

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ISABELLA SILVA VALVERDE

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DE UM AERÓDROMO EM BARRA
DO GARÇAS – MT**

BARRA DO GARÇAS – MT

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ISABELLA SILVA VALVERDE

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DE UM AERÓDROMO EM BARRA
DO GARÇAS – MT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do Curso de Engenharia Civil – UFMT, Campus Universitário do Araguaia – MT, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Prof. Orientador: Dr. Dionatas Hoffmann Andreghetto.

BARRA DO GARÇAS – MT

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

V215e Valverde, Isabella Silva.

Estudo das Condições de Superfície em um Aeródromo em Barra do Garças - MT [recurso eletrônico] / Isabella Silva Valverde. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 97 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientador: Dionatas Hoffmann Andreghetto.

TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2022.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Método do PCI.. 2. Macrotextura.. 3. Pista de Pouso e Decolagem.. 4. Segurança.. I. Andreghetto, Dionatas Hoffmann, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO
TRABALHO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL
ATA DE DEFESA PÚBLICA**

ALUNO(A): Isabella Silva Valverde

Aos dois dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e dois, às 15h30, em ambiente remoto em <https://meet.google.com/ftn-4cqx-buo>, do Campus Universitário do Araguaia, da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, na cidade de Barra do Garças-MT foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa da Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Isabella Silva Valverde. A banca foi composta pelos seguintes professores: Prof. Dr. Dionatas Hoffmann Andreghetto – Orientador(a); Prof. Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira; Dr. Eduardo Pasche, sob a presidência do (a) primeiro (a). O Trabalho de Curso tem como título “ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DE UM AERÓDROMO EM BARRA DO GARÇAS – MT”. Após explanação no prazo regulamentar o(a) aluno(a) foi interrogado(a) pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram o(a) aluno(a) e conferiram o(a) mesmo(a) o seguinte resultado Aprovada, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a). Os requisitos a serem observados estão registrados em folha anexa.

Barra do Garças-MT, dois de dezembro de dois mil e vinte e dois.

ASSINATURAS:

Aluno(a):

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Isabella Silva Valverde

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Prof. Dr. Dionatas Hoffmann Andreghetto

ICET/CUA/UFMT

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Prof. Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira

ICET/CUA/UFMT

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Dr. Eduardo Pasche

Nervis Engenharia Ltda

Ciência do (a) Discente é realizada eletronicamente através do SEL.

BARRA DO GARÇAS-MT, 02/12/2022



Documento assinado eletronicamente por DIONATAS HOFFMANN ANDREGHETTO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 02/12/2022, às 18:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Eduardo Pasche, Usuário Externo, em 02/12/2022, às 18:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por RAUL TADEU LOBATO FERREIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 02/12/2022, às 18:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por ISABELLA SILVA VALVERDE, Usuário Externo, em 08/12/2022, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 5316027 e o código CRC A696ECC1.

Referência: Processo nº 23108.098387/2022-47

SEI nº 5316027

Dedico estas páginas aos meus pais Lindomar e Eliana, a minha avó Benedita (*in memoriam*) e aos meus irmãos Paula Lorena e Lorenzo.

AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar meu caminho até aqui, me fortalecendo diante das dificuldades e sendo presente em todos os meus dias, sobretudo naqueles em que eu pensava em desistir. Agradeço também a Nossa Senhora, pelo amparo e proteção durante todo meu caminhar.

À minha mãe Eliana Tomé, minha maior inspiração de força, persistência e determinação, por todo amor, apoio e paciência durante esta etapa tão importante em minha vida, por estar sempre ao meu lado me motivando e perseverando comigo em todas as situações; não ter desistido de lutar comigo diante das dificuldades que surgiam e por ser a maior incentivadora dos meus sonhos, me ajudando no processo de cada um deles.

À minha avó Benedita Tomé (*in memoriam*) pelo amor, cuidado e incentivo, por não ter medido esforços para tornar este momento possível, apostando tudo em mim e proporcionado todo suporte necessário para que eu iniciasse os estudos. Ela tinha muito orgulho por eu ter conseguido entrar na faculdade e infelizmente nos deixou antes do término desta etapa. Mas, espero que esteja feliz por estar chegando ao fim.

Ao meu pai Lindomar Valverde pelo amor, estímulo e auxílio ao longo, por torcer e acreditar em meus anseios e sempre estar ao meu lado.

À minha irmã Paula Lorena, cunhado Ricardo Pereira e sobrinho Paulo Ricardo, por me encorajarem nos momentos difíceis e sempre me auxiliarem no que era preciso. Sobretudo agradeço a minha irmã, por sempre me ouvir, aconselhar e se fazer presente mesmo distante.

Ao Prof. Me. Raul Lobato, por ter iniciado este trabalho comigo, pelo auxílio, atenção e paciência do começo ao fim. Sou muito grata por todo seu esforço e comprometimento em sempre tirar minhas dúvidas e me orientar, foi um prazer imenso trabalhar com você.

Ao meu orientador Dr. Dionatas Andreghetto pelo auxílio e por ter me acompanhado durante este trabalho.

Aos meus avós Nauro Valverde e Izaurina Rodrigues, tia Helina e tia Elvira pelo incentivo constante e cooperação todas as vezes em que precisei.

Ao Odair do Odélio por toda assistência e por nunca medir esforços para me ajudar.

Aos meus amigos Guilherme Lemes, Nathália Ferraz e Laís Batista por nunca terem soltado a minha mão, permanecendo fielmente ao meu lado especialmente nos meus piores dias, pelas palavras de encorajamento e força constante que me deram. Agradeço também à Weber Silva, Luciano Silva e Lídia Paula pelo companheirismo e carinho; e por entenderem minha ausência.

Aos amigos de graduação, Walleson Cunha meu primeiro companheiro neste processo, pelo carinho e cumplicidade, principalmente no início, onde dividimos nossos dias, sorrisos e dificuldades; Leonardo Braz por ter sido meu ombro amigo incontáveis vezes, por todo amor e cuidado; Igor Gehm pela parceria, sobretudo nos trabalhos; e por ter me ajudado a praticar a paciência; Rhuann Pablo por ter caminhado comigo durante toda a realização deste trabalho, além da cooperação no meu estudo de campo; Suellen Maciel pelo carinho, incentivo e colaboração; e a João Lucas Neves, por além de amigo ter sido minha família durante os meus dias longe de casa, por ter me acolhido e ter estado presente nos meus piores e melhores momentos. Talvez sem você o percurso tivesse sido um tanto quando complicado, por isso, sou imensamente grata pela sua amizade e por jamais ter me deixado caminhar sozinha.

À Secretaria Municipal de Turismo e à administração do Aeroporto de Barra do Garças por todo apoio durante a realização da inspeção em campo, em especial Pascoal Lopes, Nilson Ribeiro e Thamires Ferreira.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram com a realização deste trabalho e com minha caminhada durante a graduação.

RESUMO

Com o crescimento do setor aeroviário há uma maior preocupação com as condições das instalações aeroportuárias, sobretudo dos pavimentos das pistas de pouso e decolagem, pois, devem dispor de condições adequadas para que as operações sejam realizadas com segurança, evitando acidentes ou incidentes. A condição superficial do pavimento deve garantir conforto ao rolamento, sendo um parâmetro muito útil na tomada de decisão em relação a ações de intervenção. Além disso, outro fator que se faz extremamente importante é a condição da textura superficial, uma vez que contribui no processo de frenagem das aeronaves e como resultado, nas operações de pouso. O presente trabalho analisou a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Municipal de Barra do Garças – MT, onde foram realizadas inspeções da condição do pavimento através do método do PCI, visando avaliar as degradações superficiais; além da execução do ensaio da mancha de areia para caracterizar a textura superficial. Fundamentando-se nos resultados obtidos foi possível observar que a pista de pouso e decolagem atende aos valores mínimos de textura especificados pela ANAC; bem como, ao índice de condição do pavimento recomendado, necessitando apenas de manutenção de rotina, para que a condição do pavimento seja mantida.

Palavras-chave: Método do PCI. Macrotextura. Pista de Pouso e Decolagem. Segurança.

ABSTRACT

With the growth of the aviation sector, there is a greater concern with the conditions of the airport installations, especially the pavements of the landing and take-off runways, as they must have adequate conditions for the operations to be carried out safely, avoiding accidents or incidents. The surface condition of the pavement must ensure comfort when rolling, being a very useful parameter in decision-making regarding intervention actions. In addition, another extremely important factor is the condition of the surface texture, as it contributes to the aircraft braking process and, as a result, to landing operations. The present work analyzed the landing and take-off runway of the Municipal Airport of Barra do Garças – MT, where inspections of the condition of the pavement were carried out through the PCI method, aiming to evaluate the superficial degradations; in addition to performing the sand stain test to characterize the surface texture. Based on the results obtained, it was possible to observe that the runway meets the minimum texture values specified by ANAC; as well as the recommended pavement condition index, requiring only routine maintenance, so that the pavement condition is maintained.

Key-words: PCI method. Macrottexture. Landing and Takeoff Runway. Safety.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características gerais dos pavimentos	20
Tabela 2 – Principais vantagens e desvantagens das misturas a quente e a frio.....	23
Tabela 3 – Frequência mínima de medição do índice de serventia	29
Tabela 4 – Grau de Severidade das Trincas tipo couro de jacaré.....	31
Tabela 5 – Grau de Severidade das Trincas em Bloco	31
Tabela 6 – Grau de Severidade das Trincas de reflexão.....	31
Tabela 7 – Grau de Severidade das Trincas transversais e longitudinais.....	32
Tabela 8 – Grau de Severidade da Depressão/Afundamento	32
Tabela 9 – Grau de Severidade da Corrugação/Ondulação	32
Tabela 10 – Grau de Severidade do Remendo	33
Tabela 11 – Grau de Severidade do Afundamento da trilha de roda.....	33
Tabela 12 – Grau de Severidade do Desprendimento	34
Tabela 13 – Grau de Severidade da Desagregação.....	34
Tabela 14 – Grau de Severidade do Escorregamento.....	34
Tabela 15 – Grau de Severidade do Solevamento	35
Tabela 16 – Grau de Severidade do Inchamento	35
Tabela 17 – Grau de Severidade da Panela/Buraco.....	35
Tabela 18 – Frequência sugerida para avaliação estrutural do pavimento	37
Tabela 19 – Níveis de serventia.....	37
Tabela 20 – Condição do pavimento em função do IGG	38
Tabela 21 – Escala do PCI.....	39
Tabela 22 – Parâmetros do PCI do Pavimento	41
Tabela 23 – Classificação da textura dos pavimentos.	45
Tabela 24 – Frequência mínima de medição da macrotextura	47
Tabela 25 – Frequência mínima de medição da irregularidade longitudinal	48
Tabela 26 – Frequência mínima de medição de atrito.....	51
Tabela 27 – Tipos de superfícies em função da classe de microtextura e macrotextura	52
Tabela 28 – Classificação da macrotextura	58
Tabela 29 – Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico	63
Tabela 30 – Defeitos de pavimento asfáltico e forma de medição para o Método do PCI	65
Tabela 31 – Medidas a serem adotados de acordo com o PCI	68
Tabela 32 – Tipos de tratamentos para defeitos em pavimentos flexíveis	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura-tipo de pavimento flexível.....	17
Figura 2 – Estrutura-tipo de pavimento rígido	17
Figura 3 – Estrutura de pavimento semirrígido	18
Figura 4 – Classificação dos revestimentos.....	21
Figura 5 – Composição granulométrica dos tipos de mistura a quente	24
Figura 6 – Curvas granulométricas de diferentes misturas usinadas a quente	24
Figura 7 – Texturização manual com vassoura de fios duros.....	26
Figura 8 – Superfície texturizada transversalmente por vassouramento manual	26
Figura 9 – Texturização com o concreto endurecido	27
Figura 10 – Texturização <i>grooving</i> em pista de pouso e decolagem.....	27
Figura 11 – Pavimento com PCI 100.....	39
Figura 12 – Pavimento com PCI 60.....	40
Figura 13 – Pavimento com PCI 20.....	40
Figura 14 – Número de acidentes registrados nos últimos 10 anos por Unidade Federativa...	43
Figura 15 – Ocorrências de acidentes por tipo em Mato Grosso.....	44
Figura 16 – Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico	45
Figura 17 – Fenômeno de adesão e histerese	50
Figura 18 – Superfície com microtextura rugosa e macrotextura aberta.....	52
Figura 19 – Superfície com microtextura rugosa e macrotextura fechada	53
Figura 20 – Superfície com microtextura polida e macrotextura aberta	53
Figura 21 – Superfície com microtextura polida e macrotextura fechada.....	53
Figura 22 – Hidroplanagem dinâmica	55
Figura 23 – Hidroplanagem viscosa	55
Figura 24 – Hidroplanagem por desvulcanização	56
Figura 25 – Banda de rodagem de pneu após hidroplanagem por desvulcanização	56
Figura 26 – Esquema do ensaio de Mancha de Areia.....	58
Figura 27 – Ensaio Mancha de Graxa	59
Figura 28 – Drenômetro	60
Figura 29 – Equipamento MuMeter	60
Figura 30 – Espargidor em funcionamento	60
Figura 31 – MuMeter montado.....	61
Figura 32 – Computador no interior do veículo rebocador	61
Figura 33 – Skiddometer	62
Figura 34 – Pêndulo Britânico.....	62

Figura 35 – Vista aérea do Aeroporto Municipal de Barra do Garças – MT	64
Figura 36 – Localização das unidades amostrais.....	65
Figura 37 – Exemplo de curvas do Valor de Dedução para as Trincas couro de jacaré	66
Figura 38 – Curvas para o Valor de Dedução Corrigido.....	67
Figura 39 – Localização das seções.....	69
Figura 40 – Materiais.....	69
Figura 41 – Valores do PCI para a Cabeceira 07	72
Figura 42 – Valores do PCI para a Cabeceira 25	73
Figura 43 – Comparação dos valores do PCI para cada cabeceira.....	73
Figura 44 – Média do PCI para cada cabeceira e para a pista	74
Figura 45 – Tipos de defeito por cabeceira	75
Figura 46 – Buraco	76
Figura 47 – Altura da Mancha de Areia por seção (Cabeceira 07)	77
Figura 48 – Altura da Mancha de Areia por seção (Cabeceira 25)	77
Figura 49 – Comparação da altura média da Mancha de Areia por cabeceira	78
Figura 50 – Altura média da Mancha de Areia para cada trecho e para a pista	78
Figura 51 – Mancha de Areia (Cabeceira 07).....	79
Figura 52 – Mancha de Areia (Cabeceira 25).....	79
Figura 53 – Comparação da macrotextura no ano de 2019 e 2022	80
Figura 54 – Média da macrotextura da pista no ano 2019 e 2022.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO – *Association of State Highway and Transportation Officials*

(Associação Norte Americana de Especialistas Rodoviários e de Transporte)

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

AC – *Advisory Circular* (Circular Consultiva)

ACRP – *Airport Cooperative Research Program* (Programa de Pesquisa Cooperativa de Aeroportos)

ASTM – *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana de Testes e Materiais)

BPN – *British Number Pendulum* (Pêndulo Numérico Britânico)

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

CA – Concreto Asfáltico

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CPA – Camada Porosa de Atrito

CNT – Confederação Nacional de Transporte

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

ESDU – *Engineering Sciences Data Unit* (Unidade de Dados de Ciências de Engenharia)

FAA – *Federal Aviation Administration* (Administração Federal de Aviação)

FAARFIELD – *FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered*

FOD – *Foreign Object Damage* (Detritos de Objetos Estranhos)

FWD – *Falling Weight Deflectometer* (Deflectômetro de Peso em Queda)

ICAO – *International Civil Aviation Organization* (Organização Internacional da Aviação Civil)

IRI – *International Roughness Index* (Índice de Rugosidade Internacional)

IS – Instrução Suplementar

OACI – *International Civil Aviation Organization* (Organização de Aviação Civil Internacional)

PCI – *Pavement Condition Index* (Índice de Condição do Pavimento)

RBAC – Regulamento Brasileiro da Aviação Civil

SGPA – Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários

SMA – *Stone Matrix Asphalt* (Matriz Pétreas Asfáltica)

SRT – *Skid Resistance Tester* (Testador de Resistência à Derrapagem)

VSA – Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	13
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	PAVIMENTAÇÃO.....	15
2.1.1	Camadas do Pavimento.....	15
2.1.2	Tipos de Pavimentos.....	16
2.1.3	Pavimentos Aeroportuários.....	19
2.1.3.1	Introdução.....	19
2.1.3.2	Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Aeroportuários.....	20
2.1.3.3	Tipos de Revestimentos Asfálticos.....	21
2.1.3.4	Técnicas de Texturização de Pavimentos Rígidos.....	25
2.1.4	Desempenho Funcional e Estrutural.....	28
2.1.5	Avaliação Funcional e Estrutural.....	29
2.1.5.1	Índices de Avaliação Funcional.....	37
2.1.5.1.1	Valor de Serventia Atual (VSA).....	37
2.1.5.1.2	Índice de Gravidade Global (IGG).....	38
2.1.5.1.3	<i>Pavement Condition Index</i> (PCI).....	38
2.1.5.2	Tipos de Intervenção nos Pavimentos.....	42
2.2	CONDIÇÕES DE SEGURANÇA.....	43
2.3	ESCALA DE TEXTURA DOS PAVIMENTOS.....	44
2.3.1	Microtextura.....	46
2.3.2	Macrotextura.....	46
2.3.3	Megatextura e Irregularidade.....	47
2.4	ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO.....	49
2.5	CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE.....	51
2.6	HIDROPLANAGEM.....	54
2.7	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TEXTURA SUPERFICIAL.....	57
2.7.1	Métodos de Avaliação da Textura do Pavimento.....	58
2.7.1.1	Mancha de Areia.....	58

2.7.1.2	Mancha de Graxa	59
2.7.1.3	Drenabilidade	59
2.7.2	Métodos de Avaliação do Atrito do Pavimento.....	60
2.7.2.1	MuMeter.....	60
2.7.2.2	Skiddometer	61
2.7.2.3	Pêndulo Britânico	62
3	METODOLOGIA.....	64
3.1	LOCAL DA PESQUISA.....	64
3.2	MÉTODO DO <i>PAVEMENT CONDITION INDEX</i> (PCI)	64
3.2.1	Localização das Unidades Amostras.....	64
3.2.2	Método	65
3.2.2.1	Inspeção das Unidades Amostras.....	65
3.2.2.2	Cálculo do PCI	66
3.3	ENSAIO DA MANCHA DE AREIA	68
3.3.1	Localização das Seções	68
3.3.2	Materiais.....	69
3.3.3	Método	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
4.1	<i>PAVEMENT CONDITION INDEX</i> (PCI)	71
4.1.1	Análise dos Defeitos e das Condições do Pavimento.....	74
4.2	MANCHA DE AREIA.....	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
6	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	82
7	ANEXO A – CURVAS PARA VALORES DE DEDUÇÃO	87
8	APÊNDICE A – LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO.....	90
9	APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DO <i>PAVEMENT CONDITION INDEX</i> (PCI).....	94
10	APÊNDICE C – PLANILHAS DE LEVANTAMENTO DOS VALORES DE HS	

1 INTRODUÇÃO

Com o processo de globalização, o modal aeroviário tem apresentado constante expansão. Por esse motivo, há uma necessidade maior por eficiência no transporte de cargas e pessoas, gerando conseqüentemente, um aumento na demanda por infraestrutura aeroportuária. Ademais, o aumento de demanda também está associado ao desenvolvimento econômico, viabilizando o acesso de inúmeros usuários a este meio de transporte (RAMOS, 2015).

A crescente utilização da aviação civil carece de melhorias nas instalações aeroportuárias, e o pavimento, consiste em um dos principais instrumentos deste processo. O desempenho das aeronaves nas operações de pouso e decolagem está diretamente ligado às características da superfície das pistas, uma vez que, são responsáveis por dispor adequadas condições de rolamento e assim garantir conforto e segurança aos usuários (FERNANDES, 2010).

Conforme Oliveira (2009), devido as solicitações de tráfego e ação das intempéries, os pavimentos aeroportuários se deterioram ao longo de sua vida útil se, apresentando desgastes que podem favorecer a ocorrência de acidentes envolvendo aeronaves. Desse modo, o monitoramento dos níveis de desempenho e ações de manutenção periódica devem ser conduzidos, a fim de possibilitar que o pavimento possua condições adequadas para as operações.

Nesse contexto, é fundamental a análise de parâmetros que promovam a caracterização superficial dos pavimentos aeroportuários. O presente trabalho tem por finalidade, qualificar as condições de superfície de um aeródromo com base em estudos realizados *in loco* e assim, se necessário, propor soluções para otimizar o bom desempenho do pavimento estudado.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Os pavimentos são estruturas fundamentais em um complexo aeroportuário, por conseguinte, precisam ser projetados, construídos e mantidos, no intuito de oferecer níveis satisfatórios de segurança ao longo de sua vida de projeto (DOMINGOS, 2017).

O estado de Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste do país e de acordo com a Embrapa apresenta clima tropical úmido no norte do estado, e clima tropical caracterizado por um verão chuvoso e inverno seco na região central do estado e no Pantanal Mato-Grossense. O município de Barra do Garças possui clima tropical e temperatura média de 25,6 °C e 1.578,9 mm de pluviosidade média anual (ALVES *et al.*, 2011). A exposição à chuva e ao sol, bem como as operações de pouso e decolagem, são fatores que influenciam na degradação

do aeródromo; e quando não há monitoramento apropriado dessa situação, a estrutura apresenta uma redução de seu desempenho, sendo, portanto, fundamental o monitoramento dos parâmetros de avaliação.

À medida que o pavimento vai apresentando deteriorações em sua textura superficial, a segurança e o conforto de seus usuários são comprometidos; e o desempenho funcional do pavimento passa a atingir graus insatisfatórios de utilização. Segundo o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA, 2022) no período de 2012 a outubro de 2022 foram registrados 1.780 acidentes envolvendo aviões no Brasil; e cerca de 11,35% de todas as ocorrências foram devido à perda de controle no solo, sendo o terceiro maior índice no ranking da pesquisa. Tal fato evidencia a importância das condições de superfície dos aeródromos, para que estes apresentem níveis satisfatórios de desempenho, permitindo que as operações de pouso e decolagem sejam realizadas com segurança.

1.2 JUSTIFICATIVA

Balbo (2007) define pavimento como uma estrutura construída sobre um subleito estradal e é composto por camadas sobrepostas que desempenham funções específicas visando atender adequadamente o fluxo de veículos. O desempenho dos pavimentos está relacionado à sua capacidade de absorver cargas oriundas do tráfego e deter uma superfície que promova satisfação aos utilizadores (BERNUCCI *et al.*, 2008).

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022a) em 2019 houve o maior registro no transporte de passageiros, 119,3 milhões, esses números demonstram o crescimento do modal aéreo brasileiro evidenciando a importância de investimentos coerentes, no sentido de manter os aeródromos existentes em estado adequado de funcionamento.

De acordo com informações obtidas junto a Prefeitura Municipal (2022), responsável pelo Aeroporto de Barra do Garças, o mesmo foi construído em 1986 pelo Exército Brasileiro, no entanto, somente em novembro de 2016, após reforma, passou a contar com voos comerciais. Atualmente dispõe de uma pista pavimentada de 1.598 m e atende voos comerciais da empresa Azul Linhas Aéreas, voos privados e da aviação em geral. Aproximadamente 1.126 pousos/decolagens referentes a voos comerciais e particulares, foram contabilizados de 2019 a 2020. Desde a inauguração em 2016 até 2020 os voos da Azul Linhas Aéreas totalizaram 26.688 mil embarques de passageiros, o que corresponde uma média de aproximadamente 5.338 embarcações por ano.

A ampliação do transporte aéreo deve ser acompanhada de melhorias na qualidade das instalações aeroportuárias, por isso, devem ser feitas supervisões frequentes, que podem ser feitas por meio de técnicas de avaliação objetiva ou subjetiva. Em virtude de aspectos como o tráfego, o clima, e o terreno no qual o pavimento foi construído, os pavimentos aeroportuários vão sendo comprometidos radicalmente caso não haja procedimentos de manutenção e reparação em período oportuno (OLIVEIRA, 2009).

Conforme Bernucci *et al.* (2008), a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), através de estudos realizados, orienta que os serviços de manutenção sejam feitos assim que haja o aparecimento de imperfeições na superfície. Desse modo, as correções elevam a funcionalidade e juntamente com monitoramentos recorrentes proporciona maior durabilidade ao pavimento; em contrapartida, é eminente a necessidade de reconstrução, acarretando custos até cinco vezes maiores, se comparado a realização de manutenções periódicas.

Diante do exposto, a inspeção de pavimentos aeroportuários é imprescindível, sendo esse procedimento responsável pela obtenção de parâmetros que orientam o momento correto de efetuar intervenções no pavimento. A verificação periódica dos índices de desempenho possibilita discernir a ocasião conveniente para corrigir eventuais defeitos, evitando gastos excessivos com reparações tardias.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar as condições de superfície da pista de pouso e decolagem de um aeródromo em Barra do Garças – MT.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho funcional do pavimento através do *Pavement Condition Index* (PCI);
- Caracterizar a macrotextura do revestimento através do método da mancha de areia;
- Sugerir intervenções para a melhoria do desempenho do pavimento, se necessário.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PAVIMENTAÇÃO

O pavimento é uma superestrutura constituída por camadas sobrepostas com espessura finita, assentado sobre um terreno de fundação, denominado subleito. Os materiais contidos nas camadas do pavimento são variados e normalmente possuem resistência e deformabilidade diferentes, contudo, devem trabalhar em conjunto para que o efeito das cargas impostas pelo tráfego e pelas ações do tempo, sejam direcionadas adequadamente à fundação (DNIT, 2006).

