



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Determinação e Interpretação do Índice PCI de Pavimentos Aeroportuários

Adriana Sofia Madeira Domingos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil: Estruturas e Construção
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof.^a Doutora Bertha Batista dos Santos
Co-orientador: Prof. Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida

Covilhã, outubro de 2017

Dedicatória

À minha família.

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio e a ajuda prestada, de forma direta e/ou indireta, de várias pessoas e entidades, às quais quero expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar agradeço aos meus orientadores, Professora Doutora Bertha Maria Batista dos Santos e ao Professor Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida, pela orientação, auxílio, dedicação e disponibilidade que sempre tiveram ao longo de todo o trabalho. Obrigada pelos incentivos, que pareciam vir sempre na hora certa, e pelos conhecimentos transmitidos.

Um obrigado à Débora Lima pela disponibilidade, atenção e simpatia nas respostas a todas as minhas questões e dúvidas.

Agradeço à empresa ASA, Aeroportos Segurança Aérea S.A. e ao DECA - UBI pela disponibilização dos dados que permitiram a realização desta dissertação.

À minha família A.J.P., “os amigos são a família que se escolhe”, um grande obrigado, pela força, apoio e amizade.

À Ana Martins, por acreditar sempre no meu sucesso, por todos os incentivos e pela amizade a outro nível. Obrigada!

À minha parceira, do início até ao fim, Ana Rita Lyrio, por todos estes anos, com dissertações, cadeiras, exames, testes, trabalhos... e pausas para chocolate lá no meio... um obrigado lá do lado esquerdo do peito!

Ao Rúben, companheiro de luta, mas de luta mesmo... obrigada por todas as discussões sobre tudo, mas tudo mesmo!! Por todo o mês de agosto e já agora pelos outros meses todos ao longo destes anos. Obrigada!

Ao meu melhor amigo e namorado, Pedro Esteves, pela compreensão mesmo quando só percebias cerca 5% do que eu estava a falar (o 100% vais perceber quando a tua dissertação estiver feita), pela tua paciência quando a minha era escassa, pelo teu carinho e força ao longo de tudo. O meu obrigada!

E finalmente, aos meus pais, Carlos Domingos e Fernanda Madeira, pela educação, compreensão e confiança que depositaram em mim, e que com certeza me ajudou neste percurso e me irá ajudar ao longo da minha vida. Obrigada, o vosso esforço valeu a pena!

Resumo

O presente estudo tem como objetivo contribuir para a implantação de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários a ser aplicado na rede de aeroportos de Cabo Verde.

Para atingir este objetivo, é apresentada uma descrição da metodologia ASTM D 5340-12 para determinação do índice PCI (*Pavement Condition Index*) que traduz a qualidade dos pavimentos e orientações para a interpretação dos resultados de PCI, com vista a apoiar a tomada de decisões quanto ao tipo de intervenção de manutenção ou de reabilitação (M&R) a adotar no pavimento e verificação de níveis de serviço e de desencadeamento.

Os resultados da pesquisa efetuada foram aplicados na avaliação do estado de conservação do pavimento da pista 03-21 do Aeroporto Internacional Aristides Pereira, na Ilha da Boavista em Cabo Verde. Os dados adquiridos na auscultação do pavimento, realizada por veículo com recurso a protótipo equipado com dispositivos de varrimento laser e de captação de imagem e de georreferenciação, foram utilizados para determinar o índice PCI do pavimento. Com base em uma proposta de critérios definidos em função do índice PCI para a escolha do tipo de intervenção e verificação do nível de serviço desejável e mínimo, para a rede de aeroportos de Cabo Verde, foi possível identificar as zonas críticas do pavimento e as necessidades de M&R.

Os resultados mostram que o pavimento da pista, nas zonas de circulação das aeronaves, apresenta um estado de degradação avançado. As degradações mais significativas identificadas foram as fendas longitudinais e transversais, a desagregação superficial do mástico, a desagregação superficial dos agregados, o empolamento, as rodeiras e as depressões. Quanto ao tipo de intervenção a aplicar, os valores obtidos apontam para ações de carácter corretivo (reabilitação) para as zonas menos degradadas da pista, e a reconstrução das zonas central da pista, cabeceira 03 e de acesso às placas de estacionamento (locais mais solicitadas pelas ações do tráfego).

Palavras-chave

Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), Avaliação da qualidade de pavimentos aeroportuários, PCI (Pavement Condition Index), Tipos de intervenção, Níveis de serviço, Tratamentos de manutenção e reabilitação.

Abstract

The present study aims to contribute to the implementation of an airport pavement management system to be applied on the Cape Verde airport network.

For this purpose, a description of the ASTM D 5340-12 methodology for obtaining Airport Pavement Condition Index (PCI) and directions for PCI results interpretation considering types of maintenance, levels of service and trigger levels to support the decision making related to pavement Maintenance and Rehabilitation (M&R) needs is presented.

The research outcome was applied in the evaluation of pavement condition on runway 03-21 at Aristides Pereira International Airport, Boavista Island, Cape Verde. Pavement condition data acquired with a vehicle equipped with georeferenced laser line scanning devices and surface imaging was used to determine the Pavement Condition Index (PCI) of the runway. Based in a proposal of PCI limits for type of intervention and desirable and minimum level of service for the Cape Verde airport network, interpretation of PCI results was performed to identify critical zones in the pavement and the M&R needs.

Results show a considerable degradation state of the pavement on the aircraft circulation zones of the runway. The most significant pavement distresses identified were longitudinal and transverse cracking, weathering, raveling, swelling, rutting and depressions. As for the maintenance type to adopt, the runway PCI point to actions of a corrective nature, i. e., the rehabilitation of the pavement, however, the PCI values obtained by section point to the need for pavement reconstruction in the central area, head 03 and in the access to aprons (places that endure the more severe traffic actions).

Keywords

Airport Pavement Management Systems (APMS), Quality Assessment of Airport Pavements, PCI (Pavement Condition Index), Types of Intervention, Service Levels, Maintenance and Rehabilitation Treatments.

Índice

Resumo	vii
Palavras-chave.....	vii
Abstract.....	ix
Keywords	ix
Índice	xi
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Expressões	xvii
Lista de Acrónimos.....	xix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e justificação do tema.....	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Estrutura do documento.....	2
2. AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS.....	3
2.1. Enquadramento.....	3
2.2. Pavimentos Aeroportuários	3
2.3. Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários	7
2.4. Degradações superficiais dos pavimentos aeroportuários flexíveis	9
2.5. Determinação do Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos flexíveis	21
3. TIPOS DE INTERVENÇÃO E NÍVEIS DE SERVIÇO EM FUNÇÃO DA AVALIAÇÃO DO ESTADO DO PAVIMENTO.....	29
3.1. Enquadramento.....	29
3.2. Tratamentos de conservação para pavimentos flexíveis	30
3.3. Tipos de intervenção	33
3.4. Níveis de serviço e níveis de desencadeamento	36
4. CASO DE ESTUDO - Aeroporto Internacional Aristides Pereira, Boavista - Cabo Verde ...	41
4.1. Introdução.....	41
4.2. Localização e caracterização do Aeroporto Internacional Aristides Pereira.....	41
4.3. Segmentação da Pista	44

4.4.	Levantamento e tratamento de dados.....	46
4.4.1.	Levantamento do estado do pavimento	47
4.4.2.	Tratamento dos dados.....	49
4.5.	Resultados e Discussão	53
4.5.1.	Pavement Condition Index - PCI	53
4.5.2.	Degradações superficiais do pavimento	60
4.5.3.	Tipo de Intervenção e Níveis de Serviço.....	68
5.	CONCLUSÕES.....	73
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
7.	ANEXOS	79

Lista de Figuras

Figura 2.1 - (a) Estrutura típica de um pavimento flexível; (b) Distribuição da carga do tráfego em pavimentos flexíveis (adaptado de AC 150/5380-6B, 2007)	5
Figura 2.2 - (a) Estrutura típica de pavimento rígido; (b) Distribuição da carga do tráfego num pavimento rígido (adaptado de AC 150/5380-6C, 2014)	6
Figura 2.3 - Fluxograma de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (Lima, 2016)	8
Figura 2.4 - Escala de classificação do estado do pavimento em função do PCI (adaptado ASTM D 5340-12)	27
Figura 3.1 - Degradação do estado de um pavimento aeroportuário ao longo do seu ciclo de vida (adaptado de AC 150/5380-7B, 2014)	33
Figura 3.2 - Curva da degradação do estado de um pavimento aeroportuário ao longo do seu ciclo de vida e tipos de intervenção no pavimento em função do PCI (adaptado de AC 150/5380-7B, 2014)	35
Figura 3.3 - Tipos de intervenção no pavimento em função do PCI - MDOT (adaptado de MDOT, 2008)	35
Figura 3.4 - Exemplos de níveis de serviço e níveis de desencadeamento (adaptado de <i>Transportation Research Board</i> , 2011).....	40
Figura 4.1 - Localização Geográfica da Republica de Cabo Verde.....	42
Figura 4.2 - Localização do Aeroporto Internacional Aristides Pereira na Ilha da Boavista, Cabo Verde.....	42
Figura 4.3 - Planta “Lado Ar” do AIAP	44
Figura 4.4 - Segmentação da pista 03-21 do Aeroporto Internacional Aristides Pereira (Boavista - Cabo Verde).....	45
Figura 4.5 - Numeração das unidades de amostra, exemplo da Secção A	47
Figura 4.6 - Equipamentos utilizados no levantamento e a sua disposição no veículo usado na inspeção dos pavimentos	49
Figura 4.7 - Exemplo folha de cálculo de registo de informação para determinação do PCI.	52
Figura 4.8 - Exemplo do cálculo do PCI da unidade de amostra 4 na secção A (BVCR03SA004).....	53
Figura 4.9 - Valores de PCI para as unidades de amostra seleccionadas na secção A (Cabeceira 03)	54
Figura 4.10 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra seleccionadas na secção A.....	54
Figura 4.11 - Valores de PCI para as unidades de amostra seleccionadas na secção B (Lateral Esquerda).....	55

Figura 4.12 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção B.....	55
Figura 4.13 - Valores de PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção C (Central).....	56
Figura 4.14 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção C.....	56
Figura 4.15 - Valores de PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção D (Lateral Direita)	57
Figura 4.16 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção D.....	57
Figura 4.17 - Valores de PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção E (Cabeceira 21)	58
Figura 4.18 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção E	58
Figura 4.19 - Representação da pista do AIAP e respetivos valores de PCI para cada secção.....	59
Figura 4.20 - Densidade das fendas longitudinais e transversais, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.....	62
Figura 4.21 - Densidade da desagregação superficial do mastic, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada	63
Figura 4.22 - Densidade da desagregação superficial dos agregados, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada	64
Figura 4.23 - Densidade do empolamento, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.....	65
Figura 4.24 - Densidade das rodeiras, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.....	66
Figura 4.25 - Densidades das depressões, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.....	67
Figura 4.26 - Tipos de intervenção no pavimento e níveis de serviço em função do valor de PCI para a pista AIAP.....	69

