIRA OU DE INSPEÇÃO DEVERÃO SER FECHADAS COM MANTA GEOTÊXTIL.
- 5) DEVERÁ SER UTILIZADO CONCRETO COM Fck ≥ 20MPa E CONSUMO MÍNIMO 300kg/m³. O CONCRETO DEVE TER SLUMP COM TRABALHABILIDADE QUE PERMITA A EXECUÇÃO DO CANAL SEM A NECESSIDADE DE UTILIZAÇÃO DE FORMA FRONTAL NAS PAREDES LATERAIS.
- 6) A DECLIVIDADE DO TUBO DEVE SER DE NO MÍNIMO 0,5%.
- 7) AS COTAS FORNECIDAS PELO CONSÓRCIO VIA SEGURA FIDENS SÃO DO EIXO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM.
- 8) O POÇOS DE INSPEÇÃO DEVEM SER CONSTRUÍDOS A CADA 80m.
- 9) DEVERÁ SER APLICADA UMA CAMADA DE 5cm DE LASTRO DE CONCRETO MAGRO (CONSUMO 150kg/m³) PARA BASE.
- 10) DEVERÁ SER REALIZADO MANUTENÇÕES NAS CANALETAS, CAIXAS DE PASSAGEM E POÇOS DE INSPEÇÃO PARA EVITAR ASSOREAMENTO.
- 11) PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO NÃO FORAM REALIZADAS SONDAGENS PROFUNDAS, NEM ENSAIO DE PERMEABILIDADE IN SITU E NEM EM AMOSTRA DE SOLO.

DOCUMENTOS

- HDR_101-001 SISTEMA DE DRENAGEM DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM
- HDR_101-002 SISTEMA DE DRENAGEM DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM
- HDR_101-003 PERFIL POÇO DE INSPEÇÃO PARA DRENO PROFUNDO
- HDR_101-004 PERFIL POÇO DE INSPEÇÃO PARA TUBO DE CONCRETO
- HDR_102-001 CORTE SEÇÃO TRANSVERSAL A-A
- HDR_102-002 CORTE SEÇÃO TRANSVERSAL B-B
- HDR_102-003 DETALHES DE DRENAGEM 01 a 03
- HDR_102-004 DETALHES DE DRENAGEM 04 a 08
- HDR_102-005 DETALHES DE DRENAGEM 07 a 08
- HDR_102-006 DETALHES DE DRENAGEM 09 a 10
- HDR_102-007 DETALHE DE DRENAGEM 11
- HDR_102-008 DETALHES DE DRENAGEM 12 a 16
- HDR_102-009 DETALHE DE DRENAGEM 13
- HDR_102-010 DETALHE DE DRENAGEM 14
- HDR_102-011 DETALHE DE DRENAGEM 15
- HDR_103-001 DETALHE DE ARMAÇÃO PARA DRENO SUPERFICIAL

NORMAS A SEREM SEGUIDAS:

- DIRENG- DIRETORIA DE ENGENHARIA DA AERONÁUTICA
- ADVISORY CIRCULAR- AC 100520-SC, Airport Drainage, dated July 1, 1970.
- ADVISORY CIRCULAR- AC 100520-15, Airport Design, dated September 28, 1989.
- DNIT 015/2006- ES- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Drenagem- Drenos Subterrâneos- Especificação de Serviço
- DNIT 020/2004- ES- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Drenagem- Caixa Coletora- Especificação de Serviço
- DNIT IPR 175/2006- MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA PARA ESTRUTURA DE DRENAGEM
- DNIT IPR 174/2006- MANUAL DE DRENAGEM DE ROÇOVAS
- NBR 10844- INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS
- TIGRE- CATÁLOGO PREDIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS

REVIS.	DESCRIÇÃO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.