Para Balbo (2007), cada camada que integra o pavimento é responsável por receber e transmitir os esforços atuantes às camadas inferiores, todas trabalhando as deformações de acordo com sua capacidade. Assim, o pavimento tem como função garantir boas condições de trafegabilidade proporcionando conforto e segurança aos seus usuários.

2.1.1 Camadas do Pavimento

A seção típica de um pavimento é constituída pelo subleito e camadas com espessuras e materiais determinados através de métodos de dimensionamento. Segundo Silva (2005), o pavimento é composto pelas seguintes camadas: revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, porém, dependendo da situação, não é necessária a utilização das camadas de sub-base e reforço do subleito.

O subleito é um semi-espaco infinito que exerce a função de fundação do pavimento e é responsável por dissipar os esforços oriundos das camadas subjacentes que chegam em sua superfície. Considera-se como subleito o terreno no qual a estrutura de pavimento é construída até a profundidade onde há influência de cargas expressivas, geralmente situadas na faixa de 0,60 m a 1,50 m (DNIT, 2006). Essa camada pode ser formada por material natural consolidado e compactado (em cortes) ou por material transportado e compactado (em aterros) (BALBO, 2007).

A estrutura de um pavimento pode ser composta por uma camada de regularização que visa conformar adequadamente o subleito de acordo com o projeto. Quando a pavimentação é executada logo após a terraplenagem, a regularização apenas corrige as falhas da superfície, já

no caso de um leito estradal antigo, a regularização é executada com pequenos aterros (PINTO; PREUSSLER, 2010).

O reforço do subleito é uma camada assente sobre o subleito, com a função de complementá-lo, quando este, é composto por um solo com baixa resistência aos esforços verticais. Essa alternativa inibe que a fundação receba pressões de maior magnitude, incompatíveis com a sua resistência, o que ocorreria caso um subleito ruim fosse adotado (BALBO, 2007).

A sub-base é a camada complementar da base, executada quando não é recomendável apoiá-la diretamente sobre a regularização ou o subleito. Geralmente é constituída por materiais como cascalho, solo-cal e solo-cimento (SILVA, 2005).

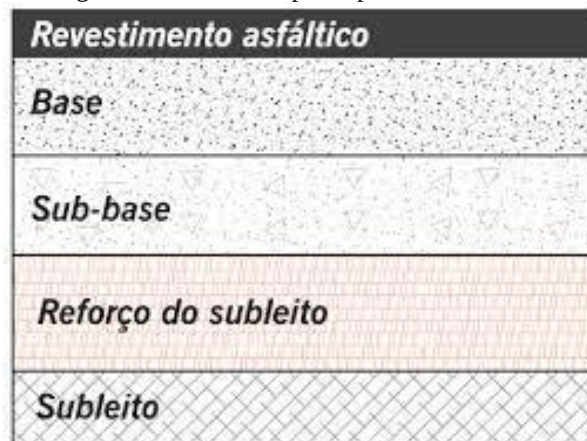
A camada de base é a componente da estrutura destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego (SENÇO, 2007). Situa-se abaixo da camada de revestimento e acima da sub-base, quando existente, ou diretamente sobre o subleito. A base deve reduzir as tensões de compressão no subleito e na sub-base, minimizar ou eliminar possíveis deformações e assegurar que as tensões de flexão no revestimento não o levem ao trincamento prematuro. Os materiais utilizados normalmente possuem especificações mais rigorosas do que os destinados a sub-base, em termos de resistência, plasticidade e durabilidade; e consistem de produtos de britagem, misturas de solos e materiais granulares (PINTO; PREUSSLER, 2010).

O revestimento é a camada mais nobre do pavimento, responsável por receber diretamente as ações do tráfego; também deve trabalhar para reduzir a infiltração no pavimento, proporcionar resistência à derrapagem e proporcionar conforto ao rolamento (PINTO; PREUSSLER, 2010). De acordo com Balbo (2007), é importante que o revestimento seja composto por materiais bem unidos ou dispostos de maneira a impedir sua movimentação horizontal.

2.1.2 Tipos de Pavimentos

Em linhas gerais consideram-se três categorias de pavimentos: flexível, rígido e semir-rígido. Nos aeroportos, normalmente são utilizados pavimento flexível e/ou rígido. Os pavimentos flexíveis, na maioria dos casos, também denominados pavimentos asfálticos, são aqueles que ao sofrer uma deformação, todas as camadas constituintes se deformam e a carga é distribuída proporcionalmente em todas elas. Geralmente são compostos por um revestimento asfáltico formado por material betuminoso, apoiado sobre as camadas de base, sub-base; caso necessário o reforço do subleito e subleito (BERNUCCI *et al.*, 2008). A Figura 1 ilustra a estrutura-tipo de um pavimento flexível.

Figura 1 – Estrutura-tipo de pavimento flexível

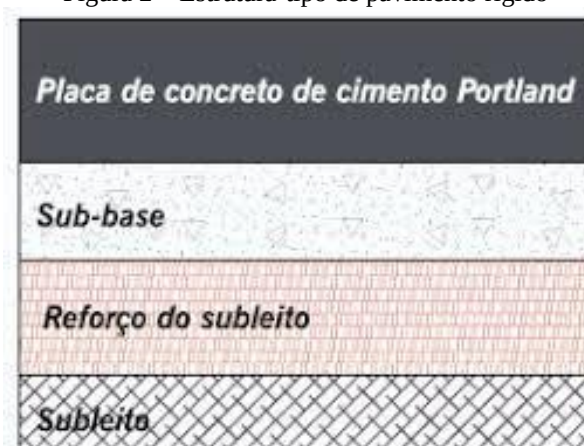


Fonte: BERNUCCI *et al.* (2008)

Nos aeroportos brasileiros essa estrutura é empregada em pistas de pousos e decolagens, de taxiamento de aeronaves e nas vias internas de serviço destinadas à circulação dos veículos e equipamentos de apoio às aeronaves no solo, devidos às boas características de aderência, regularidade e conforto (FERNANDES, 2010; OLIVEIRA, 2009).

Os pavimentos rígidos, também denominados pavimentos de concreto, são aqueles cujo revestimento absorve a maior parte das tensões impostas sob ele, restando parcelas pequenas às camadas subjacentes. São compostos por uma camada de revestimento de concreto de Cimento Portland – normalmente placas, que podem ser armadas ou não –, sub-base e reforço do subleito caso necessário (BERNUCCI *et al.*, 2008). A representação da estrutura-tipo do pavimento rígido é demonstrada na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura-tipo de pavimento rígido



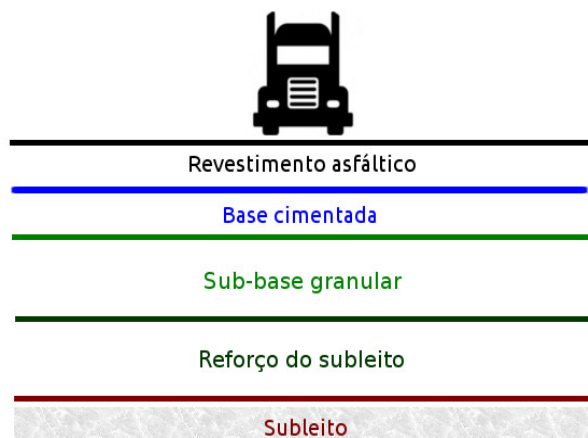
Fonte: BERNUCCI *et al.* (2008)

Conforme Pinto e Preussler (2010), o revestimento de placas de concreto, possui elevada rigidez se comparado às camadas inferiores, por isso, as tensões oriundas do carregamento aplicado são praticamente todas absorvidas.

Nos aeroportos o pavimento rígido é comumente empregue em estacionamento de aeronaves, pátio de manobra e áreas de manutenção dos veículos. O pavimento oferece boa resistência e tende a suportar bem as cargas pontuais impostas pelas aeronaves, além disso, o concreto possui maior resistência química, atendendo os ambientes responsáveis pelo processo de manutenção e reabastecimento das aeronaves, que podem sofrer com o derramamento de combustível, óleos e lubrificantes (OLIVEIRA, 2009).

Conforme Silva (2005) o pavimento semirrígido é constituído por camada de revestimento de asfalto, base cimentada e sub-base de material granular ou solo, como representado na Figura 3. Um pavimento semirrígido também pode ser definido como aquele constituído por revestimento betuminoso e que possua em sua estrutura ao menos uma camada de material estabilizado ou tratado com ligante asfáltico (PIARC, 1991 *apud* BALBO, 2007). Nos terminais aeroviários, seu uso é limitado às áreas de taxiamento e estacionamento (SILVA, 2005; DYNATEST, 2021).

Figura 3 – Estrutura de pavimento semirrígido



Fonte: DER-PR (2005) *apud* Paixão *et al.* (2017)

Silva (2005) salienta que estudos realizados no Texas indicam a necessidade de a base cimentada possuir resistência à compressão axial mínima de 4,6 MPa, para que não haja ruptura precoce devido a compressão no topo da base. Além disso, a dosagem e a execução da base cimentada também devem ser observadas, a fim de minimizar a formação de trincas transversais de retração hidráulica que podem refletir para a camada de revestimento asfáltico.

Entretanto, misturas estabilizadas com ligantes hidráulicos sofrem um intenso e rápido processo de fadiga se comparada aos concretos, devido à sua natureza quase frágil (BALBO, 2005 *apud* BALBO, 2007). Por isso, sofrem intensa fissuração e perda rápida da rigidez, com excessiva nucleação de fratura em sua estrutura interna. Portanto, o pavimento semirrígido tende a ser um pavimento com respostas flexíveis após um período de tempo depois sua construção (BALBO, 2007).

2.1.3 Pavimentos Aeroportuários

2.1.3.1 Introdução

O Código Brasileiro de Aeronáutica define que um aeródromo é toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves e são classificados em civis e militares, sendo os civis divididos em aeródromos públicos e privados. Os aeroportos, portanto, são aeródromos públicos, dotados de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves e de embarque e desembarque de pessoas e cargas (BRASIL, 2022b).

Segundo Medina e Motta (2015) existem diferenças entre o pavimento rodoviário e o aeroportuário, principalmente no que diz respeito às características físicas e geométricas, tipo de tráfego e resistência. Conforme Ramos (2015), os pavimentos aeroportuários demandam maior resistência, uma vez que, cargas de grandes magnitudes serão importas sobre a estrutura, principalmente nas operações de pousos. Em contrapartida, as solicitações são menos frequentes se comparadas aos pavimentos rodoviários, que tendem a receber maiores volumes de tráfego.

Além disso, há considerável preocupação com a manutenção dos pavimentos aeroportuários, buscando que a estrutura desenvolva suas funções estruturais e funcionais adequadamente. Gomes (2008) destaca que o tipo de pavimento a ser aplicado nos aeroportos envolve fatores técnicos e econômicos, tencionando a utilização de pavimentos flexíveis nas pistas de pouso e decolagem e rígidos nos pátios e estacionamentos.

A função primordial dos pavimentos é resistir as cargas de tráfego, seja ele rodoviário ou aeroportuário, por isso, segundo Bernucci *et al.* (2008) para o dimensionamento correto da estrutura deve-se conhecer bem as propriedades dos materiais que a constituirão, sua resistência à ruptura, permeabilidade e deformabilidade, diante da solicitação das cargas e ações climáticas.

De acordo com a CNT (2022b) em geral cerca de 99% dos pavimentos são flexíveis, o que pode ser justificado principalmente pelo custo inicial de implantação. Entretanto, os pavimentos rígidos apesar de apresentarem maior custo de implantação, possuem vida útil entre 20 e 40 anos, enquanto que os flexíveis duram em média de 15 a 20 anos (OLIVEIRA, 2009). As características gerais das duas categorias de pavimento mais utilizadas nos aeroportos são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características gerais dos pavimentos

Propriedades	Tipo de Pavimento	
	Rígido	Flexível
Custo Inicial	Elevado	Baixo
Vida Útil	Maior	Menor
Custo de Manutenção	Menor	Maior
Composição do elemento estrutural principal (revestimento)	Placas de Concreto	Concreto-Ásfaltico e diversas camadas de apoio
Composição das camadas subjacentes ao revestimento	Podem-se utilizar materiais de baixo custo	Utilizam-se materiais selecionados

Fonte: Oliveira (2009)

2.1.3.2 Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Aeroportuários

O dimensionamento de pavimentos aeroportuários difere em relação ao de pavimentos rodoviários principalmente quanto às cargas atuantes. Por isso, devem ser projetados e executados de acordo com metodologias adequadas (MEDINA; MOTTA, 2015)

No Brasil o dimensionamento dos pavimentos aeroportuários é fundamentado nas metodologias desenvolvidas pela *Federal Aviation Administration* (FAA), atualmente de acordo com a *Advisory Circular* (AC) 150/5320-6G. A FAA foi criada em 1958 e é uma agência do governo estadunidense vinculada ao Departamento de Transporte dos Estados Unidos, órgão responsável pelos assuntos gerais da aviação civil no país (RAMOS *et al.*, 2017).

O processo de dimensionamento é feito semelhante ao de pavimentos rodoviários, por meio de ábacos com curvas de dimensionamento, utilizando como parâmetros de entrada o Índice de Suporte Califórnia¹ (ISC) do subleito, a carga máxima da aeronave, e o número de decolagens anuais, tendo como resultado dimensões preestabelecidas de revestimento, base e sub-base. Até a AC 150/5320-6D (1995) a implantação da metodologia era feita desta forma, contudo, a partir da AC 150/5320-6E (2009) a implantação passou a ser feita por meio de softwares (MEDINA; MOTTA, 2015; VIEIRA 2015).

¹ O Índice de Suporte Califórnia foi concebido no final da década de 1920 para avaliar a resistência do subleito frente a deslocamentos significativos, resistência essa, obtida por meio de ensaio penetrométrico em laboratório (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Atualmente existem diversos softwares que desempenham o dimensionamento de pavimentos aeroportuários com maior agilidade e melhor eficácia, como é o caso do *FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered* (FAARFIELD), desenvolvido pela FAA e utilizado no Brasil para o dimensionamento da estrutura do pavimento. De modo geral os softwares oferecem resultados mais econômicos se comparados ao método tradicional, conseguindo o dimensionamento de espessuras menos robustas do que as projetadas por meio das curvas (MEDINA; MOTTA, 2015).

2.1.3.3 Tipos de Revestimentos Asfálticos

O DNIT (2006) classifica os revestimentos em flexíveis e rígidos, a Figura 4 representa as categorias e seus complementares.

Figura 4 – Classificação dos revestimentos



Fonte: DNIT (2006)

O material de revestimento pode ser fabricado em usina específica (fixa ou móvel), denominado mistura usinada; ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais) onde usinas móveis especiais realizam a mistura agregado-ligante imediatamente antes da aplicação no pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Na construção ou na restauração de pistas de pouso e decolagem, tanto revestimentos flexíveis ou rígidos podem ser utilizados, entretanto, o revestimento mais usual é o de concreto betuminoso (OACI, 1983 *apud* SILVA, 2016). Os revestimentos betuminosos são uma combinação de agregados e materiais betuminosos, que pode ser feita por penetração ou por mistura de acordo com o DNIT (2006), podendo ser definidos como:

- **Revestimentos betuminosos por penetração invertida:** O revestimento é executado com uma ou mais aplicações de material betuminoso, antes da camada de agregado. Conforme a quantidade de camadas aplicadas denomina-se tratamento superficial simples, duplo ou triplo.
- **Revestimentos betuminosos por penetração direta:** Os agregados são espalhados e compactados primordialmente, seguidos da aplicação do material betuminoso e uma última camada com agregado miúdo.
- **Revestimentos por mistura:** Nos revestimentos betuminosos por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso antes da compressão. São denominados pré-misturados propriamente ditos quando o pré-envolvimento é feito em usinas fixas e quando feito na própria pista, têm-se os pré-misturados na pista (*road mixes*).

Conforme os seus respectivos processos construtivos, são adotadas ainda as seguintes designações:

- **Pré-misturado a frio:** Quando os tipos de agregados e de ligantes utilizados permitem que o espalhamento seja feito à temperatura ambiente.
- **Pré-misturado a quente:** Quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes.

Algumas vantagens e desvantagens podem ser observadas quanto as misturas, sendo elas expressas na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais vantagens e desvantagens das misturas a quente e a frio

Misturas a quente	
Vantagens	Desvantagens
Mais duráveis	Exigem aquecimento do agregado
Menos sensíveis à ação das cargas	Exigem instalações complexas para a fabricação
Mais indicadas para tráfego intenso ou pesado	Exigem equipamento especial para o espalhamento
Menos sujeitas ao desgaste	Não permitem estocagem
	São caras
Misturas a frio	
Vantagens	Desvantagens
Fácil fabricação	São susceptíveis a maior desgaste
Não exigem aquecimento do agregado	São mais sensíveis às cargas
São fabricadas em instalações simples	Exigem cura da mistura
Permitem espalhamento com patrol	
Permitem estocagem	

Fonte: Pinto e Pinto (2018)

Segundo Ribeiro (2012) as misturas usinadas a quente são comumente empregadas em pistas de pouso e decolagem. Bernucci *et al.* (2008) destaca que esse revestimento pode ser classificado quanto a graduação de seus agregados e filer em:

- **Graduação densa:** Possui curva granulométrica contínua e bem graduada, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com poucos vazios, visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: concreto asfáltico (CA) ou concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), tipo de mistura mais utilizada no Brasil.
- **Graduação aberta:** A curva granulométrica é uniforme, com agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, com insuficiência de material fino (menor que 0,075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, e tornar a mistura com elevado volume de vazios com ar e, portanto, drenante, possibilitando a percolação de água no interior da mistura asfáltica. Exemplo: mistura asfáltica drenante, conhecida no Brasil por camada porosa de atrito (CPA).
- **Graduação descontínua:** Curva granulométrica com proporção de grãos de maiores dimensões em quantidade dominante em relação aos grãos de dimensões intermediárias,

completados por certa quantidade de finos, de forma a ter uma curva descontínua em certas peneiras, com o objetivo de tornar o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos. Exemplo: matriz pétreo asfáltica (*Stone Matrix Asphalt – SMA*) e mistura sem agregados de certa graduação (*Gap-Graded*).

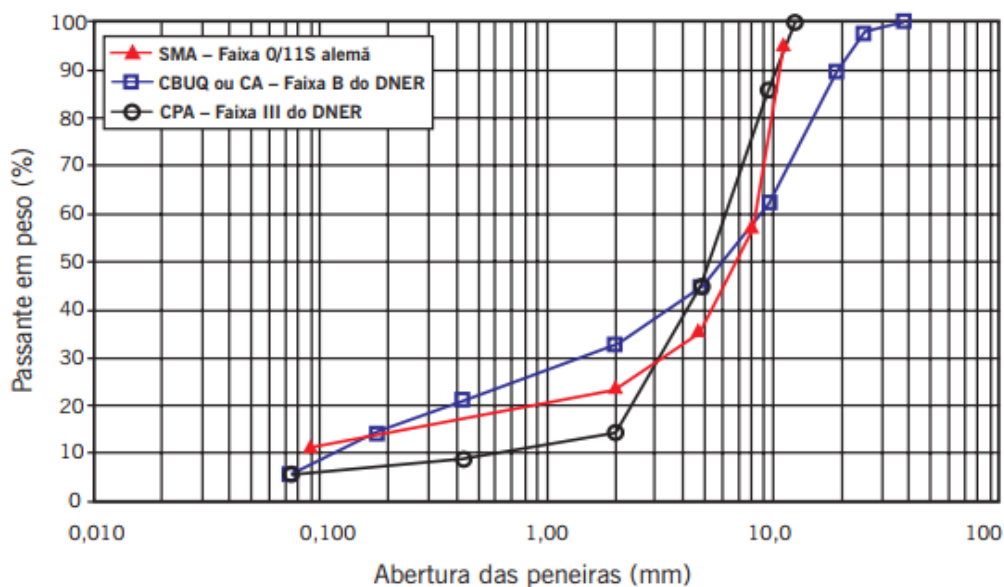
A Figura 5 ilustra uma comparação das composições granulométricas dos revestimentos asfálticos usinados a quente. Já a Figura 6 é a representação das curvas granulométricas para graduação descontínua (SMA), graduação densa (CBUQ ou CA) e graduação aberta (CPA).

Figura 5 – Composição granulométrica dos tipos de mistura a quente



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Figura 6 – Curvas granulométricas de diferentes misturas usinadas a quente



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Para mais, misturas asfálticas usinadas *in situ* também são uma alternativa para o revestimento de pistas de pousos e decolagem. Essas são processadas em usinas móveis, que promovem a mistura entre ligante e agregado antes da aplicação no pavimento, sendo empregadas principalmente para a selagem e restauração de algumas características funcionais. As misturas

são relativamente fluidas, confeccionadas e aplicadas à temperatura ambiente, assim como a lama asfáltica e o micro revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2008; RIBEIRO, 2012).

De acordo com Pinto e Pinto (2018) a lama asfáltica pode ser definida como a associação em consistência fluida, de agregados miúdos, material de enchimento (fíler), emulsão asfáltica e água, que devidamente espalhada e nivelada, atinge espessuras na ordem de 3 mm. Além disso, Ribeiro (2012) salienta que a lama asfáltica também é aplicada em granulometria mais grossa para repor a condição de atrito e resistência a hidroplanagem² da superfície do pavimento e como capa selante em superficiais envelhecidas.

O micro revestimento é uma mistura a frio processada em usina móvel especial e consiste na associação de agregado, material de enchimento (fíler), emulsão asfáltica modificada por polímero, água e aditivo se necessário, espalhada uniformemente sobre uma superfície previamente preparada (BERNUCCI *et al.*, 2008; PINTO; PINTO, 2015).

2.1.3.4 Técnicas de Texturização de Pavimentos Rígidos

As técnicas de texturização são procedimentos que promovem o melhoramento dos pavimentos no que diz respeito às condições de segurança, promovendo melhores condições de resistência à derrapagem nas pistas, e podem ser executadas tanto com o concreto endurecido, quanto no estado plástico (RODRIGUES FILHO, 2006).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2005), destaca a utilização de inúmeras formas de texturização com concreto plástico, sendo elas: textura de turfa (ou grama) artificial, texturização transversal/longitudinal com fios duros, texturização transversal/longitudinal por vassouramento mecânico e texturização transversal com pente de fios precedida por vassouramento longitudinal com turfa artificial. Além disso, outros tipos comuns de texturização também podem ser empregues, que é o caso da texturização com o vassouramento mecânico transversal com pente de fios flexíveis, o vassouramento manual com vassoura de piaçava, entre outros. A Figura 7 e a Figura 8 ilustram o procedimento e a superfície finalizada, respectivamente.

² A hidroplanagem é definida no item 2.6.

Figura 7 – Texturização manual com vassoura de fios duros



Fonte: ABCP (2005)

Figura 8 – Superfície texturizada transversalmente por vassouramento manual



Fonte: ABCP (2005)

Testes executados pela ABCP (2005) mostraram melhor eficácia na texturização transversal, por produzir maior resistência a derrapagem, mas, não só sua utilização é recomendada, uma vez que, o ranhuramento longitudinal aumenta o atrito nas curvas, enquanto o transversal aumenta principalmente o atrito longitudinal de frenagem. Isso permite que ambas possam ser empregues, atentando as suas respectivas adequações.

Segundo a ABCP (2005) a texturização do concreto endurecido como expressa na Figura 9, é executada através de raspagem e/ou ranhuramento, jateamento de areia ou água ou tratamento químico da superfície do pavimento. As ranhuras transversais serradas são mais indicadas por proporcionarem melhor textura, drenabilidade, coeficientes de atrito e maior vida útil com o aumento da resistência à derrapagem.

Figura 9 – Texturização com o concreto endurecido



Fonte: ABCP (2005)

No setor aeroportuário tem-se como técnica de texturização o *grooving* que consiste de ranhuras transversais aplicadas na superfície do revestimento asfáltico ou de concreto das pistas, por meio da serragem com discos diamantados. Estudos revelam que a técnica permite alcançar um elevado nível de atrito em pavimentos molhados, pois, possibilita que a água circule por debaixo dos pneus das aeronaves na aterrissagem, constituindo uma alternativa eficaz e segura de resistência a derrapagem e prevenção de hidroplanagem nas pistas de pouso e decolagem em tempo chuvoso (RIBEIRO, 2012).

Ainda, segundo a autora, os pavimentos existentes podem não ter uma superfície adequada para a aplicação da técnica, sendo necessária análises de sua condição funcional (defeitos na pista) e estrutural, para determinar se há necessidade de sobreposição ou reabilitação do pavimento antes da execução do *grooving*. Se a avaliação demonstrar que o pavimento existente não é adequado, o *grooving* não deve ser executado antes de uma sobreposição flexível ou rígida.

Figura 10 – Texturização *grooving* em pista de pouso e decolagem

Fonte: ANAC (2021)

2.1.4 Desempenho Funcional e Estrutural

O principal objetivo da pavimentação é garantir trafegabilidade frequente, e proporcionar conforto ao rolamento e segurança aos usuários. Com o crescimento da demanda por transporte aéreo é imprescindível que haja preocupação considerável em manter o desempenho funcional e estrutural dos pavimentos aeroportuários, uma vez que, de acordo com Oliveira (2009) a integridade da estrutura é afetada quando sofre com algum tipo de deterioração, seja na superfície ou nas camadas que a compõem, podendo afetar os tripulantes e passageiros por meio de acidentes ou incidentes com as aeronaves ou veículos que trafegam pelo pavimento.