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Pele de Crocodilo	10
Tabela 2.2 - Exsudação	10
Tabela 2.3 - Fendas Cruzadas.....	11
Tabela 2.4 - Ondulação	12
Tabela 2.5 - Depressões.....	13
Tabela 2.6 - Erosão "Jet-Blast".....	13
Tabela 2.7 - Fendas de Reflexão das Juntas de Lajes de Betão.....	14
Tabela 2.8 - Fendas Longitudinais e Transversais.....	15
Tabela 2.9 - Derrame de óleo, combustível ou outros solventes.....	16
Tabela 2.10 - Reparações e Cortes Técnicos.....	16
Tabela 2.11 - Polimento de Agregados	17
Tabela 2.12 - Desagregação Superficial dos Agregados.....	17
Tabela 2.13 - Rodeiras	18
Tabela 2.14 - Escorregamento lateral devido às lajes de betão.....	19
Tabela 2.15 - Fendas em "Meia-Lua".....	19
Tabela 2.16 - Empolamento	20
Tabela 2.17 - Desagregação Superficial do Mastique em misturas betuminosas densas.....	21
Tabela 3.1 - Causas possíveis e tipos de tratamentos para as degradações mais comuns em pavimentos flexíveis (adaptado de AC 150/5380-6C)	31
Tabela 3.2 - Tipos de tratamento de manutenção e reabilitação de pavimentos flexíveis usados em vários aeroportos norte-americanos (adaptado de <i>Transportation Research Board</i> , 2011)	32
Tabela 3.3 - Tipos de intervenção no pavimento em função do PCI (adaptado de <i>Transportation Research Board</i> , 2011)	36
Tabela 3.4 - Tipos de nível de serviço para pavimentos aeroportuários.....	37
Tabela 3.5 - Exemplos de valores de PCI adotados em aeroportos norte-americanos para a definição de níveis de serviço de pavimentos flexíveis.....	39
Tabela 4.1 - Numeração das unidades de amostra analisadas e respectivas áreas.....	46

Tabela 4.2- Número de unidades de amostra por secção, amostragem e espaçamento entre U.A	46
Tabela 4.3 - Resultados do valor de PCI por secção e total para a pista do AIAP.....	59
Tabela 4.4 - Níveis de Serviço adotados para o AIAP.....	68
Tabela 4.5 - Tipos de intervenção de M&R consoante o valor de PCI para cada secção e total da pista do AIAP.....	69
Tabela 4.6 - Atividades de manutenção para as degradações mais significativas identificadas no AIAP	70

Lista de Expressões

Expressão 2.1 - Expressão para determinação do número mínimo de unidades de amostra a observar.....	22
Expressão 2.2 - Expressão para a determinação do desvio padrão real do PCI.....	23
Expressão 2.3 - Expressão para a determinação do espaçamento entre as unidades de amostra a inspecionar.....	23
Expressão 2.4 - Expressão para a determinação da densidade percentual.....	24
Expressão 2.5 - Expressão para a determinação do número de valores deduzidos.....	25
Expressão 2.6 - Expressão para a determinação do PCI.....	25
Expressão 2.7 - Expressão para a determinação do PCI de uma secção (unidades de amostra selecionadas)	26
Expressão 2.8 - Expressão para a determinação da média ponderada do PCI das unidades de amostras adicionadas.....	26
Expressão 2.9 - Expressão para a determinação do PCI de uma secção (unidades de amostra adicionadas)	27

Lista de Acrónimos

A	Nível de gravidade Alto
AC	<i>Advisory Circular</i>
AC	<i>Asphalt Concrete</i>
ACN	Aircraft Classification Number
AIAP	Aeroporto Internacional Aristide Pereira
ANAC	Autoridade Nacional de Aviação Civil
ASA	Aerportos Segurança Aérea S.A.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
B	Nível de gravidade Baixo
BVC	Código IATA do Aeroporto Internacional Aristides Pereira
CDV	<i>Corrected Deduct Value</i>
D	Densidade
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura
DV	<i>Deduct Values</i>
EUA	Estados Unidos da América
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FDOT	<i>Florida Department of Transportation</i>
FOD	<i>Foreign Object Damage</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GVBA	Código ICAO do Aeroporto Internacional Aristides Pereira
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
M	Nível de gravidade Médio
M&R	Manutenção e Reabilitação
MDOT	<i>Michigan Department of Transportation</i>
NDB	<i>Non-Directional Beacon</i>
NG	Nível de Gravidade
PAPI	<i>Precision Approach Path Indicator</i>
PCC	<i>Portland Cement Concrete</i>
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
PCN	<i>Pavement Classification Number</i>
PPP	<i>Precise Point Positioning</i>
SGPA	Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
UA	Unidade de Amostra
UBI	Universidade da Beira Interior

UFC *Unified Facilities Criteria*
US *United States*

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e justificação do tema

Tendo em conta que os pavimentos aeroportuários logo a partir da sua construção se encontram constantemente sujeitos a ações que contribuem para a diminuição da sua qualidade, e que os mesmos assumem um papel de extrema importância para que o funcionamento de um complexo aeroportuário ocorra de forma segura e eficiente, o acompanhamento adequado do seu estado e a programação da sua conservação constituem dois dos principais objetivos das entidades responsáveis pela sua gestão.

Atualmente, as entidades gestoras aeroportuárias recorrem à implementação de Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) de forma a assegurar que o estado dos pavimentos é o mais adequado. Um SGPA é uma ferramenta que, com base na avaliação do estado do pavimento, fornece um procedimento que permite estabelecer prioridades, direcionar recursos e prever orçamentos de manutenção e reabilitação de uma rede de pavimentos.

Saber quando o pavimento irá atingir estados de degradação elevados e prevenir que isto ocorra é um dos objetivos principais de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários, este sistema pode ainda fornecer informações e recomendações específicas necessárias para manter uma rede de pavimentos num determinado nível de serviço, minimizando os custos de manutenção e de reabilitação casos este sejam necessários.

Atendendo à necessidade de implementação efetiva e adaptada destes sistemas às condições particulares de determinada realidade aeroportuária, o trabalho apresentado visa contribuir para a definição da componente de análise de estratégias de conservação de um SGPA para o conjunto de aeroportos da República de Cabo Verde este tema está diretamente relacionado com a realidade de Cabo Verde, visto que é um país composto por 10 ilhas e que depende das suas infraestruturas aeroportuárias não só por questões de acessibilidade entre ilhas e com o resto do mundo, como também para potenciar o turismo, que é uma das principais atividades impulsionadoras da económica do país.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem assim como objetivo, tendo por base uma a avaliação do estado dos pavimentos efetuada através da determinação do *Pavement Condition Index* (PCI), definir critérios que permitam apoiar a tomada de decisão sobre o melhor tipo de intervenção de manutenção/reabilitação e tratamentos associados, assim como os níveis de serviço desejáveis e críticos a considerar no processo de gestão da conservação de pavimentos aeroportuários.

Para exemplificar o processo de definição destes critérios para uma determinada realidade aeroportuária, pretende-se identificar as zonas críticas e apresentar propostas de intervenção de manutenção e/ou reabilitação para o pavimento da pista do Aeroporto Internacional Aristide Pereira (AIAP), na ilha da Boavista - Cabo Verde.

1.3. Estrutura do documento

O documento encontra-se dividido em cinco capítulos, o primeiro capítulo consiste numa introdução e justificação do tema escolhido e na apresentação dos objetivos propostos para esta dissertação e da estruturação do seu documento.

No segundo capítulo é abordada a temática da avaliação do estado dos pavimentos aeroportuários, o que inclui a exposição de conceitos relacionados com os tipos de pavimentos, e sistemas de gestão de pavimentos aeroportuários, assim como os tipos de degradações superficiais e o cálculo do PCI para pavimentos flexíveis.

O terceiro capítulo apresenta os tipos de intervenções no pavimento e o nível de serviço aplicados em aeroportos, quando são aplicados e o tipo de tratamentos e ações que cada intervenção implica.

No capítulo quatro apresenta-se o caso de estudo, que incide sobre a avaliação do pavimento e a definição de critérios que suportem a escolha de propostas de intervenção para o pavimento da pista 03-21 do Aeroporto Internacional Aristides Pereira. Este capítulo incorpora a caracterização do caso de estudo, a descrição dos procedimentos adotados para o levantamento e tratamento dos dados usados na determinação do estado de conservação dos pavimentos da pista do aeroporto, a definição de critérios de intervenção e níveis de serviço em função do PCI e uma análise dos resultados obtidos.

Finalmente, no quinto capítulo são expostas as principais conclusões obtidas com o trabalho desenvolvido, algumas dificuldades sentidas na realização deste trabalho e aspetos a melhorar no futuro.

2. AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

2.1. Enquadramento

Um Aeródromo define-se como uma área que inclui edifícios, instalações e equipamentos destinados, num todo ou em parte, à realização de aterragens, descolagens ou manobras de superfície de aeronaves. No caso de o Aeródromo dispor, de forma permanente, de instalações, equipamentos e serviços adequados ao tráfego aéreo internacional é então designado de Aeroporto (ANAC, 2015).

Os pavimentos do complexo aeroportuário constituem uma das partes mais importantes do Aeroporto, e por isso são projetados, construídos e mantidos para suportar as cargas críticas que lhes são impostas, assim como para resistir às condições climáticas adversas, a ações de sopro/sucção dos reatores e hélices, bem como a ações químicas provocadas pelo derrame de combustíveis, óleos e outros compostos poluentes. Os pavimentos do aeroporto devem manter uma superfície firme, estável, suave e antiderrapante, perante qualquer tipo de clima e ao longo do seu ciclo de vida, devem manter-se livres de detritos ou outras partículas que possam ser projetadas ou extraídas que possam pôr em causa a segurança de circulação das aeronaves (AC 150/5380-6C, 2014).

2.2. Pavimentos Aeroportuários

Em geral, os pavimentos aeroportuários dividem-se em duas classes, os pavimentos rígidos e os flexíveis. A diferença entre eles consiste no modo como distribuem as cargas atuantes, o que resulta do tipo de materiais usados na sua construção.

Os pavimentos flexíveis resistem às cargas a que estão sujeitos, essencialmente através da fricção interna dos materiais, que depende da granulometria dos agregados, da forma das partículas, da densidade das misturas betuminosas e da quantidade e tipo de betume utilizado. Este tipo de pavimento é constituído por várias camadas de materiais cuidadosamente selecionados, e que são dimensionadas para distribuir gradualmente as cargas desde da superfície do pavimento até à fundação. O dimensionamento tem como objetivo garantir que a carga transmitida para cada camada não exceda a sua capacidade de carga (AC 150/5380-6B, 2007).

Este tipo de pavimentos é geralmente utilizado nas pistas e caminhos de circulação devido às suas boas características de aderência, regularidade e conforto de circulação (Fernades, 2010).

A estrutura de um pavimento flexível é constituída pelas camadas de desgaste, de base e de sub-base, sendo estas compostas por materiais betuminosos ou granulares.

A camada superficial encontra-se diretamente em contacto com as ações exteriores, e por essa razão está sujeita às maiores solicitações. Também fica exposta às agressões dos agentes atmosféricos, devendo por isso possuir características específicas que lhe confirmam boas características mecânicas (resistência e deformabilidade). Esta camada é construída por uma mistura de agregados selecionados unidos por um ligante betuminoso. A superfície da camada de desgaste deve prevenir a penetração da água superficial na camada de base e proporcionar uma circulação suave, livre de partículas desagregadas, de forma a não colocar em risco a segurança dos utilizadores e das aeronaves. Deve ainda apresentar, uma boa resistência à derrapagem sem que isso comprometa a integridade dos pneus das aeronaves (AC 150/5380-6B, 2007).

A camada de base é a camada estruturalmente mais importante, responsável pela capacidade de suporte do pavimento, degrada e transmite as solicitações provenientes das cargas do tráfego à camada de sub-base e à fundação. A qualidade da camada de base depende da sua composição, propriedades físicas e compactação dos materiais. Esta camada deve apresentar qualidade e espessura suficientes para evitar falhas na sub-base e no leito de pavimento (caso este exista), tem a necessidade de suportar as tensões produzidas na própria base, resistir a pressões verticais que tendem a produzir consolidação e resultar na distorção da camada de superfície e deve ainda resistir às mudanças de volume causadas por flutuações no seu teor de humidade. Os materiais que compõem a camada de base são agregados selecionados, rígidos e duráveis, que geralmente se dividem em duas classes principais: estabilizadas e granulares. As bases estabilizadas normalmente consistem em agregados esmagados ou não esmagados ligados com um estabilizador, como o cimento Portland ou o betume. No caso de a base ser tratada com um ligante hidráulico, as camadas superficiais serem betuminosas e as restantes granulares, o pavimento passa a denominar-se por semi-rígido. (AC 150/5380-6B, 2007) (AC 150/5380-6C, 2014)

A camada de sub-base tem função semelhante à camada de base, fazendo a transição das cargas da estrutura do pavimento para o terreno de fundação, no entanto, como está sujeita a cargas menos intensas, pode ser constituída por materiais de qualidade inferior aos usados na camada de base. Desempenha essencialmente funções de drenagem embora também possua características resistentes. A sub-base é constituída por material granular estabilizado ou adequadamente compactado, com boas características drenantes (AC 150/5380-6C, 2014).