IMPORTANTE:
EM HIPÓTESE ALGUMA NENHUM OPERÁRIO DEVE DESER DENTRO DA VALA SEM QUE A MESMA ESTEJA DEVIDAMENTE ESCORADA

AS INFORMAÇÕES DESTA DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA LATERISOLO SERVIÇOS DE CONSULTORIA EM PROJETOS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

LATERISOLO SERVIÇOS DE CONSULTORIA EM PROJETOS
RESPONSÁVEL TÉCNICO:
ENG. JOÃO VIRGÍLIO MERGHI
CREA SP: 060.127.876-0

LATERISOLO CONSULTORIA
CONSÓRCIO **Via Segura FIDENS**

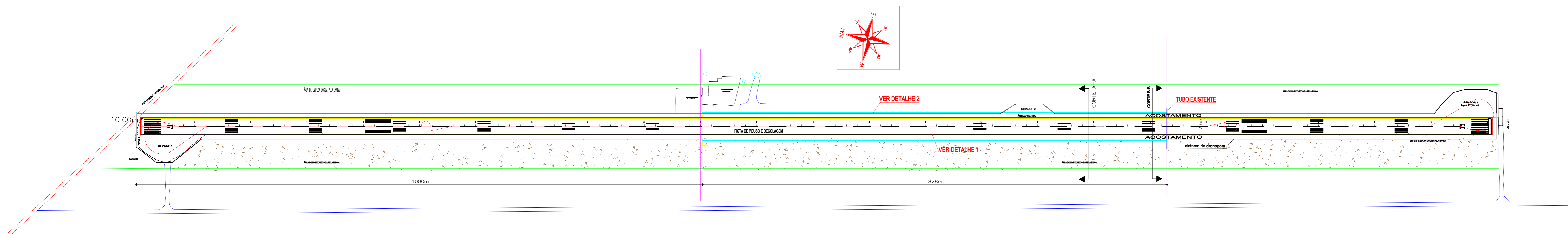
CLIENTE:
CONSÓRCIO VIA SEGURA-FIDENS

ÁREA:
AEROPORTO DE CATOCA

TÍTULO:
SISTEMA DE DRENAGEM DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

SUBTÍTULO:
LOCAÇÃO DOS POÇOS DE INSPEÇÃO

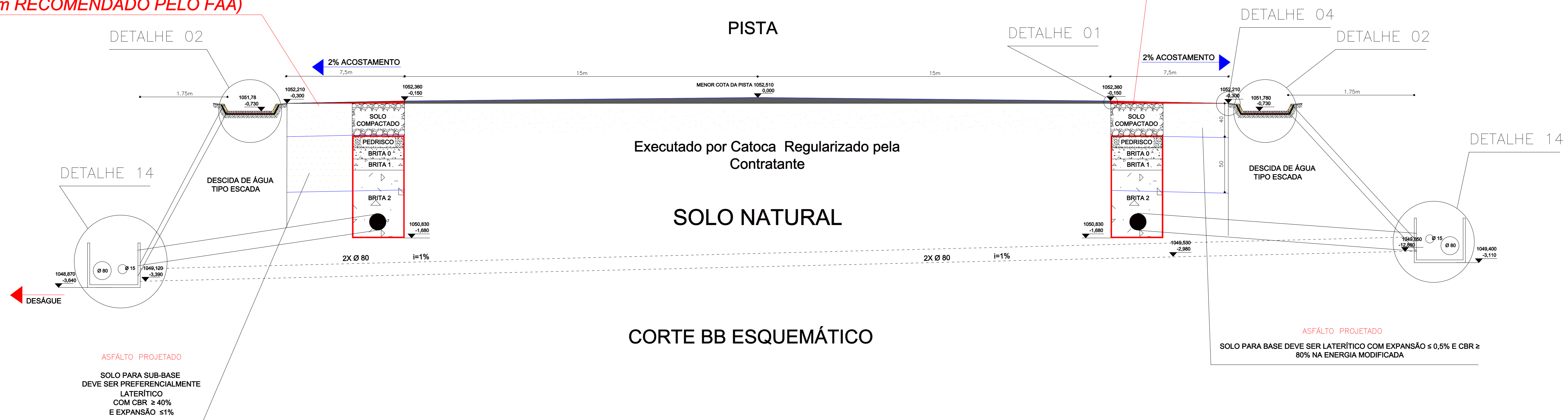
PROJ: AGATA SANTIAGO FRANCISCO FORTES MERGHI	EXEC: VIVIANE D. FURTADO	VERIF: JOÃO VIRGÍLIO MERGHI	APROV: JOÃO VIRGÍLIO MERGHI
ESCALA: SEM ESCALA	MEDIDAS EM CM	FOLHA: 02/04	
DATA: 26/06/2011	Nº: HDR-101-002		