No Brasil a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), agência federal vinculada ao Ministério da Infraestrutura, que começou a atuar em 2006 substituindo o Departamento de Aviação Civil (DAC), é a responsável pela regularização e fiscalização do setor de aviação civil e da infraestrutura aeronáutica e aeroportuária (BRASIL, 2022a).

De acordo com a ANAC (2021) as condições operacionais das áreas pavimentadas de um complexo aeroviário devem ser mantidas tal qual, proporcionem adequada operação e proteção das pessoas, aeronaves, veículos, equipamentos aeronáuticos e aeroportuários. Para isso, são analisadas por meio de inspeções periódicas, que variam de acordo com o parâmetro avaliado; e através dos dados obtidos medidas podem ser estabelecidas. Segundo Silva (2008) a coleta de dados visa observar o âmbito funcional, que verifica se o pavimento proporciona condições de operação segura às aeronaves e aos demais veículos; e estrutural, observando a capacidade de uma ou mais camadas do pavimento em resistir as deformações, tensões limites e deflexões.

Bernucci *et al.* (2008) destacam que o desempenho funcional trata da verificação da superfície pavimentada e como seu estado influência no conforto ao rolamento, sendo esse o mais relevante aos usuários, pois os defeitos ou irregularidades na superfície são percebidos gerando desconforto, além de causarem danos materiais aos veículos.

Conforme Ramos (2015) e DNIT (2006) o desempenho estrutural está associado a capacidade de uma estrutura suportar as cargas dos veículos ou aeronaves que utilizam esses pavimentos, mantendo sua integridade sem apresentar falhas significativas. Os defeitos estruturais resultam, sobretudo, da repetição das cargas e do acréscimo de deformações que o pavimento é submetido no decorrer da sua vida útil (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.1.5 Avaliação Funcional e Estrutural

Após construção, os pavimentos aeroportuários encontram-se expostos a ações que contribuem para a redução progressiva da sua qualidade, levando ao aparecimento de degradações. O surgimento dessas degradações é influenciado por fatores como o tráfego (carga atuante), condições climáticas, produtos químicos; e pode ser acelerado em virtude do processo construtivo ou pela utilização de materiais com baixa qualidade (DOMINGOS, 2017).

Segundo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil 153 (ANAC, 2021) é de responsabilidade do operador de aeródromo manter a pista de pouso e decolagem livre de danos que possam interferir nas operações das aeronaves, monitorando a funcionalidade do pavimento. Para isso, são utilizados índices que representam numericamente a serventia do pavimento, ou seja, a capacidade que o pavimento possui em proporcionar bom desempenho (funcional) ao longo do ciclo de vida do projeto. As medições caracterizam a condição geral da superfície e devem ser realizadas periodicamente de acordo com a classe³ do aeroporto como indicado na Tabela 3.

Tabela 3 – Frequência mínima de medição do índice de serventia

Elemento	Classe I-B		Classe II	
	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio
Frequência (em meses)	24	48	24	48
Elemento	Classe III		Classe IV	
	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio
Frequência (em meses)	18	36	12	24

Fonte: ANAC (2021)

A avaliação funcional normalmente é realizada visivelmente, apesar de existirem equipamentos capazes de efetuar leituras por meio de sensores; e baseia-se no registro da extensão, frequência e severidade dos danos superficiais do pavimento (SILVA, 2008). Macedo (2005 *apud* SILVA, 2005), evidencia que para a adequada avaliação devem ser considerados quatro

³ Classe I-A: aeródromo com número de passageiros processados inferior a 200.000 (duzentos mil) ano e não processa voo regular;

Classe I-B: número de passageiros inferior a 200.000 (duzentos mil) ano e processa voo regular;

Classe II: número de passageiros igual ou superior a 200.000 (duzentos mil) e inferior a 1.000.000 (um milhão) ano;

Classe III: número de passageiros igual ou superior a 1.000.000 (um milhão) e inferior a 5.000.000 (cinco milhões) ano;

Classe IV: número de passageiros igual ou superior a 5.000.000 (cinco milhões) ano (ANAC, 2021).

fatores:

- **Tipo de Defeito:** Caracterização do dano;
- **Grau de severidade:** Análise da intensidade que o defeito compromete a estrutura e/o seu desempenho, podendo ser comumente classificada em: baixa, média e alta;
- **Frequência:** Classificação da ocorrência das deteriorações ao longo de um trecho ou via;
- **Extensão:** Área ocupada pelo defeito.

Conforme Silva (2008) o levantamento de defeitos tem a finalidade de avaliar medidas necessárias para a conservação; e consequentemente prevenir degradações que possam interferir significativamente nas operações aeroportuárias.

O regulamento 153 (ANAC, 2021) cita alguns defeitos que podem ser observados nos aeródromos tais como fissuras, trincas, afundamentos, ondulações ou corrugações entre outros. Assim sendo, os principais defeitos encontrados em pavimento flexíveis e sua respectiva severidade (quando há níveis para se observar, ao contrário a severidade é apenas a indicação que o dano existe) são definidos a seguir. As definições são tidas a partir do DNIT (2006) e da ASTM (2012) pois possuem um maior detalhamento, além disso autores como Gonçalves (2008), Trombetta (2010), Lima (2016) e Domingos (2017) tem como referência as definições do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2006) e da *American Society for Testing and Materials* (2012).

- **Fenda:** São descontinuidades na superfície dos pavimentos que acarretam aberturas de maior ou menor grau, e podem se apresentar com formatos distintos. Também são tidas como fissura ou trinca e são causadas principalmente pela atuação do tráfego ou alterações térmicas.
- **Fissura:** fendas longitudinais ou transversais na superfície do pavimento perceptíveis a uma distância menor que 1,5 m.
- **Trincas tipo couro de jacaré:** É um conjunto de fendas causadas pela atuação repetitiva de cargas de tráfego. Inicia-se na camada de base, e se propaga paralelamente até a superfície e com a repetição ou o aumento das cargas de tráfego as fendas conectam-se, formando uma espécie de couro de jacaré. O grau de severidade pode ser observado de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Grau de Severidade das Trincas tipo couro de jacaré

Grau de Severidade	
Baixo	Fendas finas, longitudinais e paralelas umas as outras e com poucas interligações
Médio	Há um aspecto de couro de jacaré bem definido e fendas interligadas
Alto	Padrão bem definido, fendas interligas com eminência de desagregação de material

Fonte: ASTM (2012)

- **Trincas em Bloco:** São fendas interligadas que dividem o pavimento em blocos com formato aproximadamente retangular, com tamanhos que podem variar de 0,3 m por 0,3 m a 3,0 m por 3,0 m. Estão ligadas a retração do pavimento pela idade e pelas variações de temperatura. A Tabela 5 apresenta os graus de severidade da trinca em bloco.

Tabela 5 – Grau de Severidade das Trincas em Bloco

Grau de Severidade	
Baixo	Fendas com abertura máxima de 6 mm com pouca ou nenhuma desagregação, com preenchimento pequeno
Médio	Fendas maiores do que 6 mm moderadamente desagregadas com preenchimento em más condições
Alto	Fendas bem definidas e severamente desagregadas

Fonte: ASTM (2012)

- **Trincas de reflexão das juntas de base de concreto:** Proveniente em pavimentos semirrígidos, constitui fissuras longitudinais ou transversais decorrentes da retração causada pela variação de temperatura e umidade na base de concreto. O tráfego influencia indiretamente, podendo levar a desagregação do material betuminoso junto as fendas. Os graus de severidade podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Grau de Severidade das Trincas de reflexão

Grau de Severidade	
Baixo	Fendas preenchidas com largura igual ou inferior a 6 mm ou não preenchidas; com alguma ou nenhuma desagregação
Médio	Fendas com bordas levemente desagregadas preenchidas ou não e com qualquer largura
Alto	Fendas severamente desagregadas, preenchidas ou não e de qualquer largura, que originam desagregação de material

Fonte: ASTM (2012)

- **Trincas transversais e longitudinais:** Fendas direcionais, onde as transversais surgem perpendiculares ao eixo do pavimento e as longitudinais paralelas ao mesmo eixo. Podem ocorrer devido a mal execução do pavimento, retração da camada betuminosa em virtude da variação de temperatura ou reflexão de fendas das camadas inferiores. O grau de severidade desse defeito é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Grau de Severidade das Trincas transversais e longitudinais

Grau de Severidade	
Baixo	Fendas preenchidas com largura igual ou inferior a 6 mm ou não preenchidas; com alguma ou nenhuma desagregação
Médio	Fendas com bordas levemente desagregadas preenchidas ou não e com qualquer largura.
Alto	Fendas severamente desagregadas, preenchidas ou não e de qualquer largura, que originaram desagregação de material.

Fonte: ASTM (2012)

- **Exsudação:** Alteração da camada de revestimento formando uma película de material betuminoso (manchas brilhantes) na superfície do pavimento com diferentes dimensões. Pode ocorrer devido ao excesso de ligante, que migra para a superfície da camada de rolamento, por conta de uma mistura asfáltica mal dosada ou baixo índice de vazios na mistura, quando submetida a ação do tráfego e altas temperaturas.
- **Depressão/Afundamento:** São abatimentos que podem ser facilmente identificados após chuvas intensas, por acumularem água. Estão vinculadas a mal compactação ou assentamento da fundação. A Tabela 8 apresenta os graus de severidade da depressão/afundamento.

Tabela 8 – Grau de Severidade da Depressão/Afundamento

Grau de Severidade	
Baixo	Depressões visíveis através de mancha de água no pavimento, possuem 3 mm a 13 mm ou 13 mm a 25 mm
Médio	Depressões visíveis que afetam o tráfego
Alto	Depressões muito visíveis que afetam seriamente o tráfego

Fonte: ASTM (2012)

- **Corrugação/Ondulação:** Caracterizam-se por elevações e depressões perpendiculares ao fluxo do tráfego, ocorrem de forma regular em intervalos de no máximo 1,5 m. Estão relacionadas com as cargas de tráfego ligadas a uma compactação inadequada ou instabilidade das camadas da superfície ou da base. O grau de severidade das corrugações/ondulações pode ser observado na Tabela 9 .

Tabela 9 – Grau de Severidade da Corrugação/Ondulação

Grau de Severidade	
Baixo	Afetam pouco o tráfego e as velocidades operacionais da via
Médio	O conforto ao rolamento e velocidade são afetadas mas a segurança não
Alto	Conforto ao rolamento, velocidade e segurança da via são muito afetados

Fonte: Gonçalves (2008)

- **Erosão por rápida propulsão do jato de aeronaves:** Zonas escurecidas na superfície do pavimento oriundas da carbonização do betume quando atingidos pelo vapor quente dos jatos das aeronaves.
- **Remendo:** Corte retangular no pavimento para execução de um reparo. É ainda considerado profundo quando há a substituição do revestimento e/ou camadas inferiores, ou superficial, quando é feita apenas uma correção no revestimento asfáltico com uma nova camada de betume. Os níveis de severidade podem ser atribuídos de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 – Grau de Severidade do Remendo

Grau de Severidade	
Baixo	Apresenta boas condições de reparação e não apresentam irregularidades
Médio	Apresenta baixa deterioração, com irregularidades insignificantes e pouco afeta a circulação
Alto	Apresenta muita deterioração e irregularidade e afeta a circulação na via

Fonte: ASTM (2012)

- **Afundamento da trilha de roda:** São depressões na camada superficial causadas pela passagem de veículos/aeronaves. Ocorrem devido a deformações de uma ou mais camadas do pavimento e quando muito significativas são dadas como falha estrutural. O grau de severidade é atribuído de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 – Grau de Severidade do Afundamento da trilha de roda

Grau de Severidade	
Baixo	A profundidade da rodeira varia entre 6 mm a 13 mm
Médio	A profundidade da rodeira varia entre 13 mm a 25 mm
Alto	A profundidade da rodeira é superior a 25 mm

Fonte: ASTM (2012)

- **Deterioração por presença de óleo/combustível:** Deterioração ou descoloração da superfície do pavimento em virtude do derramamento de óleo, combustível ou outros líquidos agressivos.
- **Desprendimento:** Desgaste do ligante asfáltico e do agregado fino na superfície pavimentada. Pode ser causado pelo tráfego constante ou envelhecimento do ligante. A Tabela 13 apresenta a classificação da severidade do desprendimento.

Tabela 12 – Grau de Severidade do Desprendimento

Grau de Severidade	
Baixo	Superfície em bom estado, mas com perda de 5 a 20 agregados por m ² de pavimento
Médio	Perda de 5 a 20 agregados por m ² de pavimento
Alto	A perda é superior a 40 agregados por m ² pavimento

Fonte: ASTM (2012)

- **Desagregação:** Desprendimento do agregado graúdo da superfície do pavimento, proveniente do envelhecimento do ligante devido a movimentação de veículos/ aeronaves. A descrição dos graus de severidade meio é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Grau de Severidade da Desagregação

Grau de Severidade	
Baixo	Superfície em bom estado, mas com perda de 5 a 20 agregados por m ² de pavimento ou falta de agregado graúdo
Médio	Perda de 5 a 20 agregados por m ² de pavimento ou falta de agregado graúdo
Alto	A perda é superior a 40 agregados por m ² de pavimento ou falta de agregado graúdo

Fonte: ASTM (2012)

- **Agregado polido:** Perda da textura ou desagregação do agregado, devido a abrasão pelo tráfego, diminuindo sua resistência a derrapagem. É visível apenas a uma curta distância do pavimento e pode ser potencializado pela carbonização do betume.
- **Escorregamento:** Ondulação curta do pavimento em forma de meia lua proveniente de um movimento horizontal do revestimento efeito da frenagem e/ou aceleração de veículos/aeronaves. Decorre principalmente por deficiências na imprimação ou pintura de ligação, compactação ou fluência do revestimento devido a elevadas temperaturas. A caracterização dos graus de severidade do escorregamento é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Grau de Severidade do Escorregamento

Grau de Severidade	
Baixo	Afetam pouco o tráfego e as velocidades operacionais da via
Médio	O conforto ao rolamento e velocidade são afetadas mas a segurança não
Alto	Conforto ao rolamento, velocidade e segurança da via são muito afetados

Fonte: Gonçalves (2008)

- **Fendas em Meia Lua:** Fendas em forma de meia lua com as duas extremidades apontadas na direção contrária a circulação do tráfego. Surgem devido a ação das rodas sobre o pavimento durante as manobras de travagem e de viragem, o que resulta no deslizamento e na deformação da superfície do pavimento. Ocorrem em geral quando há baixa

resistência da mistura betuminosa da camada de desgaste ou fraca ligação entre a camada de revestimento do pavimento e a camada seguinte.

- **Solevamento:** Deslocamento lateral de pavimentos feito sob laje de concreto, que originam elevações no pavimento. As lajes tentam a dilatar aumentando de comprimento, e assim elevam a camada adjacente, essas elevações podem fendilhar provocando escoregamentos laterais. A severidade do defeito é classificada de acordo com a Tabela 15.

Tabela 15 – Grau de Severidade do Solevamento

Grau de Severidade	
Baixo	Ligeira dilatação da laje de concreto sem fendilhamento do pavimento com altura média do empolamento inferior a 19 mm
Médio	Dilatação significativa da laje de betão, com fendilhando do pavimento e altura média do empolamento entre os 19 mm e 38 mm
Alto	Acentuada dilatação da laje de betão causando fendilhamento severo do pavimento e a altura média do empolamento é superior a 38 mm.

Fonte: ASTM (2012)

- **Inchamento:** Elevação da superfície do pavimento em virtude da dilatação das camadas ou fundação do pavimento. A Tabela 16 apresenta as características dos graus de severidade do inchamento.

Tabela 16 – Grau de Severidade do Inchamento

Grau de Severidade	
Baixo	Empolamento pouco visível que afeta ligeiramente a circulação do tráfego. Altura do empolamento inferior a 20 mm
Médio	Empolamento facilmente observável. Altura do empolamento entre 20 mm e 40 mm.
Alto	Empolamento facilmente observável. Altura do empolamento superior a 40 mm

Fonte: ASTM (2012)

- **Panela/Buraco:** São cavidades formadas inicialmente da superfície do pavimento com dimensões e profundidades variadas e podem evoluir com o tempo alcançando camadas subjacentes da estrutura. As principais causas são desgaste alto e trincamento por fadiga. A Tabela 17 apresenta os graus de severidade desse defeito.

Tabela 17 – Grau de Severidade da Panela/Buraco

Grau de Severidade	
Baixo	Profundidade menor do que 2,5 cm e diâmetro inferior a 20 cm
Médio	Profundidade menor entre 2,5 e 5,0 cm e diâmetro entre 20 e 45 cm
Alto	Profundidade maior do que 5,0 cm e diâmetro maior do que 45cm

Fonte: Trombetta (2010)

Para Bernucci *et al.* (2008) as condições estruturais podem ser verificadas por meio de metodologia destrutiva, semi destrutiva ou não destrutiva. No método destrutivo cada camada é analisada com amostras retiradas de trincheiras ou poços de sondagem permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga *in situ*. O método semi destrutivo detém da abertura de janelas menores no pavimento permitindo utilizar instrumentos portáteis de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tais como cones dinâmicos de penetração.

Porém, a técnica que possibilita fazer análises em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo, é a não-destrutiva, e se baseia em medidas de deflexões (BERNUCCI *et al.*, 2008). Dentre os inúmeros equipamentos que podem ser usados, para a verificação não-destrutiva o DNIT (2006) classifica:

- **Vigas de medição de deflexão:** as vigas medem a resposta do pavimento submetido a um carregamento estático ou a aplicação de uma carga em movimento vagaroso. Os equipamentos mais utilizados são a viga benkelman e as vigas de deflexão automatizadas.
- **Equipamentos dinâmicos de vibração:** medem a resposta do pavimento quando submetido a uma carga vibratória ou cíclica. O dynaflect por exemplo, é um equipamento de uso muito difundido nos Estados Unidos.
- **Equipamentos dinâmicos de impacto:** todos os equipamentos que transferem ao pavimento uma carga dinâmica de impacto estão incluídos nesta classificação e são chamados de *Falling Weight Deflectometer* (FWD) ou defletômetros de impacto. A maior vantagem dos equipamentos de impacto é a sua capacidade de simular, aproximadamente, as características de uma carga de tráfego em termos de magnitude e frequência, o que não ocorre no ensaio estático como a viga benkelman. Além disso, o equipamento permite a determinação precisa e rápida de deformações completas, com aquisição automática de dados.

No Brasil, a ANAC (2017) sugere a utilização do FWD, além de outras técnicas para medição de deflexão, e dispõe de intervalos para avaliação da condição estrutural dos pavimentos aeroviários como apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Frequência sugerida para avaliação estrutural do pavimento

Tabela 16 - Frequência sugerida para avaliação estrutural do pavimento				
Classe I-B			Classe II	
Elemento	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio
Frequencia (em meses)	48	48	48	48
Classe III			Classe IV	
Elemento	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio	Pista de pouso e decolagem	Pista de táxi e pátio
Frequencia (em meses)	36	36	24	24

Fonte: ANAC (2017)

2.1.5.1 Índices de Avaliação Funcional

2.1.5.1.1 Valor de Serventia Atual (VSA)

O Valor de Serventia Atual (VSA) é uma determinação subjetiva, ou seja, que envolve a participação de um grupo de indivíduos previamente orientados, para avaliar a qualidade ao rolamento, concebida por Carey e Irick (1960) para as pistas experimentais da *American Association of State Highway Officials* (AASHO), hoje *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) (DNIT, 2006).

Atualmente, regulamentado por meio do procedimento DNIT 009/2003-PRO o valor de serventia atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2008; PINTO; PREUSSLER, 2010). A escala compreende cinco níveis de serventia, conforme expresso na Tabela 19.

Tabela 19 – Níveis de serventia

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

2.1.5.1.2 Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global (IGG) é derivado do *Severity Index* utilizado no Canadá pelo *Saskatchewan Department of Highways and Transportation*, e adaptado pelo Engenheiro Armando Martins Pereira, para as condições de pavimentos brasileiros, adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes por meio da norma DNIT 006/2003-PRO para avaliar o desempenho de pavimentos rodoviários (DNIT, 2006).

O IGG permite classificar o estado geral de um determinado trecho homogêneo de pavimento, em função da incidência de defeitos na superfície, classificando-os de acordo com o grau de deterioração da trilha de roda. É um indicador das condições do pavimento, muito útil para a tomada de decisões quanto às intervenções de restauração necessárias, atribuindo-lhe conceitos variáveis conforme a Tabela 20.

Tabela 20 – Condição do pavimento em função do IGG

Conceito	Limites
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Fonte: DNIT (2006)

2.1.5.1.3 Pavement Condition Index (PCI)

No Brasil, para fins de avaliação da condição funcional dos pavimentos aeroportuários a Agência Nacional de Aviação Civil por meio da Instrução Suplementar (IS) nº 153.203-001A, prevê a metodologia do *Pavement Condition Index* (PCI), prevista na norma D5340 – *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys* para aeroportos; um indicador numérico que traduz o estado atual de pavimentos flexíveis e rígidos, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano através do financiamento fornecido pela Força Aérea dos Estados Unidos. Sendo, verificado e adotado pela FAA e pelo Comando de Engenharia de Instalações Navais dos Estados Unidos (ASTM, 2022a; ANAC, 2020a).

A determinação do índice baseia-se na identificação e medição das degradações observadas na superfície dos pavimentos, fornecendo uma base objetiva das condições de superfície

do pavimento, que permite priorizar intervenções de manutenção e/ou reparação. Os valores do PCI variam de 0 (para um pavimento em condição de ruptura) a 100 (para um pavimento em excelente estado) conforme a Tabela 21; e é obtido com base no tipo, severidade, quantidade de defeitos identificados e ábacos com curvas específicas (ACRP, 2011; ANAC, 2017); a Figura 11, Figura 12 e Figura 13 apresentam exemplos de pavimentos com diferentes escalas de PCI.

Tabela 21 – Escala do PCI	
PCI	Escala
85 à 100	Excelente
70 à 84	Bom
55 à 69	Regular
40 à 54	Ruim
25 à 39	Muito Ruim
10 à 24	Péssimo
0 à 9	Ruptura

Fonte: ANAC (2017)

Figura 11 – Pavimento com PCI 100



Fonte: Vermont Agency of Transportation (2012) apud ANAC (2017)

Figura 12 – Pavimento com PCI 60



Fonte: Vermont Agency of Transportation (2012) apud ANAC (2017)

Figura 13 – Pavimento com PCI 20



Fonte: Vermont Agency of Transportation (2012) apud ANAC (2017)

Os defeitos considerados pelo PCI para pavimentos flexíveis são: trincas couro de jacaré, exsudação, trincas em bloco, corrugação, depressão/afundamento, entre outros. Vale salientar que a identificação de deteriorações do tipo panela/buraco não é considerada para fins de cálculo nesse método (ANAC, 2017). Além disso, segundo Shahin (2005) para análise do PCI as degradações devem ser classificadas de acordo com sua severidade assim sendo: baixa L – (*low*), média – M (*medium*) e alta H (*high*).

Conforme Lima (2016), informações quanto ao nível de degradação e o tipo de intervenção a se considerar podem ser extraídas a partir da escala de classificação do PCI:

- Bom (85-100): O pavimento não apresenta anomalias ou demonstra algumas degradações de baixa gravidade, se fazendo necessária apenas manutenção de

conservação.

- **Satisfatório (70-84):** A superfície pavimentada exibe degradações de baixa intensidade e requerem manutenção de prevenção.
- **Razoável (55-69):** A camada de rolamento possui degradações de baixa e média gravidade necessitando de manutenção preventiva a curto prazo ou reconstrução.
- **Mau (40-54):** O pavimento apresenta degradações de baixo, médio e alto nível de intensidade podendo causar problemas de operacionalidade; a manutenção a curto prazo de carácter reconstutivo é o procedimento recomendado.
- **Muito mau (25-39):** A camada superficial manifesta anomalias de média e alta gravidade que provocam problemas consideráveis de operacionalidade, se fazendo fundamental a reconstrução do pavimento a curto prazo.
- **Seramente danificado (10-24):** O pavimento apresenta problemas de alta gravidade que causam restrições consideráveis à operacionalidade das aeronaves, a intervenção recomendada é reconstrução urgente do pavimento.

A ANAC (2017) sugere a utilização dos limites de PCI descritos abaixo e representados na Tabela 22.

- PCI Crítico de Manutenção = 70
- PCI Crítico de Serviço = 40

Tabela 22 – Parâmetros do PCI do Pavimento

Limites	PCI	Escala
PCI Crítico de Manutenção (70)	85 à 100	Excelente
	70 à 84	Bom
	55 à 69	Regular
	40 à 54	Ruim
PCI Crítico de Serviço (40)	25 à 39	Muito Ruim
	10 à 24	Péssimo
	0 à 9	Ruptura

Fonte: ANAC (2017)

O PCI crítico de manutenção é aquele em que, a partir dele a taxa de decréscimo da condição do pavimento em função do tempo aumenta significativamente. Assim, do ponto de vista de eficiência orçamentária, esse seria um nível ótimo para execução de uma reabilitação do pavimento. Já o PCI crítico de serviço é aquele em que o pavimento já possui uma condição

ruim, que pode comprometer a função do pavimento e comprometer as operações aeroportuárias (ANAC, 2017).