A fundação é composta pelo terreno natural e está sujeita a cargas bastantes menores do que a superfície, a base ou a sub-base do pavimento. A maior parte das tensões é dissipada ao longo das camadas betuminosas e granulares, no entanto, quando esta camada não apresenta

capacidade de suporte suficiente para receber estas cargas, é usual considerar-se a colocação de uma camada de solo com melhores propriedades, designada de leito de pavimento.

Este tipo de pavimento apresenta um modelo de degradação de cargas em profundidade como o representado na Figura 2.1.

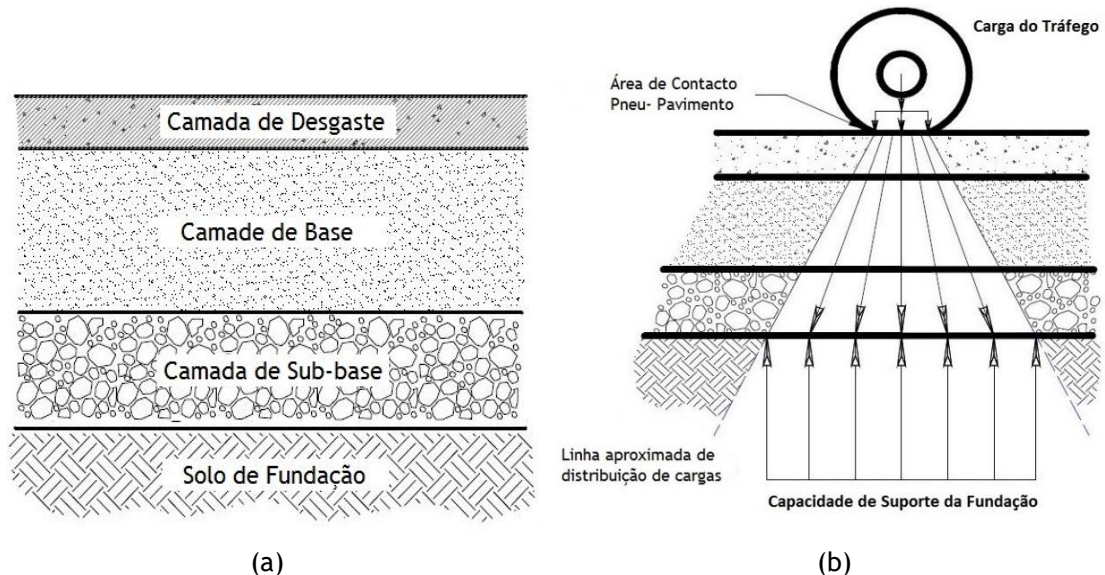


Figura 2.1 - (a) Estrutura típica de um pavimento flexível; (b) Distribuição da carga do tráfego em pavimentos flexíveis (adaptado de AC 150/5380-6B, 2007)

Em relação aos pavimentos rígidos, estes suportam as cargas através da sua considerável resistência à flexão, distribuindo as cargas aplicadas por uma área extensa. Estes são constituídos por uma laje de betão de cimento Portland (Portland Cement Concrete - PCC) como elemento estrutural principal. A laje de betão geralmente é colocada sob uma camada de base e sub-base granular compactada ou tratada, suportada pelo solo de fundação (AC 150/5380-6C, 2014).

Os pavimentos rígidos são utilizados nas placas de estacionamento das aeronaves devido à sua resistência ao derrame de combustíveis, óleos e lubrificantes (Fernades, 2010).

Como referido anteriormente, a laje de betão é o elemento essencial destes pavimentos, podendo ser ou não armada. Tem como função fornecer um suporte estrutural para as cargas transmitidas pelas aeronaves, proporcionar uma superfície antiderrapante, evitar a infiltração de excesso de água superficial na camada de sub-base e também garantir a distribuição das cargas aplicadas por uma grande área de solo. Devido à limitação dos processos de construção e aos efeitos de expansão/retração do betão, as lajes são separadas por juntas, devidamente seladas por materiais elásticos, em função das dimensões das lajes, dos materiais utilizados e das condições ambientais.

A camada de base fornece um suporte uniforme e estável para a laje do pavimento. A base tem como funções controlar a ação destrutiva do gelo, garantir uma drenagem subterrânea, controlar a dilatação dos solos de fundação, fornecer uma plataforma de construção estável e evitar a subida de materiais finos à superfície. Os pavimentos rígidos geralmente requerem uma espessura mínima de base de 100 mm. Todo o pavimento projetado para suportar aeronaves de grande porte (45000 kg) deve ter uma base estabilizada. (AC 150/5380-6C, 2014).

A camada de sub-base é usada em áreas onde a ação de gelo é severa ou o solo de fundação é fraco. A sub-base funciona de forma semelhante à camada de base, sendo que os requisitos de material para a sub-base não são tão rigorosos como os da base visto que a camada de sub-base é submetida a cargas inferiores. A sub-base é constituída por material granular estabilizado ou adequadamente compactado (AC 150/5380-6C, 2014).

O solo de fundação é a camada de solo que forma a fundação da secção do pavimento. As camadas superiores devem ter a capacidade de dissipar cargas impostas pelo tráfego para valores baixos o suficiente, que não provoquem deformações e deslocamentos excessivos da camada do solo de fundação.

Este tipo de pavimento apresenta um modelo de degradação de cargas em profundidade como o apresentado na Figura 2.2.

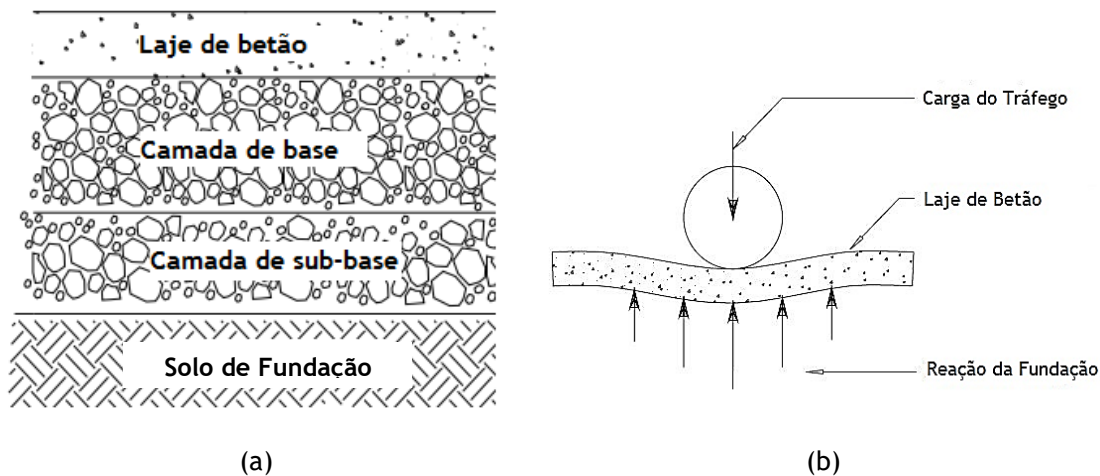


Figura 2.2 - (a) Estrutura típica de pavimento rígido; (b) Distribuição da carga do tráfego num pavimento rígido (adaptado de AC 150/5380-6C, 2014).

2.3. Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários

Para garantir que os pavimentos apresentam uma qualidade adequada ao longo do período de vida para o qual foram projetados, as entidades gestoras implementam Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (SGPA).

Um SGPA pode ser definido como um procedimento sistemático e consistente que permite estabelecer e programar as necessidades de manutenção e de reabilitação dos pavimentos baseados na maximização dos benefícios e na minimização dos custos. Pode também proporcionar informações e recomendações específicas necessárias para manter uma rede de pavimentos em um nível de serviço aceitável, minimizando os custos de manutenção e de reabilitação. Assim sendo, um SGPA não só avalia o estado atual dos pavimentos, mas também prevê sua condição futura através do uso de indicadores de estado do pavimento (AC 150/5380-7B, 2014).

A implementação de SGPA traz diversos benefícios, de entre os quais se destacam (AC 150/5380-7B, 2014):

- Aumento da vida útil do pavimento;
- Avaliação objetiva e consistente do estado de conservação de uma rede de pavimentos;
- Fornece uma base de dados técnica documentável e sistemática que permite determinar as necessidades de manutenção e de reabilitação, incluindo a consideração de futuras operações e/ou projetos de expansão;
- Identifica as necessidades de intervenção e investimento necessário para manter a funcionalidade do pavimento;
- Documenta o estado atual e prevê o estado futuro do pavimento;
- Analisa para as várias alternativas de manutenção e de reabilitação e o custo associado a cada fase ciclo de vida do pavimento;
- Avalia o impacto da não realização das intervenções de manutenção identificadas.

Existem múltiplos exemplos de estruturas de SGPA. O fluxograma da Figura 2.3 apresenta, de uma forma geral, os principais componentes destes sistemas.

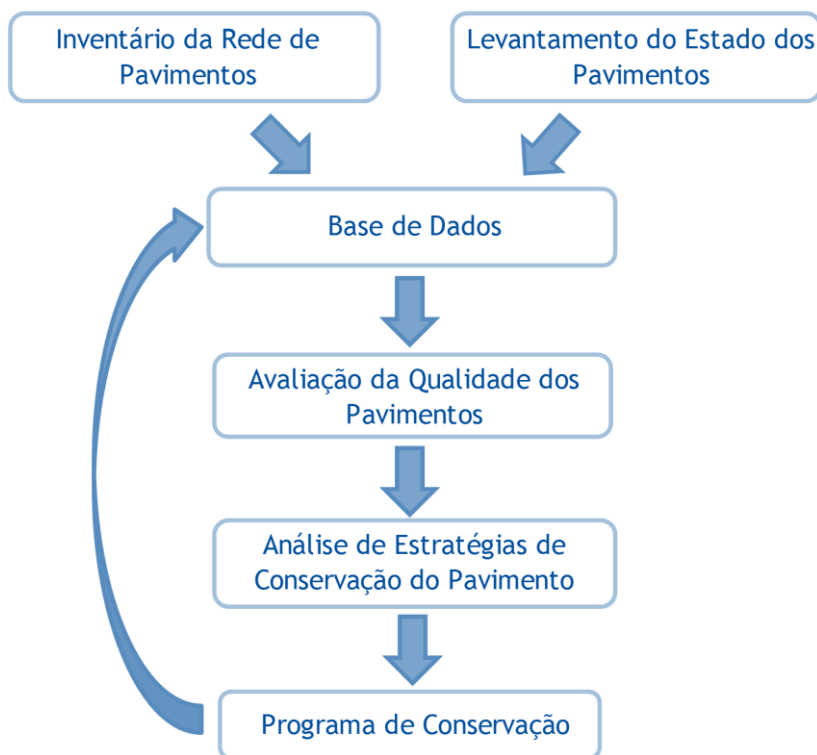


Figura 2.3 - Fluxograma de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (Lima, 2016).

O bom funcionamento de um SGPA depende sobretudo da qualidade dos dados recolhidos e da análise dessa informação, assim sendo, uma componente essencial do sistema é a “Base de Dados”. Nesta é armazenada a informação referente às infraestruturas, ao seu estado de conservação num determinado momento e a nova informação produzida com base nos dados anteriores.