CORTE SEÇÃO TRANSVERSAL A-A

CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE (CAUQ) 3cm (5 cm RECOMENDADO PELO FAA)

CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE (CAUQ) 3cm (5 cm RECOMENDADO PELO FAA)



LEGENDA

DR 01	CANALETA DE CONCRETO TRAPEZOIDAL
DPL	DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO
PI	POÇO DE INSPEÇÃO DE DRENO PROFUNDO A CADA 80m
PI02	POÇO DE INSPEÇÃO PARA TUBO DE CONCRETO
	CANALETA DE CONCRETO TRAPEZOIDAL
	DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO
	DRENO EXISTENTE
	DRENO PROFUNDO
	CANALETA DE DRENAGEM SUPERFICIAL
	SAÍDA A CADA 1000m
	TUBO COLETOR DE CONCRETO Ø80

NOTAS

- 1) MEDIDAS EM m, EXCETO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.
- 2) OS VALORES DA TABELA DEVERÃO SER COMPROVADOS POR MEIO DE ATESTADO DE CONFORMIDADE DADO PELO FABRICANTE CONTENDO OS RESULTADOS DE ENSAIOS REALIZADOS PARA O LOTE DE FABRICAÇÃO RESPECTIVO (VER ESPECIFICAÇÕES).
- 3) A DECLIVIDADE MÍNIMA NO FUNDO DA SAÍDA DO DRENO PROFUNDO SERÁ DE 1%.
- 4) TODO MATERIAL DRENANTE DEVERÁ SER ACOMODADO MEDIANTE VIBRAÇÃO COM EQUIPAMENTO ADEQUADO.
- 5) O TUBO DE LIGAÇÃO DO DRENO PROFUNDO À CAIXA COLETORES DEVERÁ SER DO TIPO NÃO PERFURADO.
- 6) AS FACES VERTICAIS DAS EXTREMIDADES INICIAL E FINAL DO DRENO PROFUNDO E A CAIXA COLETORES DE INSCRIÇÃO DEVERÃO SER FECHADAS COM MANTA GEOTÊXTIL.
- 7) DEVERÃO SER EXECUTADOS JUNTAS DE CONSTRUÇÃO A CADA 5m.
- 8) DEVE SER UTILIZADO PARA A JUNTA DE CONSTRUÇÃO SELANTE DE SILICONE COM CURA NEUTRA COM UMIDADE "TIPO SIKASIL POOL".
- 9) DEVERÁ SER UTILIZADO CONCRETO COM Fc ≥ 20MPa E CONSUMO MÍNIMO 300kg/m³. O CONCRETO DEVE TER SLUMP COM TRABALHABILIDADE QUE PERMITA A EXECUÇÃO DO CANAL SEM A NECESSIDADE DE UTILIZAÇÃO DE FORMA FRONTAL NAS PAREDES LATERAIS.
- 10) A DECLIVIDADE DO TUBO DEVE SER DE NO MÍNIMO 0,5%.
- 11) AS COTAS FORNECIDAS PELO CONSÓRCIO VIA SEGURA FIDENS SÃO DO EIXO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM.
- 12) O POÇOS DE INSPEÇÃO DEVEM SER CONSTRUÍDOS A CADA 80m.
- 13) DEVERÁ SER APLICADA UMA CAMADA DE 5cm DE LASTRO DE CONCRETO MAGRO (CONSUMO150kg/m³) PARA BASE.
- 14) DEVERÁ SER REALIZADO MANUTENÇÕES NAS CANALLETAS, CAIXAS DE PASSAGEM E POÇOS DE INSPEÇÃO PARA EVITAR ASSOREAMENTO.
- 15) PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO NÃO FORAM REALIZADAS SONDAGENS PROFUNDAS.