A ANAC (2017) sugere que o operador de aeródromo adote ações quando o valor do PCI estiver abaixo do crítico de manutenção (menor do que 70), visando o restabelecimento do PCI em nível maior ou igual ao PCI crítico de manutenção. Pois, caso essas ações de manutenção venham a ser postergadas, o custo para a reabilitação do pavimento pode ser muito maior. Assim, o ideal seria a execução de alguma estratégia de manutenção e reabilitação o mais breve. Por outro lado, quando alguma seção do pavimento se encontra com o PCI inferior ao PCI Crítico de Serviço (menor do que 40) o operador deverá avaliar a razoabilidade de interromper o uso da infraestrutura, segregando o risco às operações.

2.1.5.2 Tipos de Intervenção nos Pavimentos

As intervenções estabelecem um conjunto de atividades de reparação dos danos observados durante a inspeção efetuada no pavimento. Essas atividades podem ser de natureza preventiva (manutenção), corretiva (reabilitação) e/ou de reconstrução, dependendo do estado de conservação dos pavimentos (DOMINGOS, 2017). De acordo com o *Airport Cooperative Research Program* (ACRP, 2011) as intervenções podem ser interpretadas tais como:

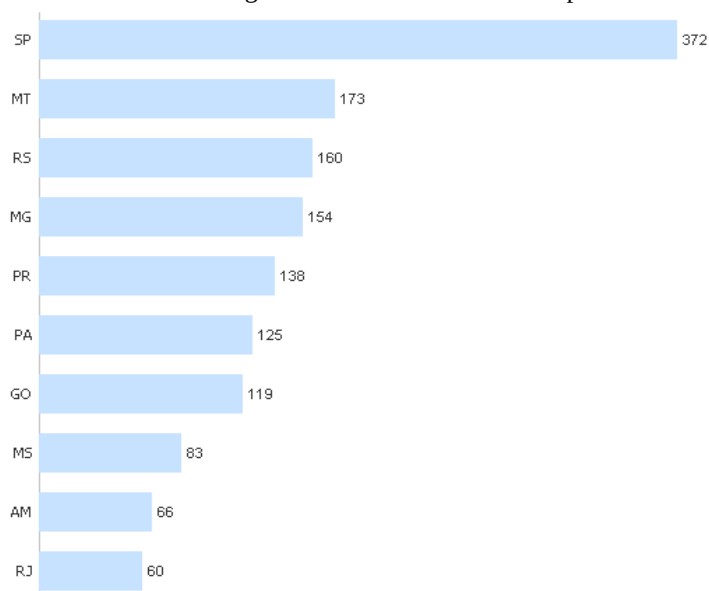
- **Manutenção de rotina:** Manutenção operacional, destinada a remoção de objetos estranhos (*Foreign Object Damage* – FOD) da pista, repintura da sinalização horizontal, retirada de gelo ou neve e remoção do acúmulo de borracha.
- **Manutenção preventiva:** Destinada a retardar as degradações, realizada por meio de pequenas reparações como selagem/correção de desgastes e/ou de afundamentos.
- **Manutenção corretiva:** Executada quando defeitos são observados no pavimento, fazendo-se necessário intervenções como fresagem, selagem de trinca ou tratamentos superficiais.
- **Reabilitação:** É a restauração do pavimento para sua condição original de uso, onde atividades como a fresagem/recomposição podem ser executadas.
- **Reconstrução:** Consiste na remoção do pavimento, caso necessário é feita a correção da fundação, e posteriormente é construído um novo pavimento

2.2 CONDIÇÕES DE SEGURANÇA

Considerando que acidentes sejam qualquer evento que produzam perda material ou humana e que incidente é qualquer evento que apresente risco potencial a ocorrência de acidentes, na aviação civil busca-se evitar os incidentes com o mesmo empenho que os acidentes. Assim, os acidentes e incidentes viários e aeroportuários podem ser usados como medida direta ou pelo menos indireta da segurança, pois eles testemunham a falta de preservação que uma determinada pista apresenta (APS, 2006).

Dados do Painel do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA, 2022), mostram que de 2012 a outubro de 2022 foram registrados 1.780 acidentes, 3.133 incidentes e 763 incidentes graves com aeronaves no Brasil. O painel também aponta que o estado de Mato Grosso possui o segundo maior índice do país em relação aos acidentes nos últimos 10 anos. Como apresentado na Figura 14, foram 173 acidentes aéreos registrados no estado, ficando atrás apenas de São Paulo; sendo a perda de controle no solo, o terceiro maior fator causador com 24 ocorrências; e após na quinta colocação tem-se a excursão⁴ de pista com 14 eventos, conforme apresentado na Figura 15.

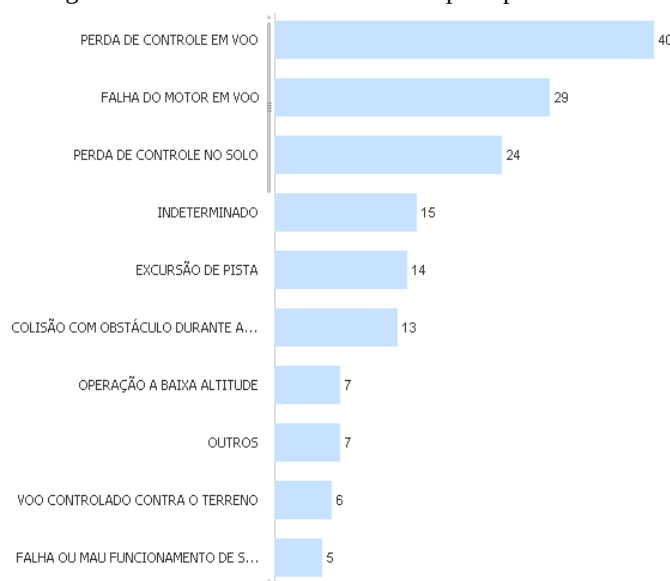
Figura 14 – Número de acidentes registrados nos últimos 10 anos por Unidade Federativa



Fonte: CENIPA (2022)

⁴ A excursão de pista ocorre quando uma aeronave sai da superfície da pista do aeródromo durante uma operação de pouso ou de decolagem. Esta ocorrência pode ser de duas maneiras: por *veer off* (saída lateral) ou *overrun* (final da pista). Esses eventos envolvem vários fatores contribuintes, que vão desde uma aproximação desestabilizada até condições impróprias de aderência da pista (ANAC, 2016).

Figura 15 – Ocorrências de acidentes por tipo em Mato Grosso



Fonte: CENIPA (2022)

A perda de controle no solo e a excursão como algumas das principais causas de acidentes e incidentes reflete as condições inadequadas das pistas de pouso e decolagem, que não conseguem exercer de modo satisfatório suas funções. O desempenho da aeronave em solo, principalmente nas operações de pouso está diretamente relacionado com as condições de superfície, principalmente com as condições de textura, que estão associadas a aderência pneu-pavimento e consequentemente com a segurança.

2.3 ESCALA DE TEXTURA DOS PAVIMENTOS

Na avaliação de pavimentos, um dos principais elementos que devem ser considerados é a condição da superfície quanto a aderência pneu-pavimento. A textura do pavimento é um aspecto da aderência, ou seja, está associada ao atrito desenvolvido entre os pneus do veículo e a camada de rolamento do pavimento. Segundo Rodrigues Filho (2006) a textura da superfície de um pavimento é o conjunto de características que estão associadas à capacidade do pavimento em atender os veículos que demandam sua utilização de forma segura, suave, confortável e econômica. Ainda, de acordo com o autor, a avaliação da textura é a principal maneira de se caracterizar a superfície, caracterização essa, que tem sido de fundamental importância para as questões de segurança, como destaca Ribeiro (2012), pois, a eficaz interação entre o pneu do veículo e o pavimento ocorrerá quando a textura da superfície de contato possuir boas condições, possibilitando trafegabilidade segura.

Conforme Rodrigues Filho (2006) as texturas são classificadas quanto ao comprimento de onda (λ) ou a distância entre dois picos ou depressões na superfície e se dividem em quatro classes: microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade. Na Tabela 23 são identificadas as texturas e a faixa de comprimento de onda correspondente. Atualmente a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2021) orienta quanto aos parâmetros de textura e define métodos de avaliação de acordo com a Instrução Suplementar (IS) nº 153.205-001B.

Tabela 23 – Classificação da textura dos pavimentos.

Classificação da textura	Faixa de comprimento de onda
Microtextura	$\lambda < 0,5\text{mm}$
Macrotextura	$0,5\text{mm} \leq \lambda < 50\text{mm}$
Megatextura	$50\text{mm} \leq \lambda < 500\text{mm}$
Irregularidade	$0,5\text{m} \leq \lambda < 50\text{m}$

Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

A microtextura depende basicamente da aspereza dos agregados na superfície e pode ser classificada por rugosa (áspera) ou polida (lisa). Já a macrotextura depende da rugosidade formada pelo conjunto de agregados e mástique asfáltico, podendo ser definida como aberta (grosseira) ou fechada (fina), a Figura 16 representa esquematicamente esses dois tipos de textura (APS, 2006; BERNUCCI *et al.*, 2008). A megatextura é comumente referida como "bura-cos" ou "ondulação", normalmente, é uma característica não desejada e resultado de defeitos na superfície. A rugosidade de superfície com comprimento de onda maior que megatextura é denominada irregularidade (OLIVEIRA, 2021). Para Bernucci *et al.* (2008), a megatextura e a irregularidade interferem na dinâmica veicular e no contato do veículo com o pavimento, afetando também a estabilidade direcional e a aderência em pistas molhadas.

Figura 16 – Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

2.3.1 Microtextura

A microtextura pode ser entendida como o grau de rugosidade, ou aspereza individual da superfície das partículas do agregado, que compõem a mistura asfáltica ou de concreto de cimento Portland da camada de revestimento (RODRIGUES FILHO, 2006). A aspereza da superfície é em função, principalmente, da composição mineralógica e do processo de britagem ao qual o mineral foi submetido. Os granulares são responsáveis pelo bom desempenho da microtextura e devem, portanto, apresentar e conservar as arestas vivas pelo maior tempo possível; resistir ao tráfego (dureza e resistência) e proporcionar boa resistência ao polimento acelerado (MATTOS, 2009).

Essa faixa de textura não é visível a olho nu, mas pode ser percebida por meio do tato, sendo analisada principalmente, quando se deseja caracterizar o atrito da camada de rolamento (BERNUCCI *et al.*, 2008; OLIVEIRA, 2021). Conforme Mattos (2009) há um consenso geral que considera a microtextura um fator predominante na resistência à derrapagem quando a velocidade de deslocamento do veículo é inferior a 50 km/h.

Uma superfície com microtextura rugosa ou áspera, permite penetração substancial de uma película fina de água, proporcionando alto nível de atrito. Por sua vez, uma superfície com microtextura lisa ou polida possui propriedades deficientes de penetração da película fina de água, podendo estar associada à utilização de agregados inadequados, ação do tráfego ou das condições climáticas (OLIVEIRA, 2009).

2.3.2 Macrotextura

A macrotextura é caracterizada pelo tamanho do agregado, pela faixa granulométrica (quantidades relativas dos diversos tamanhos de agregados), configuração geométrica individual do agregado e vazios existentes na mistura. A textura constitui uma visível e pequena irregularidade na superfície do pavimento, que tem como função, formar um caminho para facilitar o escoamento da água na passagem dos pneus das aeronaves (RODRIGUES FILHO, 2006; OLIVEIRA 2009).

De acordo com Mattos (2009), a macrotextura sofre modificações significativas ao longo da vida útil do pavimento, principalmente em função da ação do tráfego, sendo este parâmetro extremamente importante, e que deve ser constantemente monitorado, pois, conforme

Oliveira (2009) a profundidade da macrotextura na superfície dos pavimentos aeroportuários é um dos fatores que mais afetam a resistência à derrapagem de aeronaves em superfícies molhadas, por possibilitar maior ou menor perda de energia ao contato com os pneus.

A superfície da macrotextura pode ser classificada por aberta ou fechada, sendo denominada aberta quando apresenta predominância de agregados graúdos em sua composição e fechada quando possui elevada quantidade de finos. Nos pavimentos aeroportuários a macrotextura encontrada, na maioria dos casos, é aberta, enquanto nos rodoviários, é fechada. Isso ocorre em virtude da diferença de características de drenagem entre os pneus das aeronaves dos veículos, destaca Oliveira (2009).

A Agência Nacional de Aviação Civil (2021) orienta que a profundidade média da macrotextura do pavimento seja realizada por meio de medições com frequência definida na Tabela 24.

Tabela 24 – Frequência mínima de medição da macrotextura

Faixas	Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano	Frequência de medição da macrotextura
1	Menor que 16	Cada 360 dias
2	Maior ou igual a 16 e menor que 31	Cada 180 dias
3	Maior ou igual a 31 e menor que 91	Cada 90 dias
4	Maior ou igual a 91 e menor que 151	Cada 60 dias
5	Maior ou igual a 151 e menor ou igual a 210	Cada 30 dias
6	Maior que 210	Cada 30 dias

Fonte: ANAC (2021)

2.3.3 Megatextura e Irregularidade

A megatextura e a irregularidade interferem na dinâmica veicular e no contato do veículo com o pavimento, afetando também a estabilidade direcional e a aderência em pistas molhadas (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Segundo Rodrigues Filho (2006) a megatextura, está associada aos desvios da superfície do pavimento decorrentes de fatores como: formação de trilha de roda, painelas, remendos, perda de agregado na superfície e também pelas juntas e fissuras de maiores dimensões. Situa-se na faixa de 50 mm a 500 mm de comprimento de onda e afeta em maior grau o nível de ruído e a resistência ao rolamento do que o atrito entre o pneu e o pavimento.

A irregularidade pode ser entendida como os desvios de dimensões superiores a megatextura, de um plano superficial que afeta a dinâmica do veículo, a qualidade ao rolamento, o custo operacional dos veículos ou aeronaves, assim como, a drenagem superficial da via (RODRIGUES FILHO, 2006; MERIGHI, 2017). Para a medida da irregularidade existe um índice estatístico, expresso em m/km denominado *International Roughness Index* (IRI), que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto e são medidas ao longo de uma linha imaginária, geralmente coincidente com as regiões de trilhas de roda (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Pinto e Preussler (2010) destacam que as irregularidades podem decorrer devido imperfeições no processo construtivo, como também, derivar de problemas após a construção, como resultado da atuação do tráfego, do clima e das intempéries. Ainda conforme os autores, as irregularidades acarretam movimentos e esforços indesejáveis, que conduzem uma condição de rolamento desconfortável, insegura e antieconômica. Portanto, a caracterização das irregularidades é de grande importância, uma vez que, está estritamente associada com a qualidade do rolamento e com os vários componentes operacionais dos veículos ou aeronaves.

A Agência Nacional de Aviação Civil (2021) estabelece que a irregularidade longitudinal do pavimento seja monitorada com equipamento que permita a obtenção de valores expressos segundo a escala internacional de irregularidade (*International Roughness Index* – IRI). Ademais, determina que o parâmetro de irregularidade longitudinal do pavimento, seja igual ou inferior a 2,5 m/km, reportado a cada 200 m. A frequência para a medição da irregularidade longitudinal do pavimento deve ser realizada de acordo com a Tabela 25.

Tabela 25 – Frequência mínima de medição da irregularidade longitudinal

Faixas	Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano	Frequência de medição do IRI
1	Menor que 16	Cada 36 meses
2	Maior ou igual a 16 e menor que 31	Cada 24 meses
3	Maior ou igual a 31 e menor que 91	Cada 24 meses
4	Maior ou igual a 91 e menor que 151	Cada 18 meses
5	Maior ou igual a 151 e menor ou igual a 210	Cada 12 meses
6	Maior que 210	Cada 12 meses

Fonte: ANAC (2021)

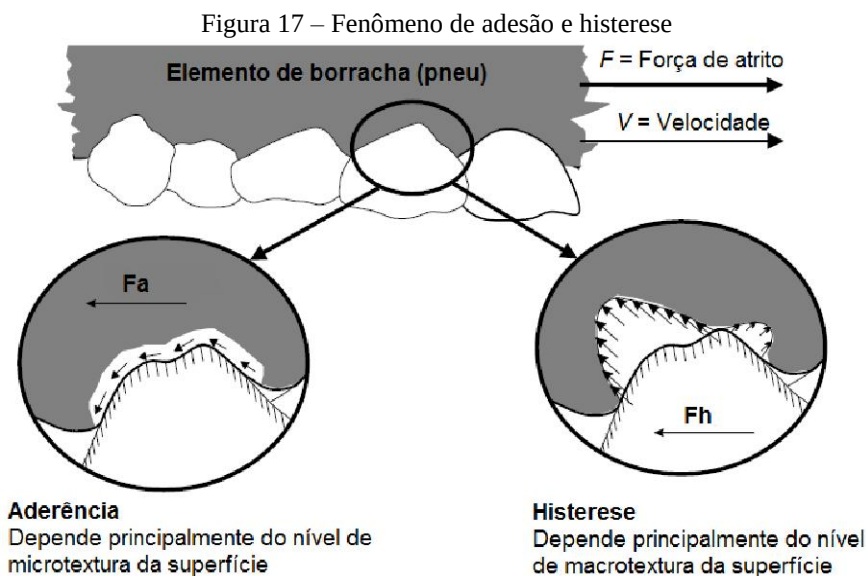
2.4 ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

O atrito do pavimento é a força que resiste ao movimento relativo entre o pneu de um veículo e uma superfície de pavimento, não sendo, portanto, uma propriedade exclusiva do pneu, ou da superfície do pavimento (OLIVEIRA, 2021). O atrito é caracterizado pelo seu coeficiente, simbolizado pela letra grega μ (μ). Formalmente definido pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2002) como:

A relação entre a força tangencial necessária para manter um movimento relativo uniforme entre as duas superfícies em contato (os pneus da aeronave e a superfície do pavimento) e a força perpendicular que as mantém em contato (peso distribuído do avião sobre a área dos pneus do avião).

A condição de atrito da pista, quando se trata de segurança aeroviária, é um dos principais aspectos que precisa ser levado em consideração, pois constitui um dos fatores determinantes na prevenção de acidentes aéreos nas manobras de pouso e decolagem. É o atrito que contribui com as operações de pouso, em que a aeronave se aproxima a uma dada velocidade e precisa parar com conforto e segurança. Contudo, a boa qualidade da textura da superfície de contato, possibilita que a interação entre o pneu e a superfície de rolamento seja assegurada (SANTOS, 2004).

Conforme Mattos (2009), na interação entre o pneu e o pavimento, o atrito ocorre principalmente devido ao fenômeno de adesão e histerese, pois, embora existam outros elementos de atrito do pavimento, quando comparados com a adesão e histerese, se tornam insignificantes, podendo o atrito ser visto como a soma das duas parcelas. Ambos os componentes dependem das características da superfície do pavimento, do contato entre o pneu e o pavimento e das propriedades do pneu, a Figura 17 exemplifica o fenômeno.



Fonte: Hall *et al.* (2009) *apud* Ribeiro (2012)

A adesão provém da resistência ao cisalhamento que se dá na área de contato entre a superfície do pneu e a do pavimento diminuindo rapidamente, se as superfícies forem levemente separadas por um fluido contaminante⁵. Essa parcela de atrito é sensível às asperezas da microtextura das partículas do agregado contidas na superfície do pavimento; e é a maior responsável pelo atrito em pistas secas, por outro lado, sofre redução substancial quando o pavimento se encontra molhado (RIBEIRO, 2012; VEDANA, 2014).

Já a histerese é resultante da perda de energia devido à deformação do pneu do veículo/aeronave ao redor da textura. Quando um pneu se comprime contra a superfície do pavimento, a distribuição da tensão faz com que a energia de deformação seja armazenada dentro da borracha. A medida que o pneu relaxa, parte da energia armazenada é recuperada, enquanto a outra parte é perdida na forma de calor (histerese). Essa perda causa uma força resultante de atrito que ajuda a cessar o movimento. A histerese depende principalmente das asperezas da macrotextura formada na superfície do pavimento em função do projeto de mistura e/ou técnicas de execução, e consiste em uma parcela de atrito muito importante principalmente em pavimentos molhados (SANTOS, 2004; RIBEIRO, 2012).

De acordo com a ANAC (2021), o atrito deve ser medido por meio de equipamentos que forneçam um coeficiente de atrito entre pneu e pavimento, e é orientado e definido por meio das mesmas diretrizes que a textura superficial com periodicidade estabelecida de acordo com a Tabela 26.

⁵ Fluido contaminante é a situação em que a pista possui 25% da sua superfície coberta por uma lâmina d'água, neve compactada ou gelo misturado com água, maior do que 3,0 mm (SILVA, 2008).

Tabela 26 – Frequência mínima de medição de atrito

Faixas	Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano	Frequência de medição da macrotextura
1	Menor que 16	Cada 360 dias
2	Maior ou igual a 16 e menor que 31	Cada 180 dias
3	Maior ou igual a 31 e menor que 91	Cada 90 dias
4	Maior ou igual a 91 e menor que 151	Cada 60 dias
5	Maior ou igual a 151 e menor ou igual a 210	Cada 30 dias
6	Maior que 210	Cada 15 dias

Fonte: ANAC (2021)

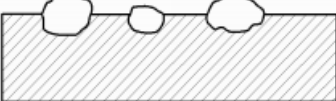
2.5 CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE

De acordo com Ribeiro (2012) tem-se admitido que as características de textura da superfície do pavimento influenciam diretamente nas forças de atrito que o pneu pode desenvolver para a aceleração, direção e frenagem dos veículos. Henry (2000), portanto, evidencia que a macrotextura e a microtextura são as características que predominantemente afetam a aderência pneu-pavimento.

Com isso a superfície do pavimento pode ser classificada quanto a microtextura por rugosa ou polida, sendo rugosa quando apresenta arestas vivas e polida quando a superfície é lisa. No entanto, na macrotextura a superfície pode ser tida por aberta ou fechada, aberta quando apresenta predominância de agregados graúdos e fechada quando possui elevada quantidade de finos (MATTOS, 2009)

Conforme Aps (2006) as características conjuntas da macro e da microtextura podem resultar em quatro tipos de textura: rugosa e aberta, rugosa e fechada, polida e aberta; e polida e fechada. A Tabela 27 demonstra as possíveis classificações e os tipos de superfícies resultantes.

Tabela 27 – Tipos de superfícies em função da classe de microtextura e macrotextura

Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polido	Aberta		Polido e Aberto
	Fechada		Polido e Fechado

Fonte: Adaptado – Aps (2006)

A superfície com microtextura rugosa e macrotextura aberta como apresentado na Figura 18, permite alta adesão entre a borracha do pneu e o pavimento. Esse tipo de superfície proporciona um alto índice de histerese, à medida que o pneu se deforma, para acompanhar as saliências do pavimento. Ademais, por permitir o escoamento de fluido na movimentação do pneu sobre o pavimento, não sofre perda acentuada de propriedades de atrito na presença de água (ESDU, 1971 *apud* SANTOS, 2004).

Figura 18 – Superfície com microtextura rugosa e macrotextura aberta

Fonte: ESDU (1971) *apud* Santos (2004)

Segundo Rodrigues Filho (2006) uma pista seca com microtextura rugosa e macrotextura fechada acarreta diminuição da área real de contato e menor adesão devido a redução do atrito, entretanto, tal redução é compensada pelo incremento que a microtextura proporciona ao atrito da pista, quando molhada. As asperezas perfuram a fina película de água tornando possível as perdas por adesão nos pontos de contato teoricamente secos. A Figura 19 exemplifica uma superfície com microtextura rugosa e macrotextura fechada.

Figura 19 – Superfície com microtextura rugosa e macrotextura fechada

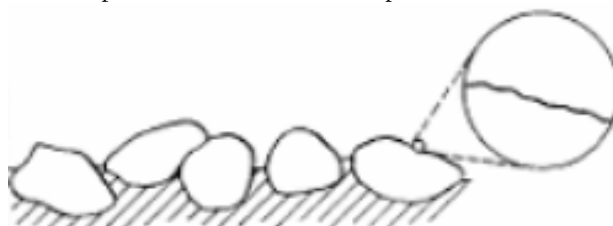


Fonte: ESDU (1971) *apud* Santos (2004)

Pavimentos com microtextura polida e macrotextura aberta apresentam menor valor de atrito por adesão, devido a menor capacidade de a borracha do pneu aderir a microtextura mais suave da superfície. O atrito por histerese, nesse tipo de pavimento, é responsável pela maior parte da força de frenagem gerada em condições de pista molhada. Pneus construídos com materiais que permitam valores altos de coeficiente de atrito por histerese apresentam melhor desempenho nessas condições. Ademais, por possuir uma macrotextura aberta, ainda é possível que o escoamento da água acumulada sobre o pavimento aconteça, evitando o acúmulo de água na pista (ESDU, 1971 *apud* SANTOS, 2004). A

Figura 20 apresenta uma superfície polida e aberta.