Uma das componentes mais relevantes do sistema é o módulo de “Avaliação da Qualidade dos Pavimentos”, uma vez que suporta a definição das ações de intervenção necessárias com vista a garantir a qualidade funcional e estrutural do pavimento. A análise das condições do pavimento é feita através da recolha informações relativas às suas características superficiais e estruturais, o que permite não só averiguar o estado atual dos pavimentos aeroportuários, como prever o seu estado no futuro. Em geral, a caracterização do estado de conservação dos pavimentos é efetuada através da determinação de um índice, o *Pavement Condition Index* - PCI, que traduz a integridade estrutural e o estado funcional da superfície dos pavimentos e permite suportar decisões de intervenção no pavimento através da sua interpretação (ASTM D5340-12, 2012).

A informação relativa à evolução do estado dos pavimentos da rede vai sendo armazenada na base de dados de modo a apoiar o desenvolvimento de “Estratégias de Conservação” dos pavimentos observados, sendo este um dos objetivos principais do sistema.

Tendo em conta a qualidade dos pavimentos observados e a estratégia de manutenção escolhida, os modelos de previsão do estado do pavimento elaboram cenários evolutivos do estado de conservação da rede, permitindo a simulação de vários planos de reabilitação e manutenção. Estes planos, apoiados por análises económicas, permitem fazer uma avaliação estratégica e de aplicação de recursos que leva finalmente ao “Programa de Conservação” dos pavimentos aeronáuticos (Fernades, 2010).

No ponto seguinte é apresentada uma descrição das características principais das degradações superficiais que podem ocorrer em pavimentos aeroportuários flexíveis.

2.4. Degradações superficiais dos pavimentos aeroportuários flexíveis

Logo após a sua construção, os pavimentos aeroportuários estão sujeitos a diversos tipos de ações que levam a uma deterioração progressiva da qualidade do pavimento que se traduz no aparecimento de degradações. Em geral, o aparecimento destas degradações nos pavimentos está associado a condições climáticas adversas, à fadiga do pavimento e deformações, ao longo do tempo, na estrutura do pavimento ou na sua fundação. Esta degradação gradual poderá ser acelerada devido, entre outras coisas, a técnicas de construção defeituosas, a materiais de qualidade inferior ou a mão-de-obra não especializada. Quando as cargas de tráfego excedem as previsões do dimensionamento do pavimento, podem também contribuir para a redução da vida do pavimento (AC 150/5380-6C, 2014).

As tabelas 2.1 a 2.17 apresentam o conjunto das degradações superficiais mais comuns consideradas na avaliação do estado dos pavimentos aeroportuários flexíveis. Para cada degradação é apresentada uma descrição, uma fotografia exemplificativa, a descrição dos níveis de gravidade considerados e a forma de medição da extensão do pavimento afetado pela degradação. A informação apresentada baseia-se nas descrições constantes da norma ASTM D 5340 - 12 e do Manual “*Asphalt Surfaced Airfields: PAVERTM Distress Identification Manual*” (ASTM D5340-12, 2012)(US Army Corps of Engineers, 2009).

São apenas consideradas as degradações superficiais dos pavimentos flexíveis, uma vez que o estudo se foca neste tipo de pavimentos.

Tabela 2.1 - Pele de Crocodilo


<p>Pele de Crocodilo (Alligator or Fatigue Cracking)</p>		
Descrição	É um conjunto de fendas causadas pela atuação repetitiva de cargas de tráfego. A fissuração tem início na parte inferior da camada de desgaste ou na camada de base, e propaga-se paralelamente até a superfície. Com a repetição ou o aumento das cargas de tráfego as fendas conectam-se, formando um padrão parecido a pele de um crocodilo. Ocorre geralmente em áreas com repetição de cargas do tráfego, como nas pistas.	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	Várias fendas finas e longitudinais, paralelas umas às outras, sem nenhuma ou pouca interligação entre elas.
	Médio (M)	Padrão bem definido com aspeto de "pele de crocodilo", com interligação de fendas, mas sem desagregação de material.
	Alto(H)	Padrão bem definido, com fendas interligadas e com possibilidade de desagregação de material, com elevado potencial <i>Foreign Object Damage</i> (FOD).
Quantificação	Mede-se a área afetada pela degradação em m ² .	
Observações	Caso se verifiquem diferentes níveis de gravidade, estes devem ser registados separadamente. Caso não seja fácil distingui-los, a área total deve ser registada como tendo o nível de gravidade mais condicionante.	

Tabela 2.2 - Exsudação


<p>Exsudação (Bleeding)</p>		
Descrição	Trata-se de uma alteração da composição da camada de desgaste devido à migração para a superfície dum excesso de ligante, tornando-a mais brilhante e pegajosa, alterando a macro textura do pavimento. Pode ocorrer devido a um excesso de ligante ou a um baixo índice de vazios na mistura betuminosa, associado a severas cargas tráfegos e a temperaturas elevadas.	
Níveis de Gravidade	Não são definidos níveis de gravidade para esta degradação.	
Quantificação	Mede-se a área afetada pela degradação (m ²).	
Observações	Regista-se quando se verifica uma diminuição da aderência da camada de desgaste do pavimento.	

Tabela 2.3 - Fendas Cruzadas


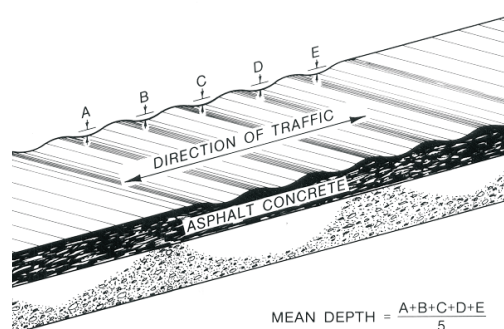
<p>Fendas Cruzadas (Block Cracking)</p>		
Descrição	<p>Fendas interligadas que dividem o pavimento em blocos de forma aproximadamente retangular, e cujo tamanho pode variar entre 0,3 por 0,3 m e 3,0 por 3,0 m. São causadas pela retração do pavimento devido à idade e aos ciclos diários de variação da temperatura. Esta degradação não está associada à aplicação de cargas.</p>	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	<p>Pouca ou nenhuma desagregação. As fendas não preenchidas têm uma largura máxima de 6 mm e as preenchidas têm o preenchimento em bom estado. Sem potencial de FOD.</p>
	Médio (M)	<p>Fendas moderadamente desagregadas com largura superior a 6 mm e com o preenchimento em más condições. Algum potencial de FOD.</p>
	Alto(H)	<p>Blocos bem definidos e as fendas severamente desagregadas. Elevado potencial de FOD.</p>
Quantificação	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>	
Observações	<p>Caso se verifiquem diferentes níveis de gravidade, estes devem ser contabilizados separadamente. As fendas cruzadas devem ser registadas separadamente das fendas longitudinais e transversais.</p>	

Tabela 2.4 - Ondulação

Ondulação
(Corrugation)



Descrição	Esta degradação caracteriza-se por um conjunto elevações e depressões, espaçadas em intervalos regulares com um comprimento máximo de 1,5 m, que ocorrem na direção perpendicular à da circulação do tráfego. As possíveis causas estão relacionadas com as cargas de tráfego associadas a má compactação ou instabilidade das camadas da superfície ou de base.	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	A ondulação é leve, não afetando praticamente a qualidade de circulação do tráfego. [< 6mm*; < 13mm**]
	Médio (M)	Ondulação visível que afeta significativamente a qualidade de circulação do tráfego. [6 a 13mm*; 13 a 25mm**]
	Alto(H)	Ondulação é facilmente visível que influência seriamente a circulação do tráfego. [> 13mm*; > 25mm**]
	* Altura média a considerar nas pistas e corredores rápidos de circulação (runways and high-speed taxiways). ** Altura média a considerar nos corredores de circulação e placas de estacionamento (taxiways and aprons).	
Quantificação	Mede-se a área afetada pela degradação em m ² .	
Observações	O nível de gravidade depende da altura média entre o topo e a base da ondulação. Para determinar a diferença média de elevação coloca-se uma régua perpendicularmente às ondulações, de modo que a profundidade das depressões possa ser medida em milímetros.	

Tabela 2.5 - Depressões


Depressões (Depressions)		
Descrição	São abatimentos em áreas localizadas do pavimento, que podem facilmente ser identificadas após uma chuva intensa, uma vez que se verifica nestes locais a acumulação de água. Ocorrem devido a erros de compactação durante a construção ou a assentamentos do solo de fundação.	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	Depressões apenas visíveis através de manchas de águas existentes no pavimento. Afeta ligeiramente a qualidade de circulação e correspondem a situações de baixo risco de hidroplanagem nas pistas. [3 a 13 mm*; 13 a 25 mm**]
	Médio (M)	Depressões visíveis que afetam a circulação do tráfego. Potencial risco de hidroplanagem nas pistas. [13 a 25 mm*; 25 a 51 mm**]
	Alto(H)	Depressões facilmente visíveis que afetam seriamente a circulação do tráfego. Representa um elevado risco de hidroplanagem nas pistas. [> 25 mm*; > 51 mm**]
	Profundidade a considerar nas *pistas e nos **caminho de circulação e parque de estacionamento.	
Quantificação	Mede-se a área afetada pela degradação em m ² .	
Observações	A profundidade máxima da depressão determina o nível de gravidade. É medida apoiando uma régua sobre o diâmetro do rebaixamento e com recurso a uma régua colocada na vertical para medição da profundidade em milímetros. Depressões com largura superior a 3 m devem ser medidas por estimativa visual ou por medição direta quando se encontram preenchidas por água.	

Tabela 2.6 - Erosão "Jet-Blast"


Erosão por "Jet-Blast" (Jet-Blast Erosion)		
Descrição	Zonas escurecidas na superfície do pavimento devido à carbonização do betume ao ser atingido pelos gases quentes dos jatos dos aviões. A profundidade dessas áreas queimadas pode variar até aproximadamente 13 mm.	
Níveis de Gravidade	Não são definidos níveis de gravidade para esta degradação.	
Quantificação	Mede-se a área afetada pela degradação em m ² .	