DOCUMENTOS

- HDR_101-003 PERFIL POÇO DE INSPEÇÃO PARA DRENO PROFUNDO
- HDR_101-004 PERFIL POÇO DE INSPEÇÃO PARA TUBO DE CONCRETO
- HDR_102-001 CORTE SEÇÃO TRANSVERSAL A-A
- HDR_102-002 CORTE SEÇÃO TRANSVERSAL B-B
- HDR_102-003 DETALHES DE DRENAGEM 01, 02 e 03
- HDR_102-004 DETALHES DE DRENAGEM 04, 05 e 06
- HDR_102-005 DETALHES DE DRENAGEM 07 e 08
- HDR_102-006 DETALHES DE DRENAGEM 09 e 10
- HDR_102-007 DETALHE DE DRENAGEM 11
- HDR_102-008 DETALHES DE DRENAGEM 12 e 13
- HDR_102-009 DETALHE DE DRENAGEM 13
- HDR_102-010 DETALHE DE DRENAGEM 14
- HDR_102-011 DETALHE DE DRENAGEM 15
- HDR_103-001 DETALHE DE ARMAÇÃO PARA DRENO SUPERFICIAL

NORMAS A SEREM SEGUIDAS:

- DRENAGEM DIRETORIA DE ENGENHARIA DA AERONÁUTICA
- ADVISORY CIRCULAR- AC 150520-5C, Airport Drainage, dated July 1, 1970.
- ADVISORY CIRCULAR- AC 150520-13, Airport Design, dated September 28, 1989.
- DNT 015.2006- ES- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Drenagem- Drenos Subterrâneos- Especificação de Serviço
- DNT 020.2004- ES- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Drenagem- Caixa Coletora- Especificação de Serviço
- DNT IPR 175.2005- MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA PARA ESTRUTURA DE DRENAGEM
- DNT IPR 724.2006- MANUAL DE DRENAGEM DE RODOVIAS
- NBR 10844- INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS
- FIGRE- CATÁLOGO PREDIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS

R01	REVIS.	DETALHES	12/07/2011	V. FURTADO	J. MERIGHI	J. MERIGHI
		DESCRIÇÃO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.

IMPORTANTE:
EM HIPÓTESE ALGUMA NENHUM OPERÁRIO DEVE DESER DENTRO DA VALA SEM QUE A MESMA ESTEJA DEVIDAMENTE ESCORADA.

AS INFORMAÇÕES DESTA DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA LATERISOLO SERVIÇOS DE CONSULTORIA EM PROJETOS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

LATERISOLO SERVIÇOS DE CONSULTORIA EM PROJETOS
RESPONSÁVEL TÉCNICO:
ENR. JOÃO VIRGÍLIO MERIGHI
CREA SP: 060.127.578-0



CLIENTE: CONSÓRCIO VIA SEGURA-FIDENS

ÁREA: AEROPORTO DE CATOCA

TÍTULO: SISTEMA DE DRENAGEM DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

SUBTÍTULO: CORTE SEÇÃO TRANSVERSAL B-B

PROJ. AGATA SANT'ANNA	EXEC. VIVIANE D. FURTADO	VERIF. JOÃO VIRGÍLIO MERIGHI	APROV. JOÃO VIRGÍLIO MERIGHI
ESCALA SEM ESCALA	MEDIDAS EM cm	FOLHA	02/11
DATA 12/07/2011	Nº	HDR-102-002	