Figura 20 – Superfície com microtextura polida e macrotextura aberta



Fonte: ESDU (1971) *apud* Santos (2004)

Superfície molhada com microtextura polida e macrotextura fechada possui um menor valor de coeficiente de atrito, devido aos baixos índices de atrito por adesão e a incapacidade de a água acumulada sobre a pista escoar por meio do pavimento. Já em pista seca, o valor de força de frenagem que pode ser gerada, também é menor, devido aos pequenos valores de atrito por adesão e por histerese, fazendo com que a aeronave necessite de maior distância para executar a frenagem (ESDU, 1971 *apud* SANTOS, 2004). A representação esquemática da superfície é apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Superfície com microtextura polida e macrotextura fechada



Fonte: ESDU (1971) *apud* Santos (2004)

Conforme ESDU (1971) *apud* Santos (2004) os outros três tipos de classificação, podem atingir o estado de microtextura polida e macrotextura fechada devido ao uso, que ao longo do tempo desgasta a microtextura da pista; e ao desgaste dos agregados do revestimento, causado pelo acúmulo de sujeira na pista e que aos poucos vai preenchendo a macrotextura. Assim, caso esse ponto seja alcançado é recomendável a execução de atividades de manutenção, restaurando as características que permitam a obtenção de maior segurança para a operação das aeronaves.

2.6 HIDROPLANAGEM

Quando há o deslocamento dos pneus sobre uma pista molhada, a presença de lâmina de água desenvolve pressões hidrodinâmicas na área de contato do pneu com o pavimento. As pressões aumentam com a velocidade da aeronave, e dependendo da textura da camada superficial podem atingir valores muito altos, tendendo levantar os pneus. Assim, se a carga transmitida aos pneus for menor do que as pressões hidrodinâmicas, eles deslizam sem manter contato direto com o pavimento, ocasionando um fenômeno denominado hidroplanagem (APS, 2006).

Na hidroplanagem a força de atrito aproxima-se de zero, além de ser insuficiente para manter a roda girando, perdendo-se o controle direcional e a capacidade de frenagem. No entanto, quando iniciado o fenômeno a velocidade da aeronave deve ser sensivelmente reduzida para que a roda volte a transmitir os esforços necessários para que haja a rotação (APS, 2006; ICAO, 1994 *apud* SILVA, 2008).

Fatores como a declividade transversal da pista associada a uma drenagem precária e a presença de irregularidades formando poças, são fatores que favorecem a hidroplanagem, principalmente em épocas de fortes chuvas. Por isso, o desempenho do pavimento deve ser monitorado para que as correções necessárias sejam executadas, inibindo a eventualidade e permitindo uma trafegabilidade segura (SILVA, 2008).

Rodrigues Filho (2006) e Ribeiro (2012) indicam três tipos de hidroplanagem: dinâmica, viscosa e por desvulcanização. A hidroplanagem dinâmica Figura 22 ocorre quando existe uma camada contínua e relativamente espessa de água na superfície, que com a aeronave a uma dada velocidade, invade completamente a área de contato deixando de existir o contato entre o pneu e a pista, ou seja, o pneu não consegue expulsar a água pelos seus sulcos, acarretando perdas por histerese no interior da área de contato. Normalmente, a hidroplanagem dinâmica ocorre quando a aeronave se encontra em alta velocidade durante a corrida no solo, para pousar

ou decolar. (SANTOS, 2004; RODRIGUES FILHO, 2006). Em pistas com macrotextura fechada a espessura mínima da lamina de água para que ocorra a hidroplanagem dinâmica é na ordem de 2 mm a 3 mm, já em pistas com macrotextura aberta pode chegar a 10 mm (SILVA, 1981 *apud* RODRIGUES FILHO, 2006).

Figura 22 – Hidroplanagem dinâmica



Fonte: Andrade (2001)

A hidroplanagem viscosa de acordo com Andrade (2001), acontece em todas as pistas, e nada mais é, do que o escorregamento normal ou ação lubrificante da água como apresentado na Figura 23. Ainda que a hidroplanagem viscosa reduza o atrito, não é a um nível tão baixo que impeça a roda de girar na aterrissagem. Rodrigues Filho (2006) destaca que este fenômeno normalmente ocorre em baixas velocidades, pois o efeito de viscosidade da água se opõe a sua expulsão da área de contato entre o pneu e o pavimento. Além disso, é favorecida em áreas impregnadas por borracha, que provém do desgaste dos pneus, e geralmente, ocorrem durante as operações de frenagem na aeronave.

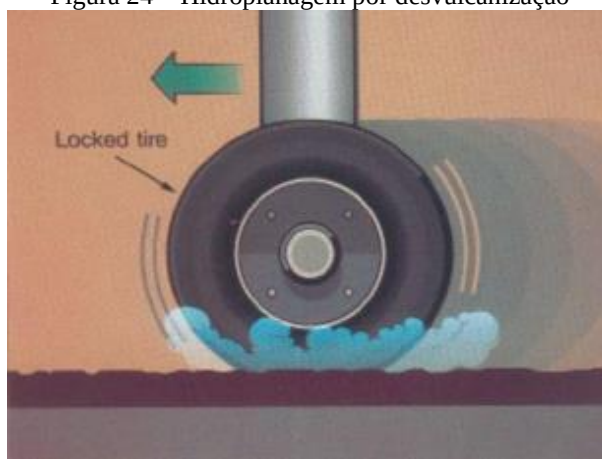
Figura 23 – Hidroplanagem viscosa



Fonte: Andrade (2001)

A hidroplanagem por desvulcanização pode ocorrer sempre que um pneu travado é deslizado ao longo de uma pista muito molhada, criando calor suficiente para vaporizar a película de água subjacente que forma um amortecedor de vapor, eliminando o contato do pneu com a superfície. Se esse processo continuar por muito tempo a temperatura na área de contato pode aumentar fazendo com que a borracha perda suas qualidades elásticas e se torne plástica. Em virtude da baixa resistência da borracha no estado plástico as perdas por adesão e histerese serão pequenas e as rodas começarão a girar tarde e abaixo da velocidade da hidroplanagem viscosa. Um pneu exposto a tal processo apresenta danos locais, ou seja, a banda de rodagem derrete parcialmente (RODRIGUES FILHO, 2006; RIBEIRO 2012). A Figura 25 ilustra o aspecto de um pneu que sofreu hidroplanagem por desvulcanização.

Figura 24 – Hidroplanagem por desvulcanização



Fonte: Andrade (2001)

Figura 25 – Banda de rodagem de pneu após hidroplanagem por desvulcanização



Fonte: Rodrigues Filho (2006)

A probabilidade de ocorrência da hidroplanagem é pequena, estando associada a altas velocidades, elevadas espessuras de lâmina d'água e pneu com pressão superior à sua pressão de contato, onde este, desliza sobre a superfície d'água. Geralmente, em locais que possuem macrotextura fechada, a drenagem superficial é precária e a velocidades superiores a 100 km/h. E, embora a água forme uma camada fina, denominada filme, ainda há o risco de acidentes, visto que, o filme lubrifica a camada superficial deixando-a suscetível a deslizamentos (GUZMÁN, 1995 *apud* APS, 2006).

O regulamento 153 da ANAC (2021), dispõe que a pista de pouso e decolagem esteja livre de desníveis, depressões ou deformações que alterem as declividades transversais e longitudinais originais propiciando o acúmulo de água e a perda do controle direcional da aeronave. Além disso, aponta que a profundidade de água não exceda 3 mm numa região de 150 m de comprimento e 12 de largura na porção central em relação ao eixo da pista, e caso verificada essa situação, ações corretivas carecem de ser aplicadas.

2.7 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TEXTURA SUPERFICIAL

De acordo com Aps (2006) as características de aderência, propiciadas pela macrotextura e pelo atrito são de grande importância para a segurança viária, rodoviária e aeroportuária, em função disso, nas últimas décadas diversos equipamentos e métodos tem sido desenvolvidos visando avaliar tais parâmetros.

Quanto à obtenção de índices de macrotextura alguns ensaios podem ser aplicados, tais como: Método da Mancha de Areia, da Mancha de Graxa e da Drenabilidade. Já para a avaliação do atrito alguns dos principais equipamentos são: MuMeter, Skiddometer e Pêndulo Britânico. No Brasil o ensaio da Mancha de Areia é o indicado para os pavimentos aeroportuários; bem como o MuMeter, Skiddometer como parâmetros de medição de atrito, a utilização do Pêndulo Britânico não é prevista pela ANAC (2020b).

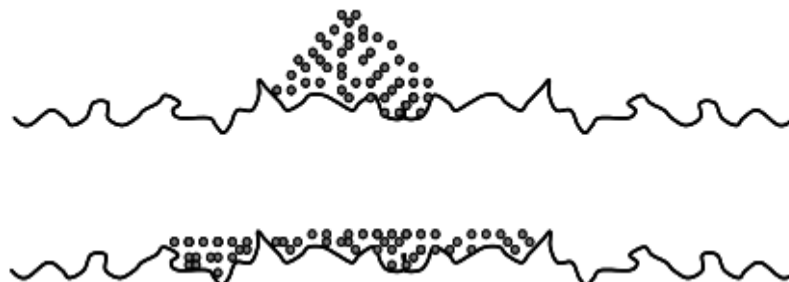
2.7.1 Métodos de Avaliação da Textura do Pavimento

2.7.1.1 Mancha de Areia

A mancha de areia é um método volumétrico utilizado para avaliação da macrotextura da superfície de rolamento. O ensaio foi proposto por Trafford J. W. Leland (1968) e é amplamente aplicado por diversos países, inclusive no Brasil, onde a ANAC prevê sua adoção nas pistas de pouso e decolagem (VIEIRA *et al.*, 2013).

O método consiste em determinar a profundidade média da mancha de areia, para obtenção das características de macrotextura. Para tal, uma pequena quantidade de areia limpa e seca com volume conhecido de 25.000 mm³, é espalhada na superfície do pavimento preenchendo os vazios da textura superficial como ilustrado na Figura 26, assim, a profundidade será dada pela razão do volume pela área de espalhamento (ASTM, 2006; ANAC, 2020b).

Figura 26 – Esquema do ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Rodrigues Filho (2006)

A ANAC (2020b) salienta que é necessário o cálculo da profundidade da macrotextura para cada área de medição, para que possa ser classificada de acordo com a Tabela 28.

Tabela 28 – Classificação da macrotextura

Altura média da mancha de areia (mm)	Classificação
$HS \leq 0,2$	Muito fechada
$0,2 < HS \leq 0,4$	Fechada
$0,4 < HS \leq 0,8$	Média
$0,8 < HS \leq 1,2$	Aberta

Fonte: ANAC (2012)

2.7.1.2 Mancha de Graxa

Segundo Aps (2006) o método consiste em obter a profundidade média da textura por meio de uma área coberta com graxa. Para isso a área é demarcada com duas fitas adesivas paralelas e espaçadas em 10 cm, e como limite uma terceira fita é colocada em um dos extremos, fechando-o. Um volume conhecido de 16.000 mm³ de graxa é espalhada sobre a superfície limpa e seca, preenchendo os vazios da superfície e formando uma área final de formato retangular. Posteriormente, mede-se o comprimento do retângulo formado e a profundidade média da mancha de graxa será dada pela razão entre o volume e a área encontrada. A técnica é uma variação do método da Mancha de Areia, e é empregada principalmente em pavimentos aeroportuários. A Figura 27 apresenta os materiais necessários e a realização do ensaio.

Figura 27 – Ensaio Mancha de Graxa



Fonte: Wambold e Henry (2002) *apud* Aps (2006)

2.7.1.3 Drenabilidade

A drenabilidade consiste na capacidade da macrotextura drenar a água através dos canais existentes na superfície do pavimento. A determinação da drenabilidade de um pavimento é feita por meio de um drenômetro, um cilindro transparente com volume conhecido, acoplado a um fundo com um orifício circular em contato com a superfície indicado na Figura 28; que é preenchido com água para que o ensaio seja executado. O método consiste em medir o tempo gasto em segundos para o escoamento de um volume padronizado, em uma superfície previamente molhada. O tempo gasto se relaciona diretamente com a macrotextura; pois quanto menor o tempo melhor a drenabilidade, e consequentemente melhor será a macrotextura do pavimento, proporcionando uma clara indicação do potencial de hidroplanagem (RIBEIRO, 2012).

Figura 28 – Drenômetro



Fonte: Specht (2004)

2.7.2 Métodos de Avaliação do Atrito do Pavimento

2.7.2.1 MuMeter

O MuMeter é um equipamento rebocado, muito utilizado para medir o atrito em pistas aeroportuárias. Possui peso total de aproximadamente 245 kg e detém três rodas, duas destinadas a medir o atrito e uma para estabelecer as distâncias percorridas, como também um sistema espargidor que aplica uma fina película d'água com espessura de 1 mm a frente das rodas sensoras, para supor uma condição crítica, contudo, as medidas também podem ser feitas em pavimento seco (RODRIGUES FILHO, 2006). A Figura 29 ilustra o equipamento e a Figura 30 demonstra o espargidor em funcionamento.

Figura 29 – Equipamento MuMeter



Fonte: Oliveira (2009)

Figura 30 – Espargidor em funcionamento



Fonte: Rodrigues Filho (2006)

O equipamento é rebocado e quando começa operar as informações são transmitidas eletronicamente a um sistema de coleta de dados como ilustra a Figura 32. O coeficiente de atrito máximo da pista é obtido com o equipamento rebocado a uma velocidade de 65 km/h ou a 95 km/h, ao longo de toda a extensão da pista, com início na cabeceira com maior quantidade de pousos e quando começa a operar as informações são transmitidas eletronicamente a um sistema de dados (RODRIGUES FILHO, 2006; ANAC, 2020b). A

Figura 31 demonstra o equipamento pronto para uso e a Figura 32 o computador responsável por armazenar os dados.

Figura 31 – MuMeter montado



Fonte: Rodrigues Filho (2006)

Figura 32 – Computador no interior do veículo rebocador



Fonte: Rodrigues Filho (2006)

De acordo com a IS nº 153.205-001B os serviços de manutenção com coeficiente de atrito obtido com MuMeter dependem da análise da velocidade em que o ensaio foi realizado. Para a velocidade de ensaio de 65 km/h o nível mínimo de atrito deve ser de 0,42 e o nível de manutenção de 0,52; já para a velocidade de 95 km/h o nível mínimo requerido é de 0,26 e o de manutenção de 0,38 (ANAC, 2020b).

2.7.2.2 Skiddometer

Oliveira (2009) destaca que assim como o MuMeter, o Skiddometer é um equipamento rebocável, possui cerca de 400 kg distribuídos às suas cinco rodas, duas laterais para medição do deslocamento (170 kPa), duas para o tanque de água (450 kPa) e uma central responsável por medir o atrito (210 kPa), como ilustrado na Figura 33.

Figura 33 – Skiddometer



Fonte: Moventor (2022)

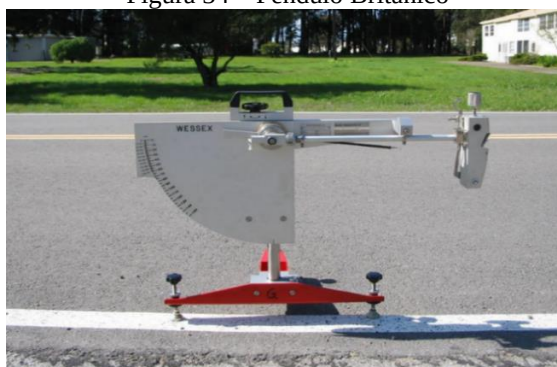
Além disso, a metodologia com relação à velocidade, espargimento da lâmina d'água, dentre outros, é a mesma que para o MuMeter. As condições de atrito mínimo para a velocidade de ensaio de 65 km/h é de 0,50 e o nível de manutenção de 0,60; e para velocidade de 95 km/h o nível mínimo deve ser de 0,34 e o de manutenção de 0,47 (OLIVEIRA, 2009; ANAC, 2020b).

2.7.2.3 Pêndulo Britânico

O método de ensaio com o pêndulo britânico visa analisar a microtextura do pavimento e é especificado pela norma ASTM E303-22 (ASTM, 2022b). O equipamento é portátil e consiste em um pêndulo que possui em sua haste uma sapata emborrachada, como exemplificado na

Figura 34. Com a superfície molhada, buscando simular a pior situação de tráfego a haste é solta e a sapata desliza pelo pavimento, a perda de energia decorrente desse movimento serve como medida de atrito e é registrada em uma escala graduada com valor expresso em *British Number Pendulum* (BPN) ou *Skid Resistance Tester* (SRT) (SANTOS, 2004; OLIVEIRA, 2009).

Figura 34 – Pêndulo Britânico



Fonte: Mattos (2009)

De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), a microtextura de uma superfície pode ser classificada em função do Valor de Resistência à Derapagem (VRD) conforme indicado na Tabela 29.

Tabela 29 – Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico

Classificação da Microtextura	Limites de BPN
Perigosa	< 25
Muito Lisa	25 – 31
Lisa	32 – 39
Insuficientemente Rugosa	40 – 46
Medianamente Rugosa	47 – 54
Rugosa	55 – 75
Muito Rugosa	> 75

Fonte: DNIT (2006)

Segundo o DNIT (2006) é recomendável valores de BPN maiores ou iguais a 55, caracterizando, portanto, uma superfície com textura rugosa ou muito rugosa.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DA PESQUISA

Este trabalho analisou a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Municipal de Barra do Garças – MT (SBBW), caracterizado como Classe I-B, localizado em área rural do município, próximo ao km 16 da Rodovia BR-070, latitude 15° 51'39" S e longitude 052°23'22" W. O aeroporto conta com uma pista de pouso e decolagem de 1.598 m de comprimento por 30 m de largura, uma estrutura flexível com camada de rolamento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), que detém duas cabeceiras intituladas 07 (a esquerda da Figura 35) e 25 (a direita da Figura 35) conforme informações adquiridas na Prefeitura Municipal (2022). A Figura 35 representa a vista aérea do aeroporto.

Figura 35 – Vista aérea do Aeroporto Municipal de Barra do Garças – MT



Fonte: Google Earth (2022)

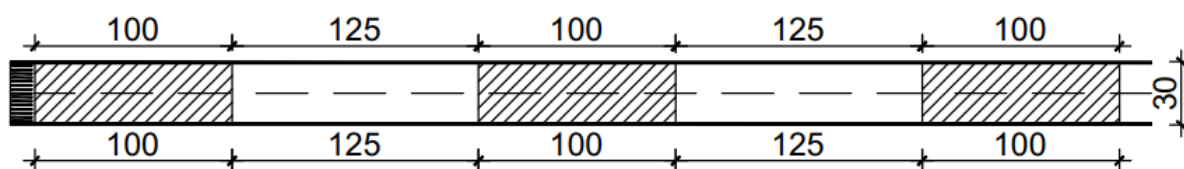
3.2 MÉTODO DO PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)

3.2.1 Localização das Unidades Amostrais

O método do PCI foi realizado seguindo as instruções da ACRP (2011), ASTM (1998; 2012) e da ANAC (2017; 2020a). De acordo com a ANAC (2020a) para a realização da

metodologia, apenas aeródromos Classe III e IV necessitam de cálculo para definição das unidades amostrais, assim, foram delimitados dois trechos aleatórios de 550 m a partir de cada cabeceira. Cada trecho foi subdividido em três unidades amostrais com 100 m de comprimento por 30 m de largura (área hachurada), espaçadas em 125 m como apresentado na Figura 36.

Figura 36 – Localização das unidades amostrais



Fonte: Autora (2022)

3.2.2 Método

3.2.2.1 Inspeção das Unidades Amostrais

A inspeção foi realizada individualmente em cada unidade de amostra definida, caminhando sobre a seção e averiguando as degradações, medindo a extensão e analisando a severidade dos defeitos em baixa, média ou alta. A Tabela 30 descreve os defeitos observados pelo PCI e a forma de medição de cada um deles.

Tabela 30 – Defeitos de pavimento asfáltico e forma de medição para o Método do PCI

Número	Defeito	Forma de Medição
1	Trinca tipo “Couro de Jacaré”	Área
2	Exsudação	Área
3	Trinca em Bloco	Área
4	Corrugação	Área
5	Depressão/Afundamento	Área
6	Erosão por rápida propulsão do jato de aeronaves	Área
7	Trincas de Reflexão da Base de Concreto	Metro Linear
8	Trincas Transversais e Longitudinais	Metro Linear
9	Deterioração por presença de óleo/combustível	Área
10	Remendo	Área

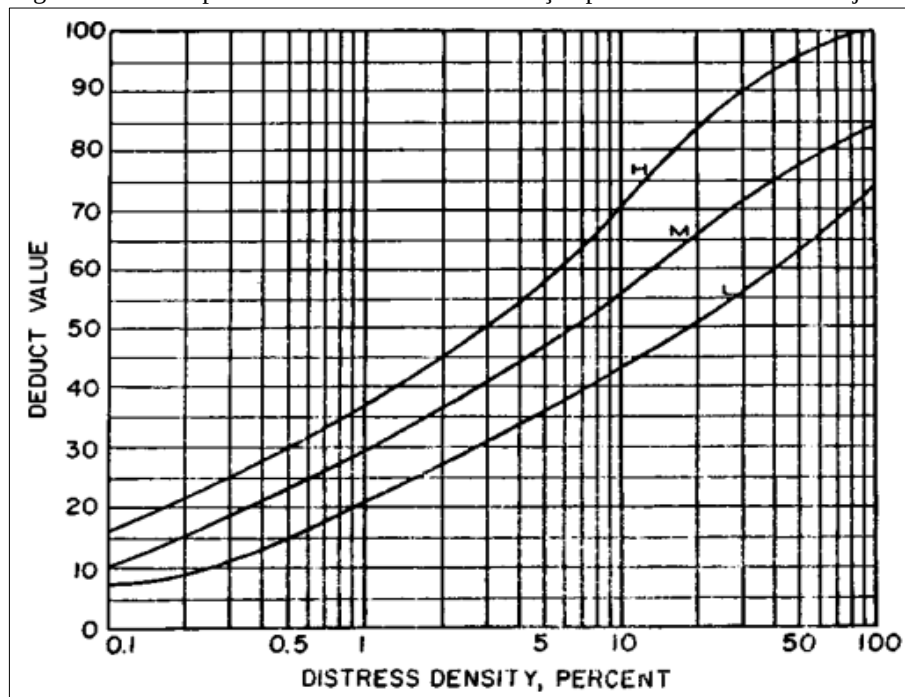
Número	Defeito	Forma de Medição
11	Agregado Polido	Área
12	Desagregação	Área
13	Afundamento da trilha de roda	Área
14	Solevamento	Área
15	Fendas em Meia Lua	Área
16	Inchamento	Área
17	Desprendimento	Área

Fonte: ASTM (2012); ANAC (2017)

3.2.2.2 Cálculo do PCI

Com os dados coletados é obtido o Valor de Dedução (VD), através das curvas para cada tipo de defeito conforme Anexo A e exemplificada na Figura 37. Para a determinação dos valores de dedução ingressa-se nos ábacos com a respectiva densidade, calculada a partir da Equação 1, e a severidade de cada dano, tida por meio de análise visual, obtendo-se assim o VD.

Figura 37 – Exemplo de curvas do Valor de Dedução para as Trincas couro de jacaré



Fonte: ASTM (1998)

$$D \% = \frac{\text{Quantidade de degradações (m ou m}^2\text{)}}{\text{Área total da unidade de amostra (m}^2\text{)}} \times 100 \quad (1)$$

Estabelecidos os valores de dedução, se define o Valor Total de Dedução (VTD) somando todos os Valores de Dedução maiores do que cinco, conforme Equação 2.

$$VTD = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} a(T_i, S_j, D_{ij}) \quad (2)$$

Onde:

p = número total de tipos de defeitos, para o pavimento analisado;

m_i = número de níveis de severidade para o i -ésimo tipo de defeito;

i = contador do tipo de defeitos;

j = contador dos níveis de severidade;

$a()$ = valor de dedução;

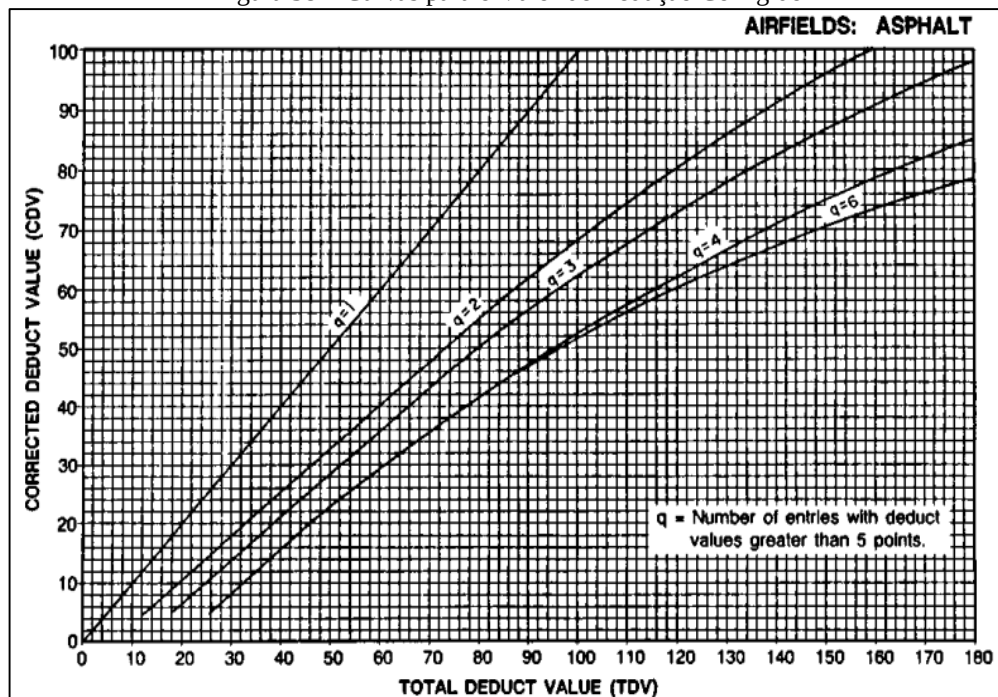
T_i = Tipos de defeitos;

S_j = níveis de severidade;

D_{ji} = densidade.