Tabela 2.7 - Fendas de Reflexão das Juntas de Lajes de Betão


<p>Fendas de Reflexão das Juntas de Lajes de Betão - Longitudinal e Transversal (<i>Join Reflection Cracking from PCC - Longitudinal and Transverse</i>)</p>		
Descrição	<p>Degradação exclusiva de pavimentos constituídos por uma camada betuminosa aplicada sobre uma laje de betão (pavimento misto). Não inclui as fendas de reflexão devido a camadas de base constituídas por outro material. As fendas devem ser registadas como fissuras longitudinais ou transversais e a sua origem está relacionada com o movimento de retração e expansão da laje de betão devido a variação da temperatura e da humidade. Esta anomalia não está associada às cargas do tráfego, no entanto, a passagem do tráfego pode levar à desagregação material do betuminoso junto às fendas, causando o despendimento de materiais e aumentando o potencial de FOD.</p>	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	<p>Fendas preenchidas ou não com alguma ou nenhuma desagregação. Fendas não preenchidas têm largura igual ou inferior a 6 mm. As fendas preenchidas podem apresentar qualquer largura desde que o material de preenchimento esteja em boas condições. Pouco ou nenhum potencial de FOD.</p>
	Médio (M)	<p>Fendas com bordos moderadamente desagregados, preenchidas ou não preenchidas, de qualquer largura. Fendas preenchidas com ligeira ou nenhuma desagregação, mas apresentando material de preenchimento muito deteriorado. Fendas não preenchidas, ligeiramente ou nada desagregadas, mas com largura média superior a 6 mm. Ligeira desagregação nos bordos das fendas ou nas zonas de interseção entre fendas. Algum potencial de FOD.</p>
	Alto(H)	<p>Fendas severamente desagregadas, preenchidas ou não e de qualquer largura, que originaram desagregação de material. Elevado potencial de FOD.</p>
Quantificação	<p>Mede-se o desenvolvimento das fendas em m.</p>	
Observações	<p>Se a fenda apresentar diferentes níveis de gravidade, estes devem ser registados separadamente. Caso não seja possível identificar os diferentes níveis presentes, a fenda deve ser registada com o nível mais grave identificado.</p>	

Tabela 2.8 - Fendas Longitudinais e Transversais

Fendas Longitudinais e Transversais - excluindo as Fendas de Reflexão das Juntas da Lajes de Betão
(*Longitudinal and Transverse Cracking - No Join Reflection Cracking from PCC*)



Descrição	Fendas direcionais presentes no pavimento, sendo que as longitudinais são paralelas ao eixo do pavimento e as transversais são perpendiculares ao mesmo eixo. As possíveis causas associadas ao seu aparecimento estão relacionadas com uma incorreta construção do pavimento, com a retração da camada betuminosa devido a variações da temperatura, e com o aparecimento de fendas com origem nas das camadas inferiores, incluindo as fissuras que ocorrem nas lajes de betão de cimento (fora do local das juntas). O seu aparecimento na está relacionado com as cargas do tráfego.	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	Fendas preenchidas ou não com alguma ou nenhuma desagregação. Fendas não preenchidas com largura igual ou inferior a 6 mm. As fendas preenchidas podem apresentar qualquer largura desde que o material de preenchimento esteja em boas condições. Pouco ou nenhum potencial de FOD.
	Médio (M)	Fendas com bordos moderadamente desagregados, preenchidas ou não preenchidas, de qualquer largura. Fendas preenchidas com ligeira ou nenhuma desagregação, mas apresentando material de preenchimento muito deteriorado. Fendas não preenchidas, ligeiramente ou nada desagregadas, mas com largura média superior a 6 mm. Ligeira desagregação nos bordos das fendas ou nas zonas de interseção entre fendas. Algum potencial de FOD.
	Alto(H)	Fendas severamente desagregadas, preenchidas ou não e de qualquer largura, que originaram desagregação de material. Elevado potencial de FOD.
Quantificação	Mede-se o desenvolvimento das fendas em m.	
Observações	Se a fenda não apresentar o mesmo nível de gravidade ao longo de todo o seu desenvolvimento, cada nível de gravidade deve ser registado separadamente. Caso não seja possível identificar os diferentes níveis de gravidade presentes, a fenda deve ser registada com o nível mais grave identificado.	

Tabela 2.9 - Derrame de óleo, combustível ou outros solventes.


<p>Derrame de óleo, combustível ou outros solventes (<i>Oil Spillage</i>)</p>	
<p>Descrição</p>	<p>Deterioração e descoloração da superfície do pavimento. Ocorre devido a derrame de combustível óleo ou outros solventes.</p>
<p>Níveis de Gravidade</p>	<p>Não são definidos níveis de gravidade para esta degradação.</p>
<p>Quantificação</p>	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>
<p>Observações</p>	<p>A manchas não são consideradas anomalias. Esta degradação só é registrada em caso de perda de material ou amaciamento do betume.</p>

Tabela 2.10 - Reparações e Cortes Técnicos


<p>Reparações e Cortes Técnicos (<i>Patching and Utility Cut Patch</i>)</p>		
<p>Descrição</p>	<p>Uma reparação é uma área onde o pavimento original é removido e substituído por material novo para o tratamento de uma degradação existente. É considerada uma degradação independentemente de ter sido bem ou mal executada.</p>	
<p>Níveis de Gravidade</p>	<p>Baixo (L)</p>	<p>A reparação está em boas condições e foi realizada de forma adequada.</p>
	<p>Médio (M)</p>	<p>A reparação apresenta alguma degradação e afeta a qualidade de circulação. Existe um potencial de FOD.</p>
	<p>Alto(H)</p>	<p>A reparação encontra-se muito deteriorada e afeta significativamente a qualidade de circulação. Elevado potencial de FOD. Necessita de substituição urgente.</p>
<p>Quantificação</p>	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>	
<p>Observações</p>	<p>No caso de a reparação possuir áreas com diferentes níveis de gravidade estas devem ser contabilizadas separadamente. Qualquer outra anomalia não deve ser contabilizada, contudo, o seu efeito na avaliação da qualidade da reparação deve ser tido em conta.</p>	

Tabela 2.11 - Polimento de Agregados


<p>Polimento de Agregados (<i>Polished Aggregate</i>)</p>	
<p>Descrição</p>	<p>Desgaste do agregado causado por aplicações repetidas do tráfego que se traduz numa redução da resistência do pavimento ao deslizamento. É apenas observável a uma curta distância do pavimento e é caracterizado ou por uma baixa presença de agregados à superfície do pavimento, ou pela ausência de agregados com rugosidade na superfície de contacto. Pode ser potenciado pela carbonização do betume ao ser atingido pelos gases quentes dos jatos.</p>
<p>Níveis de Gravidade</p>	<p>Não são definidos níveis de gravidade para esta degradação.</p>
<p>Quantificação</p>	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>
<p>Observações</p>	<p>Observado geralmente em zonas de passagem repetida do tráfego.</p>

Tabela 2.12 - Desagregação Superficial dos Agregados


<p>Desagregação Superficial dos Agregados (<i>Raveling</i>)</p>		
<p>Descrição</p>	<p>Desprendimento do agregado grosso da superfície do pavimento. Pode ser provocado pelo envelhecimento do ligante e pelas passagens repetidas do tráfego.</p>	
<p>Níveis de Gravidade</p>	<p>Baixo (L)</p>	<p>A superfície do pavimento encontra-se no geral em bom estado, mas com perda de 5 a 20 agregados por m² de pavimento ou a falta dos agregados grossos verifica-se em menos de 2% da área examinada. Baixo ou nenhum potencial de FOD.</p>
	<p>Médio (M)</p>	<p>Por m² de pavimento, a perda de agregado varia entre 21 a 40 unidades ou falta de agregados grossos entre 2% a 10% da área examinada. Moderado potencial de FOD.</p>
	<p>Alto(H)</p>	<p>Por m² de pavimento, o número de agregados em falta é superior a 40 ou falta de agregados grossos mais de 10% da área examinada. Elevado potencial de FOD.</p>
<p>Quantificação</p>	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>	
<p>Observações</p>	<p>Danos mecânicos causados ao pavimento por gancho, jantes de pneus ou limpa neves são considerados no nível de gravidade alto.</p>	

Tabela 2.13 - Rodeiras


<p>Rodeiras (Rutting)</p>		
<p>Descrição</p>	<p>Depressão da superfície do pavimento devido à passagem consecutiva das rodas das aeronaves no mesmo sítio. Quando significativas indicam uma falha estrutural do pavimento. Ocorrem devido a uma deformação constante em uma ou mais camadas do pavimento, ou mesmo do leito do pavimento, originada pela consolidação ou movimento lateral dos materiais sobre a ação das cargas do tráfego.</p>	
<p>Níveis de Gravidade</p>	<p>Baixo (L)</p>	<p>A profundidade da rodeira varia entre 6 a 13 mm.</p>
	<p>Médio (M)</p>	<p>A profundidade da rodeira varia entre 13 a 25 mm.</p>
	<p>Alto(H)</p>	<p>A profundidade da rodeira é superior a 25 mm.</p>
<p>Quantificação</p>	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>	
<p>Observações</p>	<p>O nível de gravidade é definido de acordo com a profundidade máxima média constatada ao longo da rodeira. Caso as degradações do tipo pele de crocodilo e rodeira ocorram na mesma área, cada uma deve ser registrada separadamente com o respetivo nível de gravidade.</p>	

Tabela 2.14 - Escorregamento lateral devido às lajes de betão.


<p>Escorregamento Lateral devido às Lajes de Betão (<i>Shoving of Asphalt Pavement by PCC Slabs</i>)</p>		
Descrição	<p>Deslocamento lateral dos pavimentos flexíveis construídos sobre lajes de betão, que origina o aparecimento de elevações localizadas na superfície do pavimento. A dilatação das lajes de betão associada a um material de preenchimento das juntas incompressível, provoca um "crescimento" que comprime e eleva o pavimento flexível na zona da junta. Estas elevações podem fendilhar dando origem a um escorregamento lateral.</p>	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	Ligeira dilatação da laje de betão sem fendilhamento do pavimento com pouco efeito na qualidade de circulação do tráfego. Altura média do empolamento é inferior a 19 mm.
	Médio (M)	Dilatação significativa da laje de betão, com fendilhando do pavimento. Afeta a qualidade de circulação. Altura média do empolamento está compreendida entre os 19 mm e os 38 mm.
	Alto(H)	Acentuada dilatação da laje de betão causando fendilhamento severo do pavimento. Afeta seriamente a qualidade de circulação. Altura média do empolamento é superior a 38 mm.
Quantificação	<p>Mede-se a área afetada elevação em m².</p>	

Tabela 2.15 - Fendas em "Meia-Lua"


<p>Fendas em "Meia-Lua" (<i>Slippage Cracking</i>)</p>		
Descrição	<p>Fendas em forma de meia-lua com as duas extremidades apontadas na direção contrária à da circulação do tráfego. Surgem devido à 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 a mistura betuminosa da camada de desgaste apresenta baixa resistência ou quando existe uma fraca ligação entre a camada de desgaste do pavimento e a camada seguinte.</p>	
Níveis de Gravidade	<p>Não são definidos níveis de gravidade para esta degradação.</p>	
Quantificação	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>	

Tabela 2.16 - Empolamento



<p>Empolamento (Swell - Distress)</p>		
<p>Descrição</p>	<p>Elevação da superfície do pavimento que pode surgir rapidamente numa área pequena, ou de forma gradual e longo numa área considerável do pavimento. Pode estar acompanhado por fendilhamento e desagregação do pavimento. É provocado por dilatação, quer da fundação, quer das camadas inferiores do pavimento devido à ação da água e do gelo. No caso de pavimentos mistos pode surgir um ligeiro empolamento à superfície devido à dilatação da laje de betão.</p>	
<p>Níveis de Gravidade</p>	<p>Baixo (L)</p>	<p>Empolamento pouco visível que afeta ligeiramente a circulação do tráfego. Esta degradação nem sempre pode ser observada, mas pode ser detetada através da passagem de um veículo ao longo do percurso. Desta forma é possível identificar a presença de um empolamento, uma vez que provoca uma oscilação ascendente que é sentida no interior da viatura. Altura do empolamento inferior a 20 mm.</p>
	<p>Médio (M)</p>	<p>Empolamento facilmente observável que afeta de forma moderada a circulação do tráfego. Altura do empolamento entre 20 mm e os 40 mm.</p>
	<p>Alto(H)</p>	<p>Empolamento facilmente observável que afeta de forma significativa a circulação do tráfego. Altura do empolamento superior a 40 mm.</p>
<p>Quantificação</p>	<p>Mede-se a área afetada pela degradação em m².</p>	
<p>Observações</p>	<p>Na determinação do nível de gravidade há que ter em atenção se o pavimento em análise pertence a uma pista, a um caminho de circulação ou a placa de estacionamento. Os valores indicados devem ser usados na definição dos níveis de gravidade em pistas.</p>	

Tabela 2.17 - Desagregação Superficial do Mastique em misturas betuminosas densas.

<p>Desagregação superficial do Mastique em Misturas Betuminosas Densas (Weathering in Surface Wear - Dense Mix Asphalt)</p>		
Descrição	Desgaste do ligante asfáltico e do agregado fino à superfície do pavimento. A superfície do pavimento começa a mostrar sinais de envelhecimento que podem piorar devido às alterações climáticas.	
Níveis de Gravidade	Baixo (L)	A perda do agregado fino é notável e pode ser acompanhada da descoloração do ligante. Os agregados grossos começam a estar expostos (menos de 1 mm). O pavimento pode ser relativamente novo (6 meses de idade).
	Médio (M)	A perda do agregado fino é notável e o agregado grosso está exposto até cerca de ¼ da sua dimensão maior.
	Alto(H)	Perda considerável do agregado fino levando à perda de algum agregado grosso.
Quantificação	Mede-se a área afetada pela degradação em m ² .	
Observações	Esta degradação não é registada caso se registre a desagregação superficial do agregado (<i>Raveling</i>) com nível de gravidade médio ou alto.	

2.5. Determinação do *Pavement Condition Index (PCI)* para pavimentos flexíveis

O *Pavement Condition Index (PCI)* é um indicador numérico que traduz o estado atual de pavimentos aeroportuários, flexíveis e rígidos, desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers* através de financiamento fornecido pela *U.S. Air Force (Força Aérea E.U.A.)*. Tendo sido verificado e adotado pela *Federal Aviation Administration (FAA)* e *U.S. Naval Facilities Engineering Command (ASTM D5340-12, 2012)*.

A determinação do índice baseia-se na identificação e medição das degradações observadas na superfície dos pavimentos, fornecendo uma base objetiva que permite priorizar as intervenções de manutenção e as reparações futuras (ASTM D5340-12, 2012).

A escala de valores do PCI varia de 0, para um pavimento em ruína, até 100, para um pavimento novo, sendo a sua determinação e a avaliação efetuada de acordo com a norma ASTM D 5340-12 “*Standart Test Method for Airport Pavement Condition Index Survey*”.

Segundo a norma ASTM D 5340-12, os seguintes passos devem ser considerados na preparação da campanha de auscultação dos pavimentos, na determinação do índice PCI e na interpretação dos resultados:

1) Identificação e seccionamento da rede de pavimentos aeroportuários a analisar;

Entende-se por rede de pavimentos aeroportuários todos os pavimentos existentes na infraestrutura aeroportuária ou todos os pavimentos no sistema de aeroportos de um país (AC 150/5380-7B, 2014).

A rede de pavimento é inicialmente dividida num conjunto de elementos designados por ramos. A divisão é feita consoante a função que cada área de pavimento desempenha, como por exemplo: pistas, vias de circulação e placas de estacionamento.

Seguidamente cada ramo é decomposto em secções com base no dimensionamento da estrutura do pavimento, no histórico de construção e manutenção, no tráfego e no estado do pavimento.

Por fim, cada uma das secções é subdividida em áreas de estudo com tamanho padrão, designadas de unidades de amostra. De acordo com a norma ASTM D 5340-12, a dimensão padrão das amostras para pavimentos flexíveis é de 450 m². Caso a área do pavimento não for divisível por este valor, ou caso seja necessário ajustar a divisão às condições locais, a área pode variar até aos ±180 m² (ASTM D5340-12, 2012).

2) Determinação e seleção do número de unidades de amostra a inspecionar;

Uma vez que a observação de todas as unidades de amostra de cada secção exigiria um tempo de levantamento elevado e a inibição da circulação das aeronaves e de outros veículos durante as operações de auscultação dos pavimentos, a metodologia recomenda a determinação de um número mínimo de amostras a observar, de forma a representar um nível de confiança de 95% na determinação do PCI da secção.

O número mínimo de unidades de amostra a observar (n) é calculado pela aplicação da seguinte Expressão 2.1.

$$n = \frac{N \times s^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right)(N - 1) + s^2\right)} \quad (\text{Exp. 2.1})$$

Onde:

e - Erro aceitável na estimativa do PCI da secção. Em geral é considerado $e = \pm 5$ pontos de PCI.

s - Desvio padrão do PCI de uma unidade de amostra para outra dentro da mesma secção. Na inspeção inicial assume-se a seguinte hipótese: desvio padrão de 10 pontos para os pavimentos flexíveis (AC) e de 15 pontos para os pavimentos rígidos (PCC). Nas inspeções seguintes o desvio padrão da observação anterior deve ser utilizado no cálculo de n .

N - Número total de unidade de amostras da secção.

Como um nível de confiança de 95% é bastante elevado, é importante confirmar se o número de amostras observadas é adequado a esta exigência. O número de unidades de amostra é estimado a partir de uma hipótese para o desvio padrão, logo é necessário recalculá-lo a partir de um desvio padrão associado ao PCI determinado, sendo o desvio padrão real (s_{real}) determinado a partir da Expressão 2.2.

$$s_{real} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{(n-1)}} \quad (\text{Exp. 2.2})$$

Em que:

PCI_i - PCI das unidades de amostra inspecionadas i .

PCI_f - Média dos PCI_i das unidades de amostra inspecionadas.

n - Número total de unidade de amostra observadas.

Com o valor de s_{real} obtido recalcula-se o número mínimo de amostras utilizando a Expressão 2.1 e o valor do desvio padrão real obtido na Equação 2.2. Caso o novo valor de n for superior ao inicialmente determinado, é necessário selecionar de modo aleatório, e uniformemente espaçadas, as unidades de amostra adicionais, procedendo-se posteriormente à sua inspeção. Este processo é repetido até que o número de unidades de amostra inspecionadas for superior ou igual ao número mínimo de unidades de amostra requeridas (n) pela aplicação da Expressão 2.1 (Lima, 2016).

Uma vez determinado o número de amostras a inspecionar, é necessário calcular o espaçamento entre elas. As amostras são igualmente espaçadas ao longo da secção, sendo a primeira amostra selecionada aleatoriamente.

O intervalo de espaçamento das unidades (i) é calculado pela aplicação da Expressão 2.3, sendo o resultado arredondado para o número inteiro mais baixo.

$$i = \frac{N}{n} \quad (\text{Exp. 2.3})$$

Onde:

N - Número total de unidade de amostras da secção.

n - Número de unidades de amostra a inspecionar.

3) Inspeção das unidades de amostra.

O procedimento de inspeção visual segue os seguintes passos. A inspeção é feita individualmente a cada unidade de amostra escolhida; faz-se um esboço da unidade de amostra, incluindo a orientação; regista-se o número do ramo, a seção, o número e o tipo de unidade de amostra (aleatória ou adicional); regista-se as dimensões da unidade de amostra; a inspeção das degradações é feita caminhando sobre a unidade de amostra a analisar, medindo a quantidade de cada nível de gravidade de cada degradação superficial presente no pavimento e registando os dados numa folha de levantamento do estado do pavimento segundo o apresentado no apêndice X5 da norma ASTM D 5340-12. As degradações superficiais registadas devem corresponder, em termos de tipo e gravidade, às descritas no apêndice X1 da norma ASTM D 5340-12. Repete-se este procedimento para cada unidade de amostra a ser inspecionada.

4) Cálculo do PCI para cada unidade de amostra.

Segundo a ASTM D5340-12, para a obtenção do valor de PCI de uma unidade de amostra é necessário determinar os seguintes pontos:

4.1) Densidade (D)

A densidade (D) é a percentagem de incidência de uma degradação, calculada por nível de gravidade, numa determinada unidade de amostra. É a divisão da quantidade total afetada pela degradação (m ou m²) pela área total da unidade de amostra (ver Expressão 2.4).

$$D(\%) = \frac{\text{Quantidade da degradação (m ou m}^2\text{)}}{\text{Área total de U.A. (m}^2\text{)}} \times 100 \quad (\text{Exp. 2.4})$$

4.2) Valores de Dedução (DV), Valor Máximo de Dedução Corrigido (Max CDV) e Número Máximo de Degradações Admissíveis (m)

Os valores de dedução (DV) são obtidos para cada tipo de degradação e nível de gravidade, em função dos valores das densidades obtidos, por interpretação das curvas de dedução que se encontram no Apêndice X3 da norma ASTM D 5340-12.

Se nenhum ou apenas um dos valores de dedução é superior a cinco, o valor máximo de dedução corrigido (Max CDV) a usar no cálculo do PCI é igual a soma de todos os DV.

Caso mais do que um DV apresente valor superior a cinco, é necessário calcular o número máximo de deduções (m) a considerar no cálculo de forma a ajustar a influência que o conjunto das anomalias produz no estado da amostra, evitando assim resultados de PCI exagerados ou irrealistas.

O cálculo do número máximo de degradações admissíveis (m) é efetuado com recurso à Expressão 2.5.

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) \times (100 - HDV) \leq 10 \quad (\text{Exp. 2.5})$$

Em que:

m - Número máximo de degradações admissíveis a considerar no cálculo do PCI da unidade de amostra.

HDV - O maior valor de dedução (DV) da unidade de amostra.

Neste caso, o Valor Máximo de Dedução Corrigido é determinado através de um processo iterativo que inclui os seguintes passos (ASTM D5340-12, 2012):

- Colocar por ordem decrescente os valores deduzidos correspondentes ao número máximo de degradações admissíveis determinado (m);
- Determinar o número de valores deduzidos (DV) superiores a 5 (q);
- Calcular o somatório de valores deduzidos (Total);
- Determinar o valor de dedução corrigido (CDV) por consulta da curva de DVs corrigidos para pavimentos aeroportuários flexíveis do Apêndice X3 da norma ASTM D 5340-12;
- Reduzir para 5 o menor DV superior a 5 e repetir os passos anteriores até obter $q = 1$;
- O CDV final é o maior valor de CDV determinado por este processo (Max CDV).

4.3) Cálculo do PCI

O valor máximo de dedução corrigido (Max CDV) é subtraído ao valor máximo do PCI para obtenção do valor do PCI da unidade de amostra ($PCI_{U.A.}$) (Expressão 2.6).

$$PCI_{U.A.} = 100 - Max\ CDV \quad (\text{Exp. 2.6})$$

No entanto, numa mesma unidade de amostra podem estar presentes diferentes níveis de gravidade de uma dada degradação. Nestes casos o cálculo do PCI deve ter em conta o seguinte procedimento:

- Para dois níveis de gravidade

Determina-se o valor de PCI considerando os dois níveis de gravidade separadamente. De seguida calcula-se o valor de PCI considerando apenas o nível de gravidade mais condicionante, ou seja, as densidades da degradação são somadas e atribuídas ao nível de gravidade mais condicionante. O PCI da unidade de amostra é o valor de PCI mais elevado dos obtidos, ou seja, o menos condicionante (Lima, 2016).

- Para três níveis de gravidade:

Determina-se o valor de PCI, considerando os três níveis de gravidade separadamente. Seguidamente calcula-se o valor de PCI considerando as seguintes conjugações das densidades correspondentes a determinado nível de gravidade da degradação: B+M=M, M+A=A, B+A=A, B+M+A =A. O PCI da unidade de amostra é o valor de PCI mais elevado dos obtidos, ou seja, o menos condicionante (Lima, 2016).

5) Determinar o PCI para cada secção;

Se todas a unidades de amostra analisadas tiverem sido selecionadas aleatoriamente, então o valor de PCI da secção (PCI_s) é a média ponderada do PCI das unidades de amostra ($\overline{PCI_r}$) que constituem a secção (ver Expressão 2.7).

$$PCI_s = \overline{PCI_r} = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}} \quad (\text{Exp. 2.7})$$

Nesta expressão:

PCI_s - Valor do PCI da secção;

$\overline{PCI_r}$ - Média do PCI das unidades de amostras aleatoriamente selecionadas;

PCI_{ri} - PCI da unidade de amostra i aleatoriamente selecionada;

A_{ri} - Área da unidade de amostra i aleatoriamente selecionada;

n - Número total de unidades de amostras aleatoriamente selecionadas.