Para prosseguir com os cálculos o VTD necessita ser corrigido, assim, de posse do ábaco apresentado na Figura 38 ingressa-se com o Valor Total de Dedução e a quantidade dos tipos de defeito encontrado no trecho (q); definindo o Valor de Dedução Corrigido (VDC). Assim, o valor do PCI é calculado, conforme a Equação 3.

Figura 38 – Curvas para o Valor de Dedução Corrigido



Fonte: ASTM (1998)

$$PCI = 100 - VDC \quad (3)$$

A classificação do estado do pavimento é realizada comparando os valores obtidos com os intervalos da escala do PCI, como apresentado na Tabela 21. E por fim, seguindo a orientação da ACRP (2011) e da ASTM (2012) as medidas a serem adotadas de acordo com o PCI obtido podem ser interpretadas de acordo com a Tabela 31.

Tabela 31 – Medidas a serem adotadas de acordo com o PCI

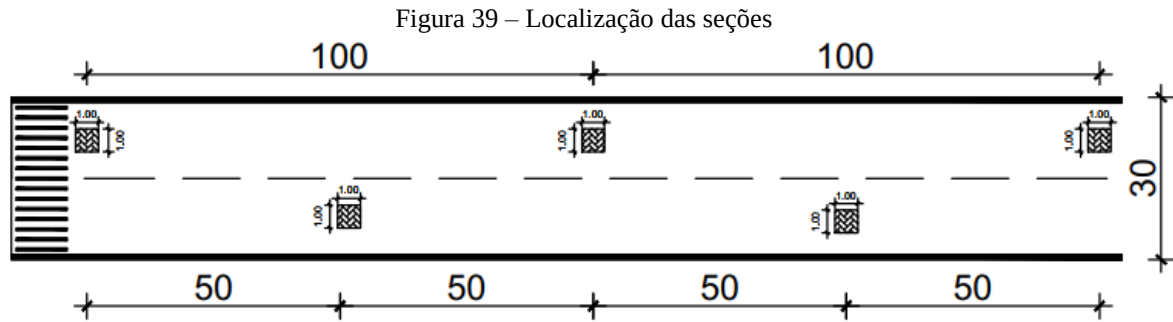
PCI	Escala	Medida a ser adotada
85 à 100	Excelente	Manutenção de rotina
70 à 84	Bom	Manutenção preventiva
55 à 69	Regular	Manutenção de correção e reabilitação
40 à 54	Ruim	Reabilitação ou reconstrução
25 à 39	Muito Ruim	Reabilitação e reconstrução
10 à 24	Péssimo	Reparos imediatos e reconstrução
0 à 9	Ruptura	Reconstrução

Fonte: ACRP (2011); ASTM (2012)

3.3 ENSAIO DA MANCHA DE AREIA

3.3.1 Localização das Seções

O ensaio da mancha de areia foi realizado a partir das instruções da resolução RA 0236 – 12 e instrução suplementar 153.205-001B da ANAC; e da ASTM (2006). Assim, foram definidos dois trechos de 550,00 m partindo de cada cabeceira; para cada trecho, foram definidas doze estações com 1,00 m de comprimento por 1,00 m de largura. As seções foram posicionadas a três m do eixo da pista e de forma alternada a cada 100 m, à esquerda e à direita do eixo, conforme esquematizado na Figura 39.



Fonte: Autora (2022)

3.3.2 Materiais

Na realização do ensaio, os materiais utilizados foram os listados abaixo e identificados na Figura 40.

- 1 – Areia limpa e seca, passante na peneira n° 50 (0,3 mm) e retida na peneira n° 100 (0,15 mm);
- 2 – Espalhador/cilindro metálico com volume interno de 25.000 mm³;
- 3 – Pincel para limpeza da superfície;
- 4 – Trena para medição.

Figura 40 – Materiais



Fonte: Autora (2022)

3.3.3 Método

Para a realização do ensaio inicialmente a superfície do pavimento é limpa; preenche-se o cilindro com a areia especificada que é depositada na seção, evitando locais onde possuem pintura, fissuras ou trincas. A areia é espalhada uniformemente com o auxílio do disco emborrachado contido no cilindro com movimentos circulares para que o material ocupe os espaços vazios do revestimento. O espalhamento é interrompido assim que o diâmetro deixa de se alterar e posteriormente mede-se o diâmetro da “mancha” obtida em quatro direções distintas com aproximação visual de 5 mm. O diâmetro final (Dm) é a média aritmética simples das quatro medições (ASTM, 2006). A altura da mancha de areia é então determinada por meio da Equação 4.

$$H_s = \frac{v}{A} = \frac{4 \times V}{D_m^2 \times \pi} \quad (4)$$

Em que:

v – Volume;

A – Área;

V – Volume de areia, 25.000 mm³;

Dm – Diâmetro médio da mancha de areia (mm);

Hs – Altura média da mancha de areia (mm).

A ANAC (2020b) determina no mínimo três manchas de areia para cada estação de ensaio. Com a média das três amostras a macrotextura da estação é obtida; por fim, a macrotextura da pista é dada pela média de todas as unidades analisadas e é então classificada de acordo com a Tabela 28.

É recomendável que a profundidade média da macrotextura dos pavimentos aeroportuários seja maior ou igual a 0,60 mm para pista de pouso e decolagem em operação; e caso isso não ocorra é necessário que ações sejam tomadas para restabelecer valores que atendam a tal especificação (ANAC, 2020b). Ainda de acordo com o DNIT (2006) e Bernucci *et al.* (2008), é preferível que a altura média da mancha de areia esteja pelo menos na faixa de 0,6 mm a 1,2 mm em pavimentos asfálticos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A inspeção foi executada no mês de outubro de 2022. Os registros fotográficos e os formulários contendo os resultados obtidos de forma detalhada do PCI; e as planilhas dos dados relativos ao ensaio da mancha de areia estão apresentadas no Apêndice A, Apêndice B e no Apêndice C respectivamente. Para a obtenção das informações do PCI foram analisados 18.000 m², já para o ensaio da mancha de areia as informações foram coletadas por meio de 72 análises.

4.1 *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)*

Para o levantamento dos defeitos a análise iniciou-se na Cabeceira 07 observando o pavimento nas três unidades amostrais, cada uma com 3.000 m² e espaçadas a 125 m.

- **Cabeceira 07 – Unidade Amostral 1**

A primeira unidade amostral se localiza no início da Cabeceira 07, nela foi possível identificar defeitos com baixa severidade como trincas couro de jacaré com área total de 20 m², fissuras longitudinais e transversais com comprimento de 50 m e agregado polido somando 3,2 m².

- **Cabeceira 07 – Unidade Amostral 2**

Na unidade amostral dois foram observadas trincas couro de jacaré e fissuras longitudinais e transversais, ambas de baixa severidade e com área de 12,3 m² e comprimento de 95 m respectivamente.

- **Cabeceira 07 – Unidade Amostral 3**

Na última amostra da Cabeceira 07 foi possível identificar trincas couro de jacaré com 25,17 m², fissuras longitudinais com 93,2 m e agregado polido com 3,12 m².

- **Cabeceira 25 – Unidade Amostral 1**

A unidade amostral apresentou trincas couro de jacaré ocupando área total de 25,2 m² e fissuras longitudinais com comprimento de 64,4 m.

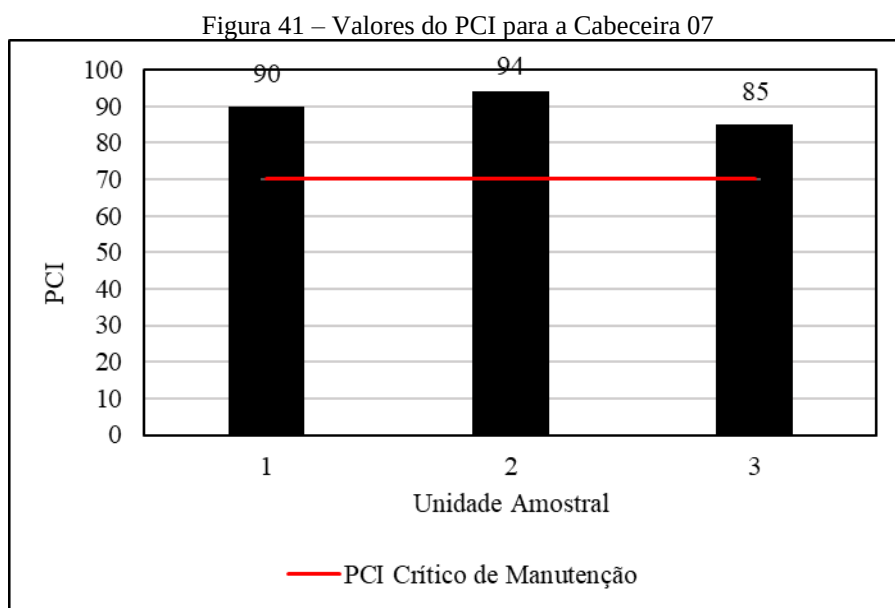
- **Cabeceira 25 – Unidade Amostral 2**

A amostra dois apresentou os mesmos defeitos da primeira unidade amostral da Cabeceira 25, somando área de 10,3 m² para as trincas couro de jacaré e comprimento de 144,34 m para as fissuras longitudinais.

- **Cabeceira 25 – Unidade Amostral 3**

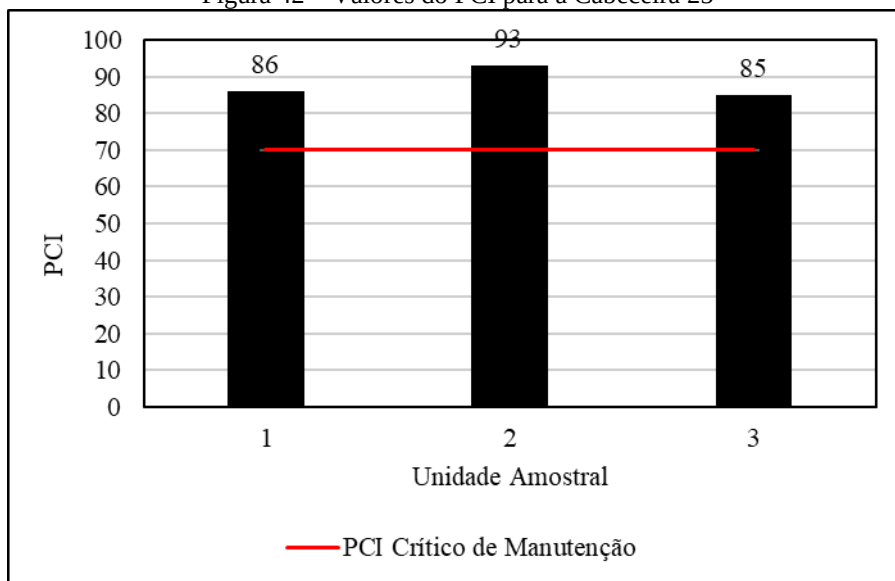
Além de trincas couro de jacaré e fissuras longitudinais com área de 44,3 m² e comprimento de 85,47 m respectivamente; também foram observados locais com desprendimento somando 7,4 m² de área.

A partir da inspeção realizada e com base nos dados coletados, foi possível realizar a caracterização do PCI para cada unidade amostral. Os valores obtidos para cada cabeceira são apresentados na Figura 41 e na Figura 42.



Fonte: Autora (2022)

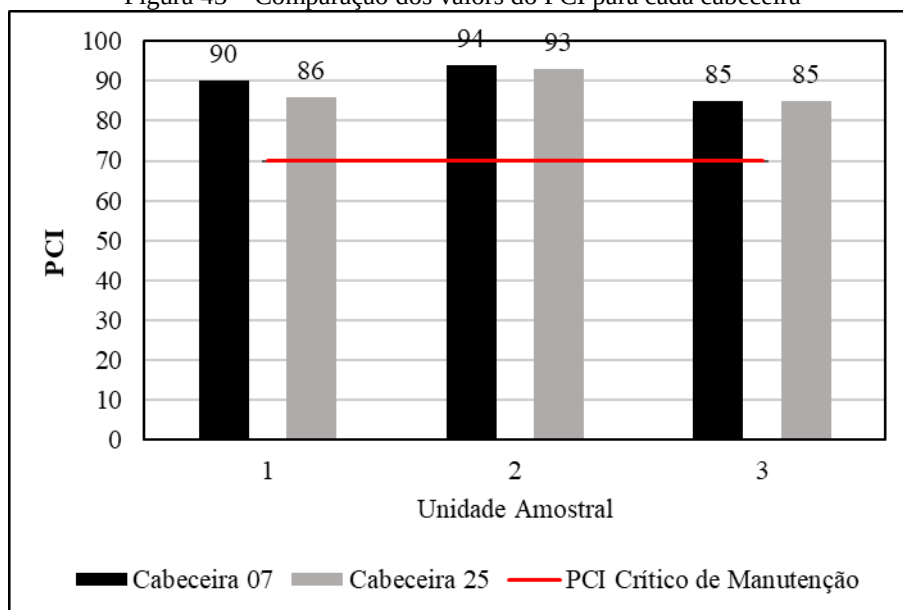
Figura 42 – Valores do PCI para a Cabeceira 25



Fonte: Autora (2022)

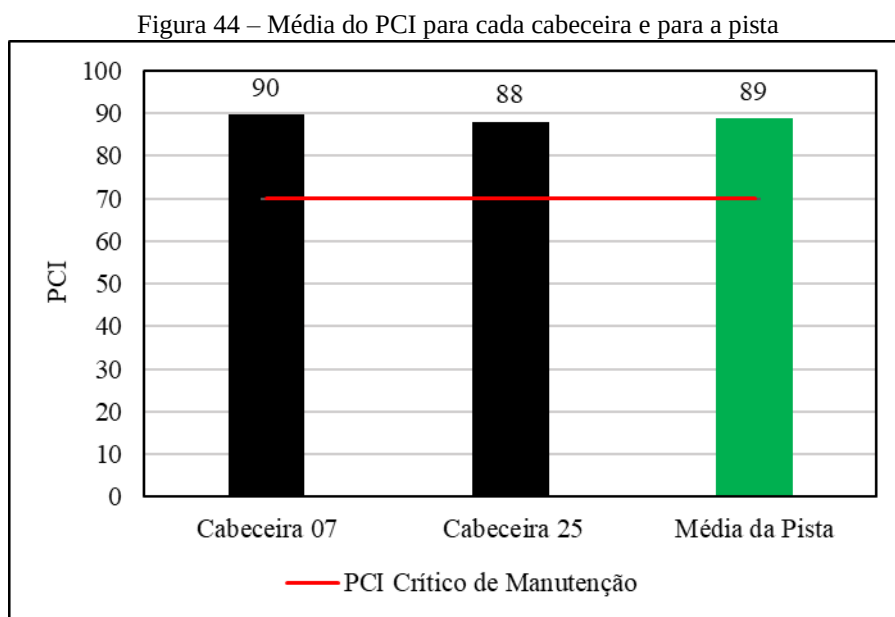
Os índices da condição do pavimento não apresentam diferenças expressivas de uma cabeceira para outra, a Cabeceira 25 possui valores próximos aos valores calculados para a Cabeceira 07, como pode ser analisado na Figura 43, além disso, todas as seis amostras analisadas dispõem de condição excelente, estando na faixa de PCI entre 85 à 100. Tanto na Cabeceira 07 quanto na Cabeceira 25, os menores índices de PCI são observados na Unidade Amostral 3, a 425 m do início de cada cabeceira. Tal fato é pertinente, pois segundo Rodrigues Filho (2006) 86% das aeronaves tocam a pista em uma distância menor que 600 m da cabeceira, entende-se, portanto, que a região a 425 m da cabeceira é solicitada por grande parte das operações, o que consequentemente contribui para sua degradação.

Figura 43 – Comparação dos valores do PCI para cada cabeceira



Fonte: Autora (2022)

A Figura 44 ilustra a média do PCI para as duas cabeceiras e para a pista, assim sendo, o pavimento de ambas as cabeceiras é classificado em excelente, pois compreende PCI entre 85 à 100 conforme apresentado na Tabela 21. A média do PCI da pista foi de 89, também caracterizando um revestimento em condições excelentes. A Cabeceira 25 compreende um menor valor do PCI, ressaltando a incidência de maiores quantidades de degradações.



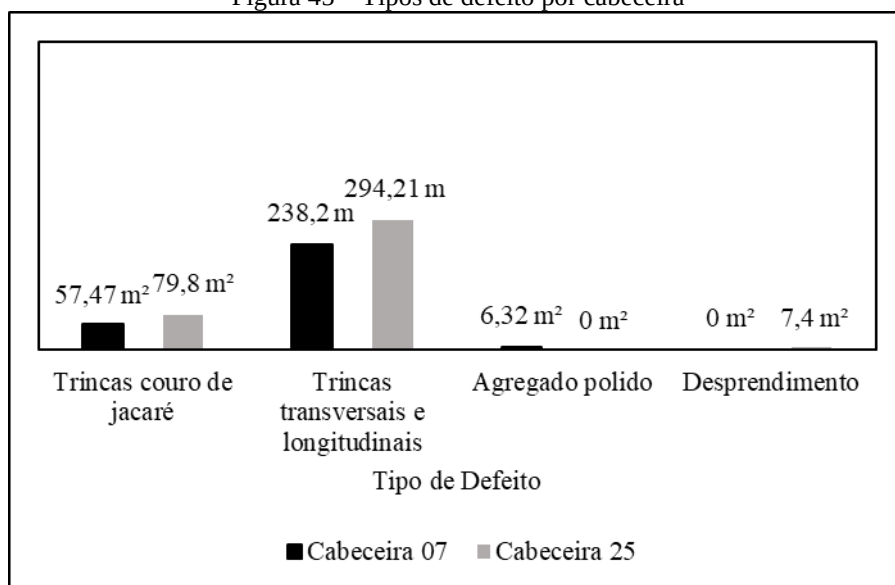
Fonte: Autora (2022)

4.1.1 Análise dos Defeitos e das Condições do Pavimento

Durante a inspeção, quatro dos dezessete defeitos avaliados pelo PCI foram verificados, sendo trincas couro de jacaré, fissuras longitudinais e transversais, agregado polido e desprendimento, todos caracterizados com baixa severidade, entretanto, as fissuras longitudinais e transversais estão presentes em grande parte das unidades amostrais.

Na Cabeceira 07, tem-se a existência de trincas couro de jacaré, fissuras longitudinais e transversais e agregado polido; já a Cabeceira 25 apresenta trincas couro de jacaré, fissuras longitudinais e transversais e desprendimento. Tanto o agregado polido quanto o desprendimento são defeitos associados ao tráfego frequente, além disso, o desprendimento também é influenciado pelo envelhecimento do ligante. A Figura 45 apresenta os tipos de defeito presentes em cada cabeceira, bem como, sua representatividade.

Figura 45 – Tipos de defeito por cabeceira



Fonte: Autora (2022)

De modo geral a incidência de fissuras longitudinais e transversais é expressiva, cerca de 532 m foram totalizados, seguidas das trincas tipo couro de jacaré com aproximadamente 137 m²; o agregado polido e o desprendimento somam aproximadamente 14 m².

A maior incidência de trincas longitudinais e transversais e trincas couro de jacaré ocorrem na Cabeceira 25, as trincas longitudinais e transversais podem estar relacionadas com as variações térmicas, tráfego, ou até, a mal execução do revestimento asfáltico. Por outro lado, de acordo com a ASTM (2012) as trincas tipo couro de jacaré, podem estar associadas com as repetições das cargas de tráfego; além de serem um alerta para a perda da capacidade de suporte, quando em grandes proporções e com severidade elevada.

Além dos defeitos analisados pelo PCI foram observadas outras deteriorações, que não contribuíram para os cálculos, mas que complementam a avaliação funcional do pavimento. Em todas as seis unidades amostrais foram identificados pequenos buracos com severidade baixa, a Figura 46 representa um exemplo do defeito na Unidade Amostral 3 da Cabeceira 25. Mesmo que não tenham influenciado nos cálculos é importante que sejam reparados, pois com o passar do tempo podem afetar significativamente a superfície de rolamento.

Figura 46 – Buraco



Fonte: Autora (2022)

De acordo com a ACRP (2011) e ASTM (2012) um valor de PCI entre 85 e 100 demanda manutenção de rotina como pode ser observado por meio da Tabela 31, com isso, a Tabela 32 apresenta possíveis medidas de manutenção para os principais defeitos observados na pista de pouso e decolagem.

Tabela 32 – Tipos de tratamentos para defeitos em pavimentos flexíveis

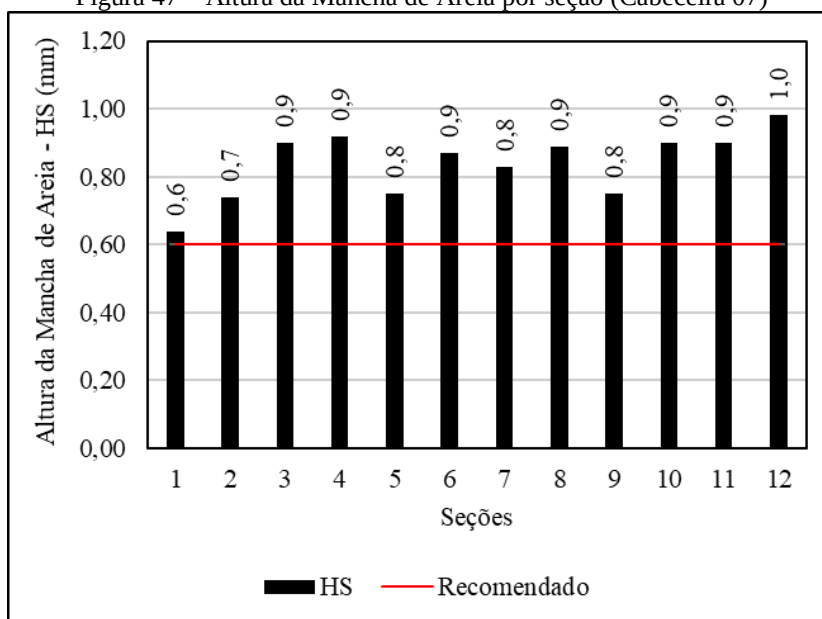
Tipos de Defeitos	Reparações
Fissuras	- Remoção do selante mais antigo (se presente) - Limpeza e preparação das fissuras - Selagem/resselagem - O aquecimento das juntas pode ser uma solução para fendas longitudinais
Trincas couro de jacaré	- Remoção e substituição do pavimento danificado, incluindo as camadas de base e sub-base se necessário - Reforço ou recapeamento da camada superficial

Fonte: DNIT (2006); Domingos (2017)

4.2 MANCHA DE AREIA

A primeira cabeceira analisada foi a 07 e os resultados obtidos estão expressos conforme a Figura 47. Todas as seções avaliadas possuem a macrotextura superior ao recomendado pela ANAC (2020b), bem como, a altura média da mancha de areia do trecho, que foi de 0,8 mm. Portanto, na Cabeceira 07 a textura superficial do pavimento é classificada como média, por estar no intervalo de 0,4 e 0,8 mm como determinado por meio da Tabela 28.

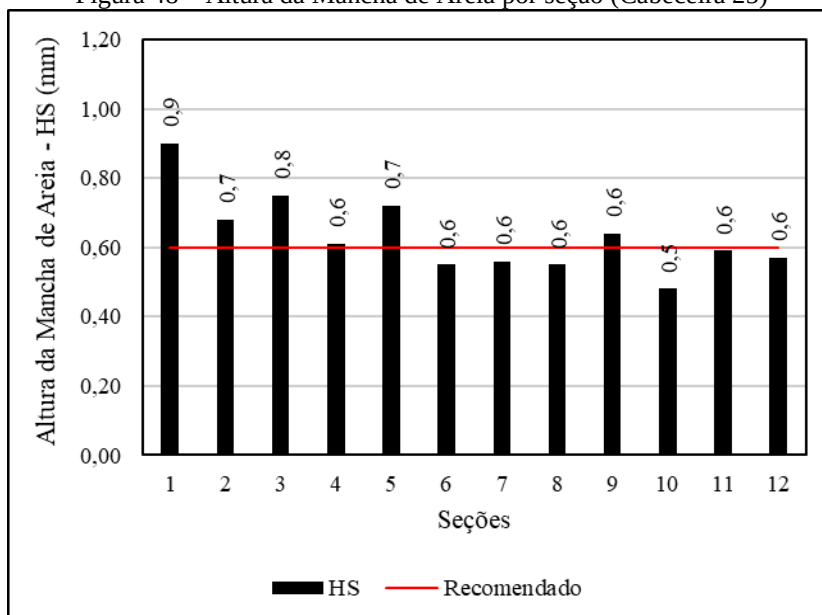
Figura 47 – Altura da Mancha de Areia por seção (Cabeceira 07)



Fonte: Autora (2022)

Os resultados do ensaio da altura média da mancha de areia para a Cabeceira 25 são apresentados na Figura 48. Diferentemente da Cabeceira 07, nem todas as seções atendem ao mínimo recomendado (0,6 mm), contudo a Cabeceira 25 é configurada com textura média, uma vez que o trecho possui média de 0,6 mm pois está no intervalo de classificação entre 0,4 e 0,8 mm, assim como observado na Cabeceira 07.