No caso de terem sido consideradas unidades de amostra adicionais durante o processo de inspeção, é necessário determinar a média ponderada do PCI das unidades de amostras adicionais ($\overline{PCI_a}$), através da Expressão 2.8.

$$\overline{PCI_a} = \frac{\sum_{i=1}^m (PCI_{ai} \times A_{ai})}{\sum_{i=1}^m A_{ai}} \quad (\text{Exp. 2.8})$$

Em que:

$\overline{PCI_a}$ - Média do PCI das unidades de amostras adicionais, ponderada pela área das unidades de amostra;

PCI_{ai} - PCI da unidade de amostra adicional i;

A_{ai} - Área da unidade de amostra adicional i;

m - Número total de unidades de amostras adicionais.

O PCI do pavimento da secção (PCI_s) é então determinado através da Expressão 2.9.

$$PCI_s = \frac{\overline{PCI}_r(A - \sum_{i=1}^m A_{ai}) + \overline{PCI}_a(\sum_{i=1}^m A_{ai})}{A} \quad (\text{Exp. 2.9})$$

Onde:

PCI_s - Valor do PCI do pavimento da secção, ponderado pela área;

A - Área total da secção.

6) Classificação do estado do pavimento de cada secção em função do valor de PCI

A classificação do estado do pavimento em função do valor do PCI é efetuada por comparação dos valores obtidos com os intervalos de uma escala de classificação do PCI. A Figura 2.4 apresenta dois exemplos de escalas de classificação de PCI apresentadas na norma ASTM D 5340-12.

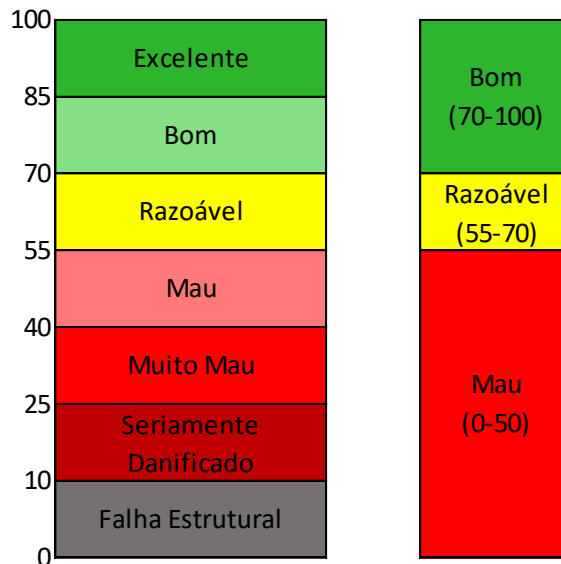


Figura 2.4 - Escala de classificação do estado do pavimento em função do PCI (adaptado ASTM D 5340-12).

Com base na descrição de Barros (2008), a escala de classificação do PCI transmite as seguintes informações quanto aos níveis de degradação e ao tipo de intervenção a considerar:

- Muito Bom: pavimento sem anomalias ou com poucas anomalias de baixa gravidade, que necessite apenas de manutenção corrente.
- Bom: o pavimento exhibe apenas algumas anomalias de baixa gravidade que requerem apenas manutenção de preventiva.
- Mau: o pavimento apresenta uma combinação de anomalias de baixa e média gravidade, sendo por isso necessário recorrer a uma manutenção a curto de prazo de carácter preventivo ou reconstutivo.

- **Muito Mau:** O pavimento possui anomalias predominantemente de média e alta gravidade que podem causar alguns problemas de operacionalidade. Deste modo, é necessária uma manutenção a curto prazo de carácter reconstutivo.
- **Seramente Danificado:** o pavimento possui anomalias predominantemente de média e alta gravidade que causam problemas consideráveis de operacionalidade, pelo que é necessário recorrer à reconstrução do pavimento a curto prazo.
- **Falha Estrutural:** o pavimento apresenta deteriorações muito avançadas que impossibilitam a operação das aeronaves em segurança, sendo necessária a reconstrução imediata e profunda do pavimento.

3. TIPOS DE INTERVENÇÃO E NÍVEIS DE SERVIÇO EM FUNÇÃO DA AVALIAÇÃO DO ESTADO DO PAVIMENTO

3.1. Enquadramento

Saber quando o pavimento irá atingir estados de degradação elevados e prevenir que isto ocorra é um dos objetivos principais de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários.

Preparar estratégias e propostas de intervenção de manutenção nos pavimentos aeroportuários requer a análise de um conjunto alargado de variáveis que vão desde a avaliação do estado superficial e estrutural dos pavimentos, à consideração de aspetos relacionados com o orçamento disponível, período de planeamento a considerar, cargas e intensidade do tráfego de aeronaves, condicionamentos operacionais e a capacidade e conhecimento técnico da indústria de construção local, entre outras.

Com os modelos de previsão da evolução do estado dos pavimentos já é possível prever o estado do pavimento ao longo do tempo e assim, tomar decisões preventivas ao nível da manutenção dos pavimentos de um complexo aeroportuário. Os métodos mais usados na modelação do desempenho dos pavimentos são a modelagem especializada, usada quando não existe nenhum histórico do pavimento, pelo que se baseia na opinião de peritos profissionais da área dos pavimentos; a modelagem com recurso a famílias de curvas de desempenho, baseada na expectativa de que pavimentos aeroportuários semelhantes, quando expostos a condições semelhantes, se comportam da mesma maneira; a extrapolação de tendências existentes, quando existem dados anteriores sobre o estado do pavimento, podendo a extrapolação ser efetuada com recurso a famílias de curvas de desempenho; e a modelagem com recurso aos modelos de probabilidade de Markov (cadeia de Markov), mais usados nos pavimentos rodoviários (Transportation Research Board, 2011).

Mesmo na fase inicial de implementação de um SGPA, e tendo por base a avaliação da qualidade atual do pavimento, já é possível avaliar o tipo de intervenção (manutenção preventiva ou corretiva) necessária e o tipo de tratamentos a considerar para manter ou melhorar o nível de serviço dos pavimentos.

No entanto, na avaliação do estado de conservação dos pavimentos existem vários parâmetros que caracterizam o estado dos pavimentos e que podem auxiliar a tomada de decisão quanto ao tipo de intervenções de M&R a considerar, estes são: as degradações superficiais existentes no pavimento, a irregularidade do pavimento (longitudinal e transversal), (Transportation Research Board, 2011) o coeficiente de atrito, a presença de detritos (*foreign object*

damage/debris) e a capacidade estrutural do pavimento (Transportation Research Board, 2011).

A identificação e quantificação das degradações superficiais existentes num pavimento permitem avaliar o seu estado de conservação através da aplicação da metodologia para determinação do PCI apresentada anteriormente (ASTM D 5340-12). A *Federal Aviation Administration* (FAA) recomenda que o levantamento das degradações superficiais dos pavimentos e a avaliação do PCI sejam realizados a cada de 3 anos para o caso das pistas de aeroportos.

A irregularidade do perfil do pavimento define-se como os desvios do perfil da superfície da pista que podem provocar o aumento da fadiga nos componentes do avião, reduzir a ação de travagem, prejudicar as operações dos pilotos e causar desconforto aos utilizadores. A interação entre as respostas da aeronave e a rugosidade do pavimento das pistas é complexa e depende do tipo, peso e velocidade da aeronave, e da posição do observador na aeronave. Geralmente, as ações de M&R direcionadas para melhorar as irregularidades do pavimento baseiam-se em observações/reclamações dos pilotos das aeronaves.

O atrito é a força resistente ao movimento que se desenvolve entre os pneus das aeronaves e a superfície do pavimento. Depende de fatores como o tipo de pavimento, os materiais utilizados na construção, as propriedades dos pneus, as condições de operação das aeronaves e as condições da envolvente. O atrito do pavimento é uma das preocupações de segurança mais significativa para aeronaves de maior peso e velocidades de aterragem, especialmente quando o pavimento está molhado. Existem procedimentos recomendados para medir o atrito do pavimento e que fornecem níveis de atrito específicos necessários para operações seguras de aeronaves. Esses níveis de fricção podem ser usados para planear intervenções de M&R.

A presença de detritos no pavimento é avaliada usando o Índice de Dano (*Foreign Object Damage/Debris Index* - FOD). O índice FOD é determinado a partir do PCI considerando apenas as degradações e os níveis de gravidade capazes de produzir FOD.

A capacidade de suporte dos pavimentos aeroportuários é avaliada utilizando o método do *ACN/PCN - Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number*. O levantamento do nível de capacidade de suporte pode ser efetuado através da realização de ensaios de carga com recurso ao defletómetro de impacto (*Falling Weight Deflectometer* - FWD) a cada 3 / 4 anos.

3.2. Tratamentos de conservação para pavimentos flexíveis

Os pavimentos aeroportuários requerem intervenções ao nível da manutenção corrente e de reabilitação, pois estão sujeitos a uma deterioração gradual ao longo do tempo. O aparecimento

de degradações no pavimento pode estar relacionado com diversas causas, a identificação destas é o primeiro passo para a reabilitação ou reparação do pavimento.

A escolha do tipo de tratamento a considerar nas reparações de pavimentos flexíveis depende do tipo de degradação a tratar, do clima e dos tipos de materiais disponíveis (AC 150/5380-6C, 2014). A Tabela 3.1 apresenta as possíveis causas associadas às degradações mais comuns dos pavimentos flexíveis aeroportuários e os tratamentos normalmente adotados para a sua reparação.

Tabela 3.1 - Causas possíveis e tipos de tratamentos para as degradações mais comuns em pavimentos flexíveis (adaptado de AC 150/5380-6C)

Tipos de Degradações	Possíveis Causas	Reparações
Desagregação superficial (agregados e mastique)	<ul style="list-style-type: none"> - Condições climatéricas - Falta de tratamentos superficiais periódicos 	<ul style="list-style-type: none"> -Aplicação de tratamentos superficiais -Camada de reforço
Fendas	<ul style="list-style-type: none"> - Idade do pavimento - Condições climatéricas - Betume muito duro ou sobreaquecido na mistura Defeitos na selagem (aplicação incorreta, temperatura, escolha impróprio do selante, má preparação da fenda para selagem) 	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção o selante mais antigo (se presente) - Limpeza e preparação das fendas -Selagem/resselagem de fendas -O aquecimento das juntas pode ser uma solução para fendas longitudinais
Pele de Crocodilo	<ul style="list-style-type: none"> - Falha estrutural da base ou da sub-base do pavimento - Carga excessiva - Mau dimensionamento da camada superficial 	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção e substituição do pavimento danificado, incluindo as camadas de base e sub-base se necessário
Reparações	<ul style="list-style-type: none"> - Reparação executada de forma inadequada ou com recurso a materiais impróprios - Idade do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover/Substituir - Reparar e repavimentar a superfície
Irregularidades na Superfície (rodeiras, depressões e empolamento)	<ul style="list-style-type: none"> - Tráfego - Idade do Pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção e substituição das áreas afetadas - Fresagem da superfície

Atualmente existe uma vasta gama de tratamentos de manutenção de pavimentos aeroportuários. Tendo por base uma recolha de informações fornecidas por várias entidades gestoras de aeroporto norte americanos, o Transportation Research Board (2011) criou uma lista dos tratamentos de manutenção e de reabilitação de pavimentos aeroportuários usados, indicando a percentagem de aeroportos que utiliza cada tipo de tratamento (ver Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Tipos de tratamento de manutenção e de reabilitação de pavimentos aeroportuários
(adaptado de *Transportation Research Board*, 2011).