Figura 48 – Altura da Mancha de Areia por seção (Cabeceira 25)

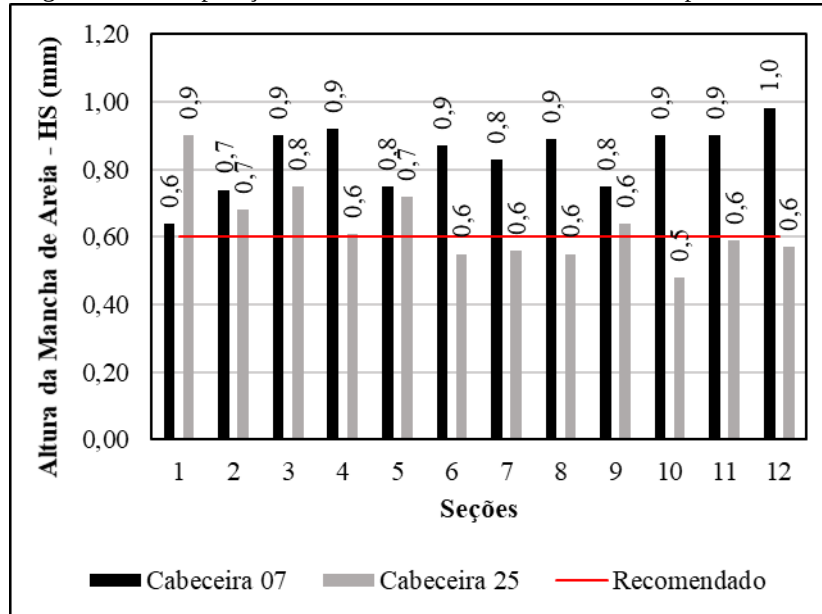


Fonte: Autora (2022)

A Figura 49 apresenta uma comparação entre os dados obtidos tanto para a Cabeceira 07, quanto para a Cabeceira 25. Analisando os resultados da altura da mancha de areia, percebe-se que a Cabeceira 25 apresenta valores de textura inferiores aos da Cabeceira 07. Além disso,

há um decréscimo nos valores a partir da seção 6, a aproximadamente 250 m a 300 m do início da Cabeceira 25. Segundo Rodrigues Filho (2006) todos os auxílios ao pouso conduzem a aeronave tocar as pistas em seu eixo e numa região situada a uma distância de 300 m da cabeceira de pouso, denominada zona de toque; exatamente onde as variações começam a ser verificadas.

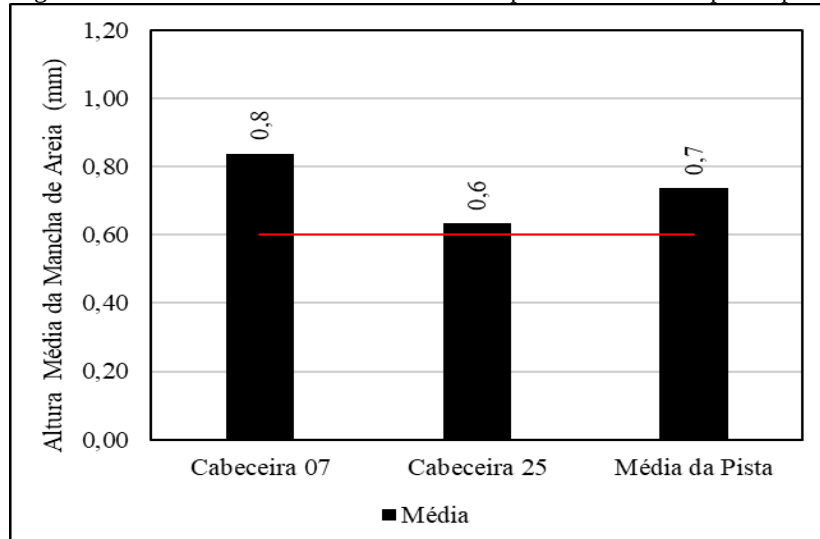
Figura 49 – Comparação da altura média da Mancha de Areia por cabeceira



Fonte: Autora (2022)

Verificando a altura da mancha de areia nas duas cabeceiras, tem-se uma média de 0,8 mm para a Cabeceira 07; 0,6 mm para a Cabeceira 25 e 0,7 mm para a pista. A pista de pouso e decolagem do Aeroporto Municipal de Barra do Garças – MT (SBBW), atende ao mínimo determinado pela ANAC (2020b), além de estar no intervalo de 0,6 mm a 1,2 mm recomendado pelo DNIT (2006) e por Bernucci *et al.* (2008).

Figura 50 – Altura média da Mancha de Areia para cada trecho e para a pista



Fonte: Autora (2022)

A Figura 51 e Figura 52 representam exemplos de manchas de areia obtidas na Cabeceira 07 e 25 respectivamente. A pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Barra do Garças apresenta em toda sua extensão revestimento com agregados de pequenas dimensões, o que contribui para que a areia utilizada no ensaio se espalhe bem resultando manchas com diâmetros maiores. As manchas com menores diâmetros observadas na Cabeceira 25 podem ser atribuídas às maiores solicitações, pois, as solicitações oriundas das operações de pouso e decolagem desgastam a superfície, contribuindo para que a superfície apresente maior rugosidade devido a perda do mástique, assim, a areia preenche com mais facilidade os vazios da textura superficial e diâmetros inferiores podem ser observados.

Figura 51 – Mancha de Areia (Cabeceira 07)



Fonte: Autora (2022)

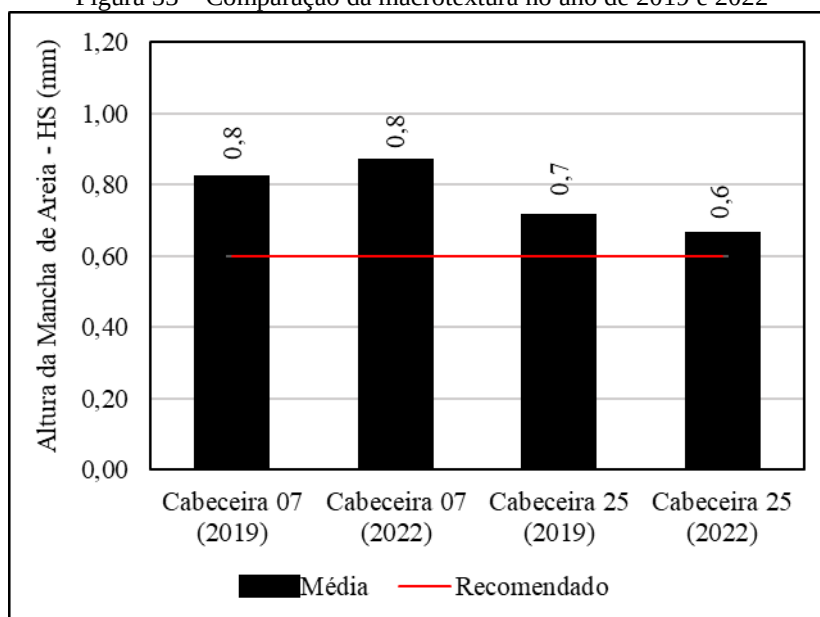
Figura 52 – Mancha de Areia (Cabeceira 25)



Fonte: Autora (2022)

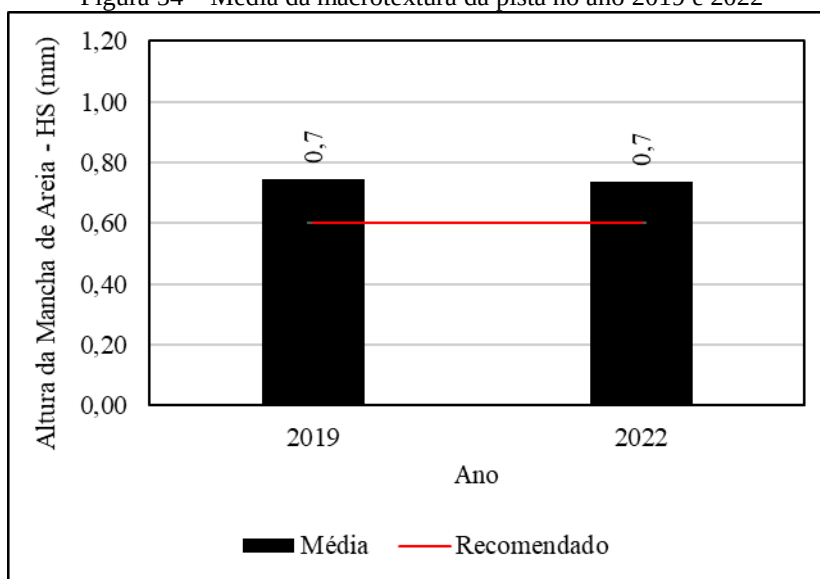
A Figura 53 apresenta uma análise comparativa dos resultados obtidos, com os dados tidos por Silva (2019), com o mesmo número seções de e com a mesma metodologia do presente trabalho. Nota-se que a macrotextura de ambas as cabeceiras é estatisticamente igual, uma vez que, a Cabeceira 07 apresenta coeficiente de variação de 0,34%, e a Cabeceira 25 de 2,61% em relação ao ensaio realizado em 2019. Como pode ser observado na Figura 54 a média da pista não sofreu alteração, as duas verificações obtiveram média de 0,7 mm, atendendo ao mínimo recomendado pela ANAC (2020b) e caracterizando uma macrotextura média.

Figura 53 – Comparação da macrotextura no ano de 2019 e 2022



Fonte: Autora (2022)

Figura 54 – Média da macrotextura da pista no ano 2019 e 2022



Fonte: Autora (2022)

Conforme informações obtidas na Prefeitura Municipal de Barra do Garças (2022), nenhuma atividade de manutenção foi realizada entre 2019 e 2022 na pista de pouso e decolagem; e por meio do ensaio realizado tem-se que a textura do pavimento não sofreu alteração em sua classificação, evidenciando que as solicitações na pista avaliada não foram capazes de alterar a macrotextura de forma significativa

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento visual dos defeitos analisou a condição da camada de rolamento, e diante dos resultados obtidos nota-se que o pavimento possui excelentes condições e necessita apenas de manutenção de rotina, em virtude do PCI obtido. Deste modo, sugere-se que seja realizada a selagem das trincas longitudinais e transversais, buscando reduzir a deterioração do pavimento. No entanto, de acordo com o DNIT (2006), a selagem de trincas é ineficiente para as trincas couro de jacaré, com isso, é recomendada a aplicação de capa selante ou lama asfáltica, já que as trincas observadas constituem baixa severidade.

Após a realização do ensaio de mancha de areia na pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Barra do Garças, observou-se que o pavimento possui adequada textura superficial, uma vez que, a macrotextura média obtida através do ensaio é superior ao mínimo especificado pela ANAC (2021) (HS acima de 0,6 mm). Entretanto, como observado nas análises, é válido destacar que a Cabeceira 25 possui maior desgaste se comparado a Cabeceira 07, por isso é relevante que a condição da textura superficial do pavimento aeroportuário continue sendo monitorada periodicamente.

A partir dos resultados obtidos com o método do PCI e com o ensaio de mancha de areia, verifica-se que a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Municipal de Barra do Garças possui um pavimento em bom estado e condições de textura que atendem aos critérios mínimos segurança dos usuários, relacionados à macrotextura, cumprindo as imposições dadas pelas normas nacionais.

Vale salientar que, caso o método do PCI seja utilizado para definição de atividades de intervenção, um levantamento mais detalhado pode ser aplicado, visando analisar mais seções e conseqüentemente, avaliar com precisão os defeitos existentes, sobretudo aqueles que afetam o desempenho funcional do pavimento mas interferem no cálculo do índice, configurando maior confiabilidade nos procedimentos a serem executados.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Excursão de pista**. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/certificacao/runway-safety/excursao-de-pista>>. Acesso em: 05 dez. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Instrução Suplementar nº 153.203-001. **Avaliação da condição funcional do pavimento**. Revisão A. Brasília, 2020a.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Instrução Suplementar nº 153.205-001. **Monitoramento da irregularidade longitudinal, atrito e macrotextura do pavimento da pista pouso e decolagem**. Revisão B. Brasília, 2020b.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Manual de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários – SGPA**. 1. ed. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. RA 236-12. **Requisitos de aderência para pistas de pouso e decolagem**. Brasília, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 153. **Aeródromos – Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**. Emenda nº 06. Brasília, 2021.

AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM – ACRP. **Synteses 22: Common Airport Pavement Maintenance Practices**. Washington DC, 2011.

ALVES, E. D. L., PRADO, M. F., SPECIAN, V. **Análise da Variabilidade Climática da Precipitação pluvial em Barra do Garças, Mato Grosso**. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Uberlândia, v. 2, n. 2, p. 512-523, jul./dec. 2011.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS – ASTM. **E965-96: Standard Test Method for Measuring Surface Macro Texture Depth using a Volumetric Technique**. West Conshohocken, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D5340-98: Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys**. West Conshohocken, 1998.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D5340-12: Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys**. West Conshohocken, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys**. Disponível em: <<https://www.astm.org/d5340-20.html>>. Acesso em: 17 nov. 2022a.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum**. Disponível em: <<https://www.astm.org/e0303-22.html>>. Acesso em: 17 nov. 2022b.

ANDRADE, L. **Landing on Slippery Runways**. Boeing Airliner, 2001.

APS, M. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – *International Friction Index* para revestimentos asfálticos**. 2006, 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento de Concreto: Texturização PR – 3**. São Paulo, 2005.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. Oficina de Textos. São Paulo, 2007.

BRASIL. **Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) – Institucional**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>>. Acesso em: 24 out. 2022a.

BRASIL. **Código Brasileiro de Aeronáutica. Lei nº 7.565**. 19 de dezembro de 1986. Brasília, 1986. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7565compilado.htm>. Acesso em: 31 out. 2022b.

BERNUCCI, L. L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros**. Petrobrás: ABEDA. Rio de Janeiro, 2008.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES – CENIPA. **Painel Sipaer**. Disponível em: <https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SIGAER%2Fgia%2Fqv%2Fpainel_sipaer.qvw&host=QVS%40cirros31-37&anonymous=true>. Acesso em: 31 out. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT. **Painel CNT do Transporte – Aéreo**. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-aereo>>. Acesso em: 24 ago. 2022a.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT. **Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Disponível em: <<https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>>. Acesso em: 05 ago. 2022b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. – 3. ed. – Rio de Janeiro, 2006.

DYNATEST. **Pavimento para cargas pesadas**. Acesso em: <<https://dynatest.com/pavement-evaluation-solutions-for-airports/>>. Acesso em: 22 set. 2022.

DOMINGOS, A. S. M. **Determinação e interpretação do índice PCI de pavimentos aeroportuários**. 2017, 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção) – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade Da Beira Interior. Covilhã.

FERNANDES, C. I. C. S. H. **Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários – Caracterização e Aplicabilidade**. 2010, 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

GOOGLE EARTH. Programa Computacional. Acesso em: < <https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 27 out. 2022.

GOMES, A. F. S. S. **Tecnologia aplicada à avaliação das estruturas dos pavimentos aeroportuários**. 2008. Monografia (Especialização em Gestão da Aviação Civil) – Centro de Formação de Recursos Humanos em Transporte, Universidade de Brasília. Brasília.

GONÇALVES, F. J. P. **Diagnóstico e manutenção de pavimentos: Ferramentas auxiliares**. Ed. Universidade. Passo Fundo, 2008.

HENRY, J. J. **Evaluation of pavement friction characteristics, a synthesis of highway practice. Annual Meeting of the Transportation Research Board of the National Academies**. Washington, DC. 2000.

ICAO. **Manual de servicios de aeropuertos. Parte 2. Estado de la superficie de los pavimentos**. Cuarta edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru, 2002.

LIMA, D. S. G. M. **Sistema de gestão de pavimentos aeroportuários para Cabo Verde**. 2016, 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Geotecnia e Ambiente) – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade Da Beira Interior. Covilhã.

MATTOS, J. R. G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS**. 2009, 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MEDINA, J., MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos**. – 3. ed –. Rio de Janeiro: Inter-ciência, 2015.

MERIGHI, L. F. **Avaliação funcional de pavimentos asfálticos aeroportuários com a finalidade de estabelecer metas para a sua manutenção**. 2017, 289 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.

MOVENTOR. **Skiddometer BV11**. Disponível em: <<https://moventor.com/skiddometer-bv11-2/>>. Acesso em: 16 set 2022.

OLIVEIRA, F. H. L. **Disposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: Estudo de caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza**. 2009, 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

OLIVEIRA, M. F. **Análise de durabilidade e textura superficial em restauração de camada de rolamento de pavimentos asfálticos**. 2021, 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.

PAIXÃO, M. P., CORDEIRO, C. C. C., CORREIA, M. C. N. **Pavimentos semirrígidos: Prevenção e tratamento da reflexão de trincas**. 2017, 22 f. Artigo de Pesquisa, Universidade de Salvador. Salvador.

PINTO, S., PINTO, I. E. **Pavimentação Asfáltica: Conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos.** – 1. ed. reimpr. – Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PINTO, S., PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis.** – 2. ed. – Rio de Janeiro: Syneia: IBP, 2010.

RAMOS, B. A. S., LIMA, D. C., PITANGA, H. N., SILVA, T. O. **Aplicação de métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da FAA ao Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek.** *Transportes.* [S.L.], v. 25, n. 4, 30 dez. 2017.

RAMOS, F. R. **Aplicação de SMA (*Stone Matrix Asphalt*) em pavimentos aeroportuários – Estudo de caso: Aeroporto de Aracaju – SE.** 2015, 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica/Pavimentos) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

RIBEIRO, L. M. B. **Estudo da drenabilidade de pavimentos aeroportuários através de equipamento do tipo *outflow meter*.** 2012, 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

RODRIGUES FILHO, O. S. **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários – Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas.** 2006, 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

SANTOS, E. L. **Análises históricas de medição de atrito nas pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ.** 2004, 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas De Pavimentação.** Volume 1 – 2. ed. ampl. – São Paulo: Pini, 2007.

SHAHIN, M. Y. **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. second.** New York: Chapman & Hall, 2005.

SILVA, J. P. S. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários.** 2008, 134 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologias e manutenção de pavimentos.** São Paulo: Pini, 2005.

SILVA, T. F. **Avaliação da relação entre macrotextura e drenabilidade em duas pistas de pouso na região do Vale do Araguaia.** 2019, 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Mato Grosso. Barra do Garças.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

TROMBETTA, J. **Avaliação, diagnóstico e manutenção de pavimentos flexíveis.** Notas de Aula, 2010.

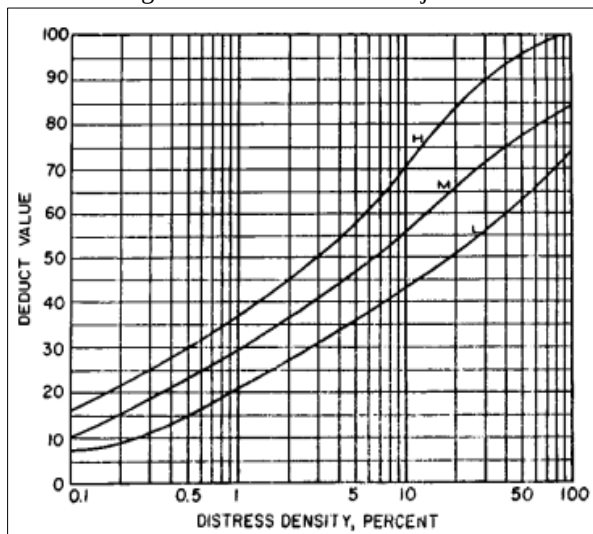
VEDANA, C. **Avaliação da macrotextura e drenabilidade em pistas de aeroportos de Mato Grosso.** 2014. 31 f. Projeto de Pesquisa (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Mato Grosso. Sinop.

VIEIRA, R. A. C. **Dimensionamentos de pavimentos aeroportuários: A consideração de novas orientações.** 2015, 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico de Lisboa, Universidade de Lisboa. Lisboa.

VIEIRA, T.; REDONDO, D. C.; KUCHIIHI, A. K.; CALLAI, S. C.; BERNUCCI, L. L. B. **Avaliação da macrotextura média de superfícies de pavimentos: Comparação entre as técnicas com drenômetro e com mancha de areia.** 2013, 12 f. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

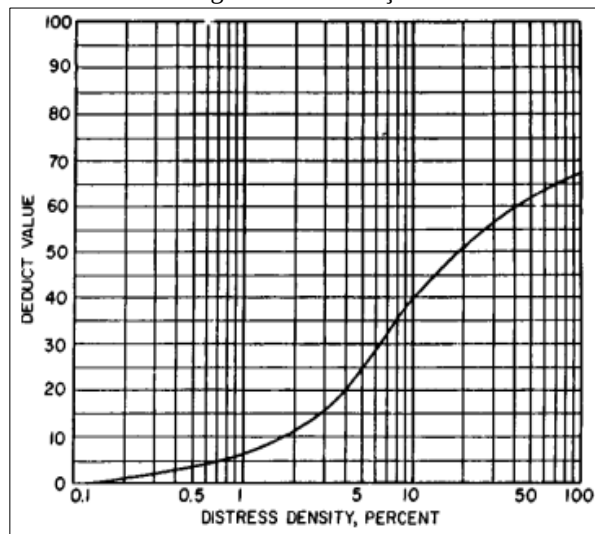
7 ANEXO A – CURVAS PARA VALORES DE DEDUÇÃO

Figura 1 – Trincas couro de jacaré



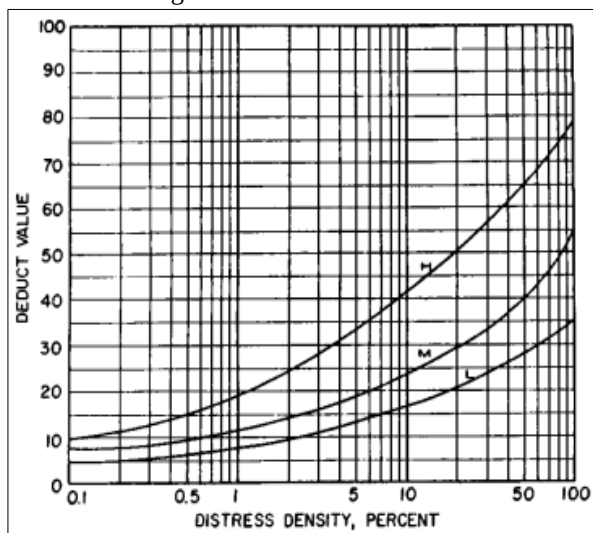
Fonte: ASTM (1998)

Figura 2 – Exsudação



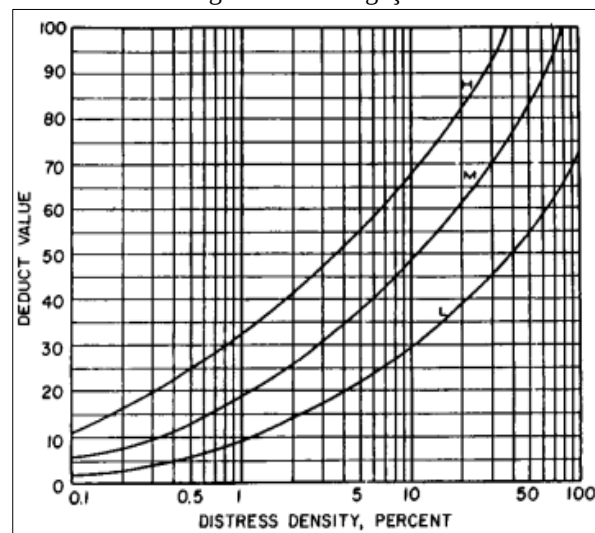
Fonte: ASTM (1998)

Figura 3 – Trincas em Bloco



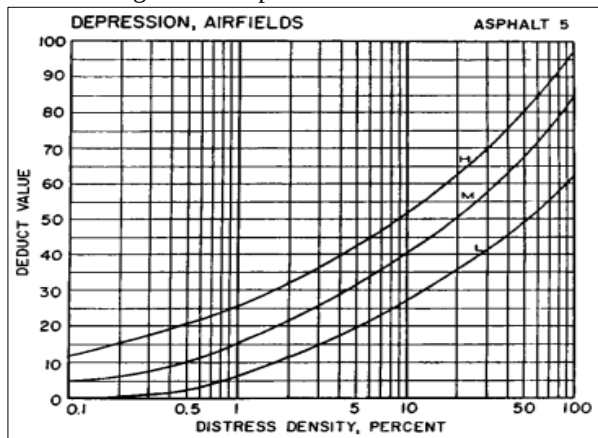
Fonte: ASTM (1998)

Figura 4 – Corrugação



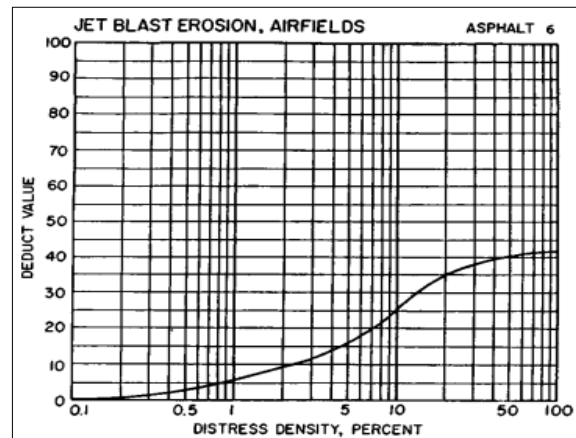
Fonte: ASTM (1998)

Figura 5 – Depressão/Afundamento



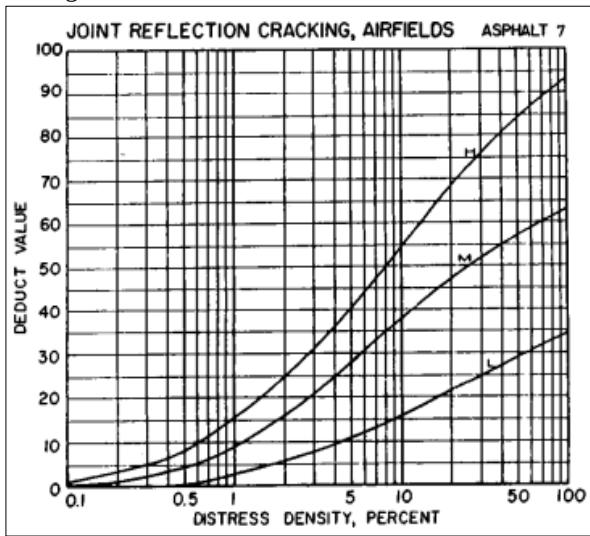
Fonte: ASTM (1998)

Figura 6 – Erosão por rápida propulsão do jato de aeronave



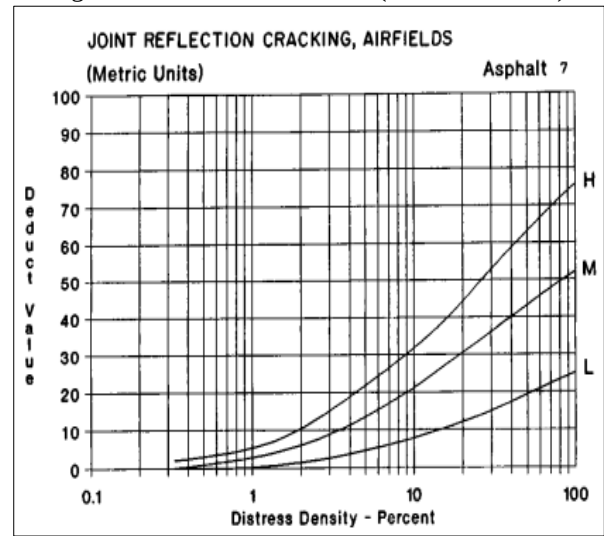
Fonte: ASTM (1998)

Figura 7 – Trincas de reflexão, base de concreto



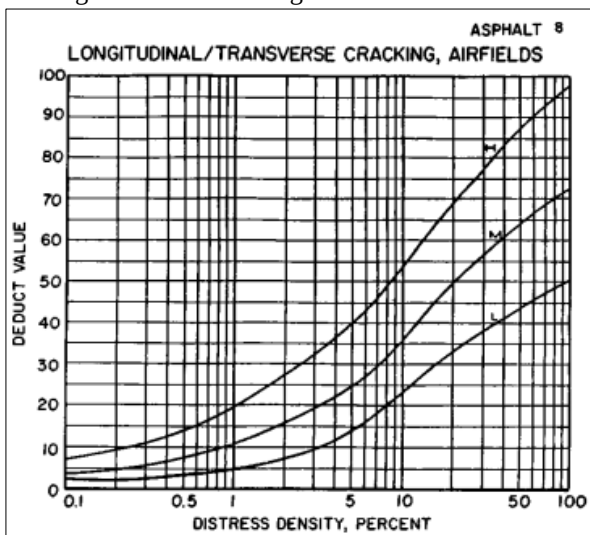
Fonte: ASTM (1998)

Figura 8 – Trincas de reflexão (unidade métrica)



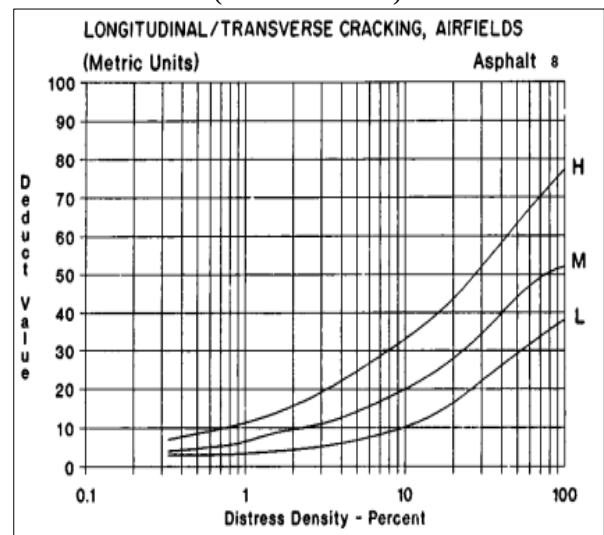
Fonte: ASTM (1998)

Figura 9 – Trincas longitudinais e transversais



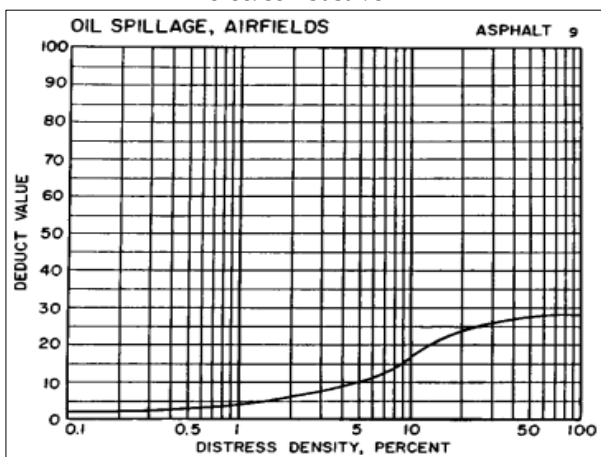
Fonte: ASTM (1998)

Figura 10 – Trincas longitudinais e transversais (unidade métrica)



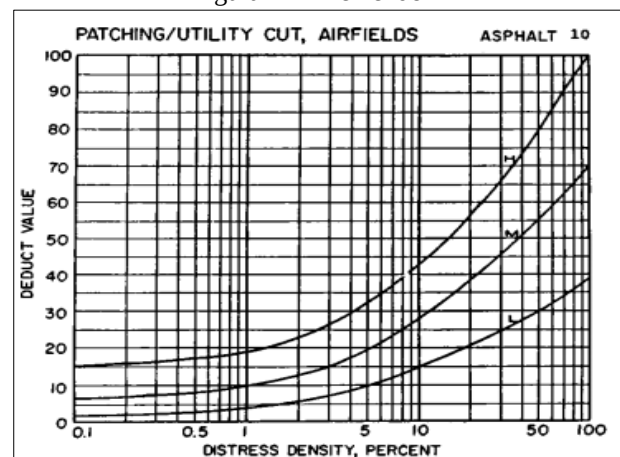
Fonte: ASTM (1998)

Figura 11 – Deterioração por presença de óleo/combustível



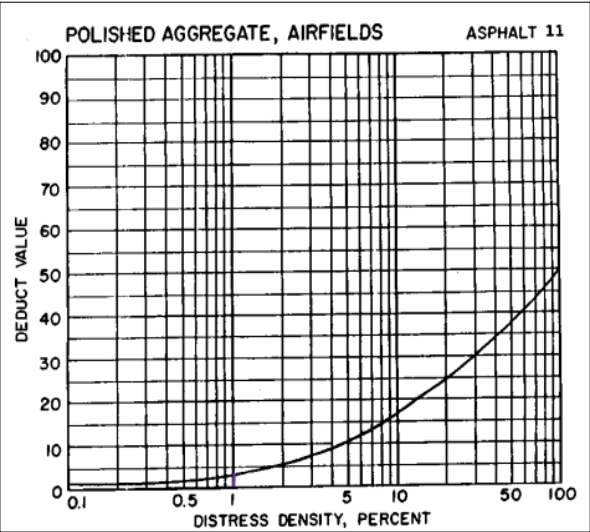
Fonte: ASTM (1998)

Figura 12 – Remendo



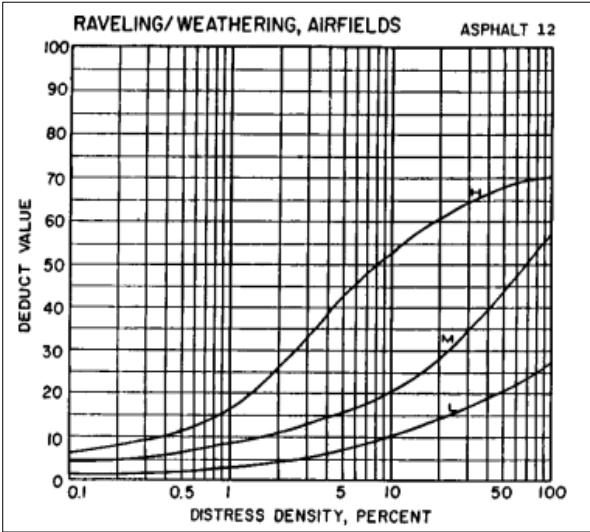
Fonte: ASTM (1998)

Figura 13 – Agregado polido



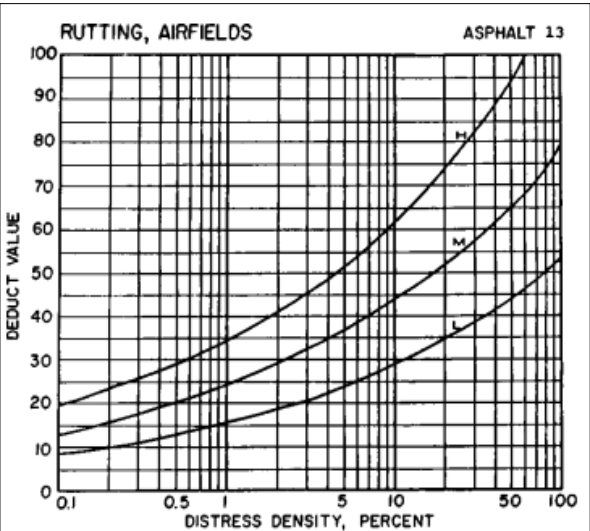
Fonte: ASTM (1998)

Figura 14 – Desagregação/Desprendimento



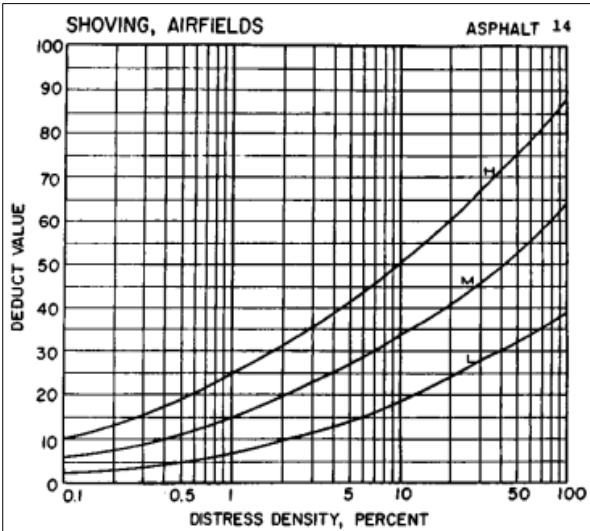
Fonte: ASTM (1998)

Figura 15 – Afundamento da trilha de roda



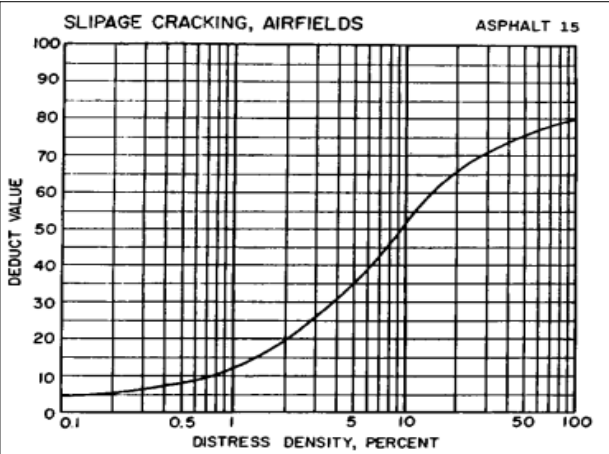
Fonte: ASTM (1998)

Figura 16 – Solevamento



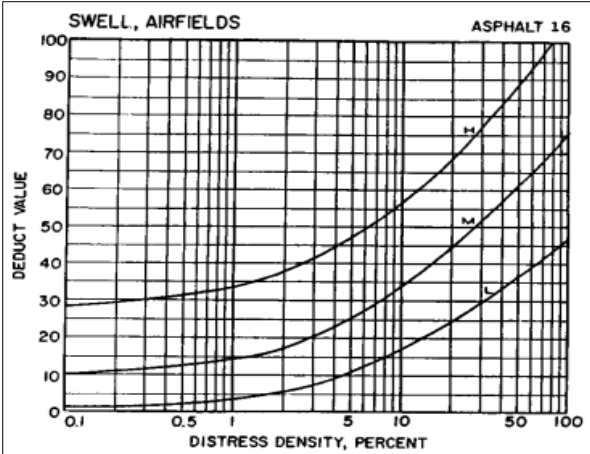
Fonte: ASTM (1998)

Figura 17 – Escorregamento



Fonte: ASTM (1998)

Figura 18 – Inchamento



Fonte: ASTM (1998)

8 APÊNDICE A – LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

Fotografia 1 – Trinca couro de jacaré (Cabeceira 07 – Amostra 1)



Fotografia 2 – Trinca longitudinal (Cabeceira 07 – Amostra 1)



Fotografia 3 – Agregado polido (Cabeceira 07 – Amostra 1)



Fotografia 4 – Trinca couro de jacaré (Cabeceira 07 – Amostra 2)



Fotografia 5 – Trinca longitudinal (Cabeceira 07 –
Amostra 2)



Fotografia 6 – Trinca couro de jacaré (Cabeceira 07 –
Amostra 3)



Fotografia 7 – Trinca longitudinal (Cabeceira 07 –
Amostra 3)



Fotografia 8 – Trinca couro de jacaré (Cabeceira 25 –
Amostra 1)



Fotografia 9 – Trinca longitudinal e transversal (Cabeceira 25 – Amostra 1)



Fotografia 11 – Trinca longitudinal (Cabeceira 25 – Amostra 2)



Fotografia 10 – Trinca couro de jacaré (Cabeceira 25 – Amostra 2)



Fotografia 12 – Trinca longitudinal (Cabeceira 25 – Amostra 3)



Fotografia 13 – Trinca tipo couro de jacaré (Cabeceira 25 – Amostra 3)



Fotografia 12 – Desprendimento (Cabeceira 25 – Amostra 3)



Aeroporto Municipal de Barra do Garças - MT												
Tipos de Defeitos					Níveis de Severidade			Dados				
1 - Trinca tipo “Couro de Jacaré” (m²) 2 - Exsudação (m²) 3 - Trinca em Bloco (m²) 4 - Corrugação (m²) 5 - Depressão/Afundamento (m²) 6 - Erosão por rápida propulsão do jato de aeronaves (m²) 7 - Trincas de Reflexão da Base de Concreto (m) 8 - Trincas Transversais e Longitudinais (m) 9 - Deterioração por presença de óleo/combustível (m²)		10 - Remendo (m²) 11 - Agregado Polido (m²) 12 - Desagregação 13 - Afundamento da trilha de roda (m²) 14 - Solevamento (m²) 15 - Fendas em Meia Lua (m²) 16 - Inchamento (m²) 17 - Desprendimento (m²)		10 - Remendo (m²)	11 - Agregado Polido (m²)	12 - Desagregação	13 - Afundamento da trilha de roda (m²)	14 - Solevamento (m²)	15 - Fendas em Meia Lua (m²)	16 - Inchamento (m²)	17 - Desprendimento (m²)	
				Baixo (B)			Médio (M)			Alto (A)		
				Condição do Pavimento			Cabeceira: 07					
				85 à 100			Excelente					
				70 à 84		Bom						
				55 à 69		Regular		Área de cada unidade amostral (m²): 3000 m²				
				40 à 54		Ruim						
				25 à 39		Muito Ruim						
				10 à 24		Péssimo		Área total da amostra (m²): 9000 m²				
				0 à 9		Ruptura						
Cabeceira 07 - Unidade Amostral 1												
Tipo de Defeito	Severidade	Área ocupada	Densidade	Valor de Dedução (VD)	Valor Total de Dedução (VTD)	Quantidade dos Tipos de Defeito (q)	Valor de Dedução Corrigido (VDC)	PCI	Situação	Recomendação		
1	B	20	1%	20	20	2	10	90	Excelente	Manutenção de rotina		
8	B	50	2%	4								
11	B	3,2	0%	2								
Cabeceira 07 - Unidade Amostral 2												
Tipo de Defeito	Severidade	Área ocupada	Densidade	Valor de Dedução (VD)	Valor Total de Dedução (VTD)	Quantidade dos Tipos de Defeito (q)	Valor de Dedução Corrigido (VDC)	PCI	Situação	Recomendação		
1	B	12,3	0%	7	13	2	6	94	Excelente	Manutenção de rotina		
8	B	95	3%	6								
Cabeceira 07 - Unidade Amostral 3												
Tipo de Defeito	Severidade	Área ocupada	Densidade	Valor de Dedução (VD)	Valor Total de Dedução (VTD)	Quantidade dos Tipos de Defeito (q)	Valor de Dedução Corrigido (VDC)	PCI	Situação	Recomendação		
1	B	25,17	1%	20	26	2	15	85	Excelente	Manutenção de rotina		
8	B	93,2	3%	6								
11	B	3,12	0%	2								

Tabela 2B – Formulário de Avaliação para a Cabeceira 25

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO - PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)										
Aeroporto Municipal de Barra do Garças - MT										
Tipos de Defeitos					Níveis de Severidade			Dados		
1 - Trinca tipo “Couro de Jacaré” (m²) 2 - Exsudação (m²) 3 - Trinca em Bloco (m²) 4 - Corrugação (m²) 5 - Depressão/Afundamento (m²) 6 - Erosão por rápida propulsão do jato de aeronaves (m²) 7 - Trincas de Reflexão da Base de Concreto (m) 8 - Trincas Transversais e Longitudinais (m) 9 - Deterioração por presença de óleo/combustível (m²) 10 - Remendo (m²) 11 - Agregado Polido (m²) 12 - Desagregação 13 - Afundamento da trilha de roda (m²) 14 - Solevamento (m²) 15 - Fendas em Meia Lua (m²) 16 - Inchamento (m²) 17 - Desprendimento (m²)					Baixo (B)	Médio (M)	Alto (A)	Cabeceira: 25		
					Condição do Pavimento					
					85 à 100	Excelente		Área de cada unidade amostral (m²): 3000 m²		
					70 à 84	Bom				
					55 à 69	Regular				
40 à 54	Ruim		Área total da amostra (m²): 9000 m²							
25 à 39	Muito Ruim									
10 à 24	Péssimo									
0 à 9	Ruptura									
Cabeceira 25 - Unidade Amostral 1										
Tipo de Defeito	Severidade	Área ocupada	Densidade	Valor de Dedução (VD)	Valor Total de Dedução (VTD)	Quantidade dos Tipos de Defeito (q)	Valor de Dedução Corrigido (VDC)	PCI	Situação	Recomendação
1	B	25,2	1%	20	24	2	14	86	Excelente	Manutenção de rotina
8	B	64,4	2%	4						
Cabeceira 25 - Unidade Amostral 2										
Tipo de Defeito	Severidade	Área ocupada	Densidade	Valor de Dedução (VD)	Valor Total de Dedução (VTD)	Quantidade dos Tipos de Defeito (q)	Valor de Dedução Corrigido (VDC)	PCI	Situação	Recomendação
1	B	10,3	0%	7	15	2	7	93	Excelente	Manutenção de rotina
8	B	144,34	5%	8						
Cabeceira 25 - Unidade Amostral 3										
Tipo de Defeito	Severidade	Área ocupada	Densidade	Valor de Dedução (VD)	Valor Total de Dedução (VTD)	Quantidade dos Tipos de Defeito (q)	Valor de Dedução Corrigido (VDC)	PCI	Situação	Recomendação
1	B	44,3	1%	20	26	2	15	85	Excelente	Manutenção de rotina
8	B	85,47	3%	6						
17	B	7,4	0%	2						

10 APÊNDICE C – PLANILHAS DE LEVANTAMENTO DOS VALORES DE HS

Tabela 1C – Valores da macrotextura para a Cabeceira 07

Seção	Pontos	Diâmetro (mm)				D Médio (mm)	HS (mm)	Média da Seção (mm)
		D1	D2	D3	D4			
1	1ª Mancha	215	235	230	230	227,50	0,62	0,64
	2ª Mancha	225	220	210	210	216,25	0,68	
	3ª Mancha	230	220	230	220	225,00	0,63	
2	1ª Mancha	195	200	200	200	198,75	0,81	0,74
	2ª Mancha	200	220	210	210	210,00	0,72	
	3ª Mancha	220	220	210	200	212,50	0,70	
3	1ª Mancha	180	190	190	190	187,50	0,91	0,90
	2ª Mancha	190	190	190	190	190,00	0,88	
	3ª Mancha	180	190	180	200	187,50	0,91	
4	1ª Mancha	200	180	190	180	187,50	0,91	0,92
	2ª Mancha	195	190	185	190	190,00	0,88	
	3ª Mancha	180	180	180	180	180,00	0,98	
5	1ª Mancha	200	200	200	210	202,50	0,78	0,75
	2ª Mancha	200	210	200	200	202,50	0,78	
	3ª Mancha	210	210	220	210	212,50	0,70	
6	1ª Mancha	200	210	200	195	201,25	0,79	0,87
	2ª Mancha	180	190	190	180	185,00	0,93	
	3ª Mancha	190	190	180	190	187,50	0,91	
7	1ª Mancha	190	200	180	200	192,50	0,86	0,83
	2ª Mancha	190	200	190	200	195,00	0,84	
	3ª Mancha	200	200	200	200	200,00	0,80	
8	1ª Mancha	180	185	190	180	183,75	0,94	0,89
	2ª Mancha	190	180	190	190	187,50	0,91	
	3ª Mancha	200	200	200	190	197,50	0,82	
9	1ª Mancha	210	210	210	210	210,00	0,72	0,75
	2ª Mancha	195	210	200	200	201,25	0,79	
	3ª Mancha	210	210	200	210	207,50	0,74	
10	1ª Mancha	195	190	195	190	192,50	0,86	0,90
	2ª Mancha	180	190	180	190	185,00	0,93	
	3ª Mancha	180	190	190	190	187,50	0,91	
11	1ª Mancha	195	195	190	190	192,50	0,86	0,90
	2ª Mancha	175	170	190	170	176,25	1,02	
	3ª Mancha	195	195	200	200	197,50	0,82	
12	1ª Mancha	200	170	180	170	180,00	0,98	0,98
	2ª Mancha	170	190	175	180	178,75	1,00	
	3ª Mancha	170	190	170	195	181,25	0,97	

Tabela 2C – Valores da macrotextura para a Cabeceira 25

Seção	Pontos	Diâmetro (mm)				D Médio (mm)	HS (mm)	Média da Seção (mm)
		D1	D2	D3	D4			
1	1ª Mancha	190	190	190	185	188,75	0,89	0,90
	2ª Mancha	180	200	200	180	190,00	0,88	
	3ª Mancha	180	190	190	180	185,00	0,93	
2	1ª Mancha	230	230	210	220	222,50	0,64	0,68
	2ª Mancha	225	205	220	225	218,75	0,67	
	3ª Mancha	210	210	200	210	207,50	0,74	
3	1ª Mancha	215	190	200	205	202,50	0,78	0,75
	2ª Mancha	205	210	205	200	205,00	0,76	
	3ª Mancha	205	205	215	215	210,00	0,72	
4	1ª Mancha	245	230	230	235	235,00	0,58	0,61
	2ª Mancha	215	230	220	220	221,25	0,65	
	3ª Mancha	230	240	220	240	232,50	0,59	
5	1ª Mancha	200	200	200	210	202,50	0,78	0,72
	2ª Mancha	210	200	220	200	207,50	0,74	
	3ª Mancha	235	220	220	220	223,75	0,64	
6	1ª Mancha	270	230	260	250	252,50	0,50	0,55
	2ª Mancha	220	240	230	220	227,50	0,62	
	3ª Mancha	240	240	240	260	245,00	0,53	
7	1ª Mancha	230	240	250	240	240,00	0,55	0,56
	2ª Mancha	230	220	220	230	225,00	0,63	
	3ª Mancha	240	240	260	260	250,00	0,51	
8	1ª Mancha	260	220	240	240	240,00	0,55	0,55
	2ª Mancha	240	240	260	230	242,50	0,54	
	3ª Mancha	230	250	230	250	240,00	0,55	
9	1ª Mancha	230	240	240	230	235,00	0,58	0,64
	2ª Mancha	235	210	220	210	218,75	0,67	
	3ª Mancha	225	210	225	215	218,75	0,67	
10	1ª Mancha	260	270	270	260	265,00	0,45	0,48
	2ª Mancha	250	260	260	270	260,00	0,47	
	3ª Mancha	260	240	260	240	250,00	0,51	
11	1ª Mancha	250	230	230	240	237,50	0,56	0,59
	2ª Mancha	240	260	240	240	245,00	0,53	
	3ª Mancha	220	230	200	210	215,00	0,69	
12	1ª Mancha	260	240	260	245	251,25	0,50	0,57
	2ª Mancha	220	235	220	210	221,25	0,65	
	3ª Mancha	235	240	230	250	238,75	0,56	