Tipos de Tratamentos		Percentagem de Utilização (%)
Selagem de fendas	selagem com mistura quente	95
	selagem com mistura fria	16
Pequenas reparações	mistura quente	68
	mistura fria	61
	mistura própria	20
Reparações do tipo “ <i>spray patching</i> ”		11
Reparação com mistura betuminosa aplicada com maquinaria		41
Fresagem e reparação com mistura betuminosa aplicada com maquinaria		52
Melhoramento da textura superficial	com moagem fina	11
	com jato controlado	16
Tratamentos restauradores (“ <i>Fog Seals</i> ” (aplicação de emulsões betuminosas de cura lenta diluída), etc.)		52
Tratamento superficiais		43
Lama Asfáltica (“ <i>Slurry Seal</i> ”)		48
“ <i>Microsurfacing</i> ”		11
Camada de Reforço (mistura betuminosa a quente)		68
Fresagem e aplicação de camada de reforço (mistura betuminosa a quente)		64
Reciclagem do pavimento a quente		7
Reciclagem do pavimento a frio		2
Camada de reforço em betão de cimento (“ <i>Whitetopping</i> ”)		14

De um forma geral, os tipos de tratamentos para a realização de reparações em pavimentos flexíveis são os seguintes (UFC 3-270-06, 2001)(Transportation Research Board, 2011)(FDOT, 2008)(AC 150/5380-6C, 2014):

- Substituição da camada de desgaste ou colocação de uma camada de reforço;
- Criação de textura no pavimento (Jatos de partículas e Fresagem);

- Reparações (Superficiais ou Profundas);
- Tratamentos Superficiais (Microsurfacing ou Revestimentos superficiais restauradores);
- Selagens de Fendas e Juntas;
- Reconstrução ou Reciclagem do Pavimento.

3.3. Tipos de intervenção

Geralmente, um pavimento permanece em bom estado de conservação ao longo de praticamente todo o seu ciclo de vida, no entanto, quando atinge o seu “estado crítico” degrada-se a um ritmo mais rápido. O número de anos que um pavimento se conserva em bom estado depende de diversos fatores que incluem: o tipo e qualidade de construção, o tipo de utilização do pavimento, as condições climáticas e a sua manutenção (AC 150/5380-7B, 2014).

A Figura 3.1 ilustra a deterioração típica de um pavimento e o custo relativo da reabilitação em várias etapas ao longo do seu tempo de vida.

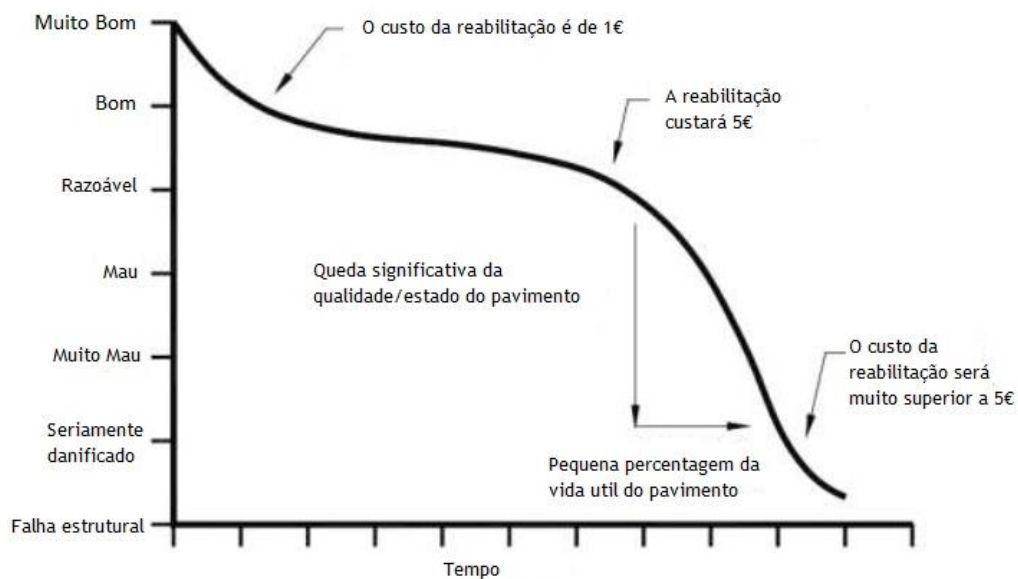


Figura 3.1 - Degradação do estado de um pavimento aeroportuário ao longo do seu ciclo de vida (adaptado de AC 150/5380-7B, 2014).

É possível observar na Figura 3.1 que reabilitar um pavimento em más condições, em vez de, preservar um pavimento em boas condições, tem um custo superior a cinco vezes o custo da manutenção. Mostra igualmente que o tempo ideal para uma intervenção ao nível de manutenção preventiva corresponde ao momento anterior ao aumento significativo da taxa de deterioração do pavimento. A forma da curva de deterioração e os pontos ótimos de manutenção e/ou reabilitação podem variar consideravelmente dentro de uma rede de pavimentos.

Conforme referido anteriormente, o valor do PCI pode influenciar a tomada de decisão quanto ao tipo de intervenção e ações a implementar para garantir a qualidade adequada dos pavimentos.

Cada tipo de intervenção caracteriza-se não só pelo estado de conservação do pavimento, como também pelas atividades de reparação que lhe são associadas.

Os tipos de intervenção de manutenção e de reabilitação estabelecem um conjunto de atividades de reparação das degradações que são encontradas nas inspeções efetuadas aos pavimentos. Estas atividades podem ser de natureza preventiva (manutenção), corretiva (reabilitação) e/ou de reconstrução, dependendo do estado de conservação dos pavimentos e dos critérios de funcionamento de infraestrutura em análise (FDOT, 2008) (Decker, 2017). Os tipos de intervenção podem ser interpretados em termos de PCI da seguinte forma:

- Manutenção Preventiva - Ocorre antes do pavimento atingir um valor de PCI Crítico, indicativo da necessidade de intervir no pavimento, ou para prevenir que atinja esse valor. Na maioria dos casos, as atividades que são realizadas neste tipo de manutenção são a selagem de fendas e de juntas e a realização de pequenas reparações do pavimento.
- Manutenção Corretiva - Acontece quando os valores de PCI são inferiores ao PCI Crítico. A atividade mais comum neste tipo de intervenção é a reabilitação do pavimento, ou seja, atividades de fresagem do pavimento e de colocação de uma camada de reforço usando o pavimento existente como fundação ou até mesmo substituição da camada de desgaste.
- Reconstrução - É considerada quando a reabilitação já não é suficiente para corrigir os problemas do pavimento e o nível mínimo de serviço já não é cumprido, pondo em causa a segurança dos utilizadores. A reconstrução inclui a remoção do pavimento existente, a correção da fundação (se necessário) e a construção de um pavimento novo com materiais novos ou reciclados.

Os valores de PCI recomendados para a aplicação de tratamentos de manutenção e de reabilitação podem variar, no entanto, esta variação não é em geral muito significativa, o que permite identificar intervalos de valores de PCI para cada tipo de intervenção a considerar nos pavimentos aeroportuários. As Figuras 3.2 e 3.3 e a Tabela 3.3 apresentam exemplos dos tipos de intervenção a considerar em função dos valores de PCI obtidos para o pavimento.

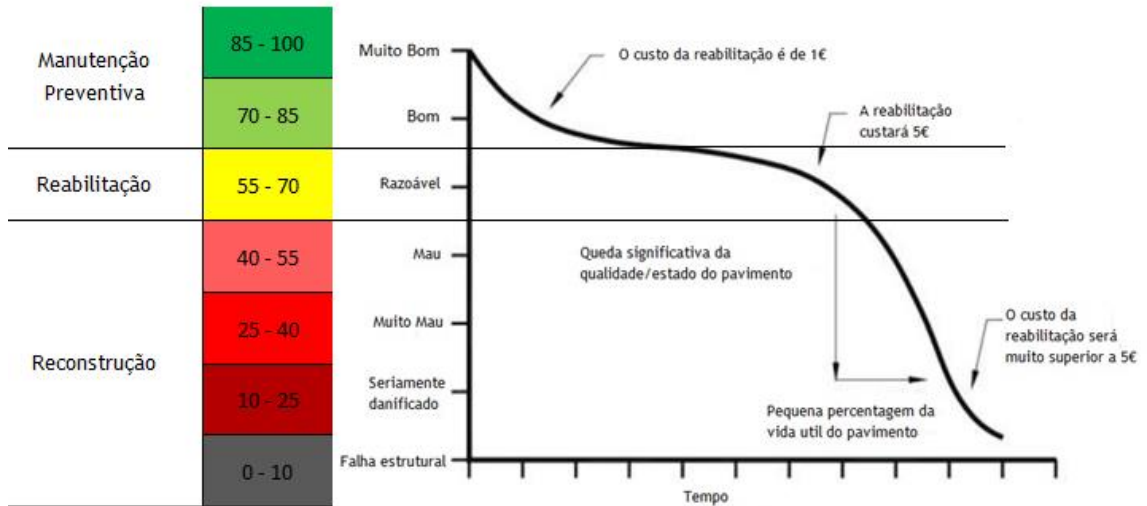


Figura 3.2 - Curva da degradação do estado de um pavimento aeroportuário ao longo do seu ciclo de vida e tipos de intervenção no pavimento em função do PCI (adaptado de AC 150/5380-7B, 2014).

Manutenção Preventiva	85 - 100
	70 - 85
Reabilitação	55 - 70
	40 - 55
Reconstrução	25 - 40
	10 - 25
	0 - 10

Figura 3.3 - Tipos de intervenção no pavimento em função do PCI - MDOT (adaptado de MDOT, 2008)

Tabela 3.3 - Tipos de intervenção no pavimento em função do PCI (adaptado de *Transportation Research Board*, 2011)

Escala do PCI	Descrição	Tipos de intervenção
85 - 100	Muito Bom- Pequenas degradações	Manutenção corrente
70 - 85	Bom - Degradações com níveis de gravidade baixo e médio	Manutenção preventiva
55 - 70	Razoável - Algumas degradações graves	Manutenção corretiva ou reabilitação
40 - 55	Mau - A gravidade de algumas degradações pode causar problemas operacionais	Reabilitação ou reconstrução
25 - 40	Muito Mau - A gravidade das degradações causa problemas operacionais	Reabilitação ou reconstrução
10 - 25	Seramente Danificado - Muitas degradações graves que provocam restrições no funcionamento	Reparações imediatas ou reconstrução
0 - 10	Falha Estrutural - A deterioração do pavimento não permite garantir a segurança nas operações das aeronaves	Reconstrução

3.4. Níveis de serviço e níveis de desencadeamento

O valor do PCI é um dos fatores que influencia as tomadas de decisão relativas às ações a implementar para garantir um determinado nível de qualidade dos pavimentos, visto que é possível estabelecer níveis de serviço para os pavimentos de um aeroporto em termos dos valores do PCI.

Existem vários tipos de nível de serviço que podem ser usados para estabelecer as necessidades de manutenção e/ou de reabilitação que os pavimentos aeroportuários podem exigir. A Tabela 3.4 apresenta uma descrição para cada um desses níveis (Transportation Research Board, 2011).

Tabela 3.4 - Tipos de nível de serviço para pavimentos aeroportuários.

Nível de Serviço	Descrição
Nível de serviço desejável	Este nível expressa o estado de conservação que os pavimentos devem apresentar, de forma a garantir um funcionamento seguro e eficiente. Varia para diferentes tipos de infraestruturas aeroportuárias, pois cada tipo de infraestrutura requer um nível de serviço específico para executar, devidamente, as suas funções.
Nível de serviço mínimo aceitável ou PCI Crítico	O nível de serviço mínimo aceitável ou valor de PCI Crítico estabelece um limite indicativo da necessidade de intervenção em termos de M&R nos pavimentos.
Nível de serviço relacionado com a segurança	O nível de serviço relacionado com a segurança é tipicamente definido em termos de níveis mínimos de fricção recomendados para as superfícies do pavimento das pistas. Pode ser definido em função das degradações presentes na superfície do pavimento, como por exemplo, em função do aparecimento de rodeiras e nível de gravidade das rodeiras.
Nível de desencadeamento	Os níveis de desencadeamento fornecem uma orientação de tempo para intervenções específicas de M & R dos pavimentos. Os níveis de desencadeamento podem ser gerais ou específicos.

Desta forma, existe um determinado valor de PCI que é apontado como o limite indicador da necessidade de intervir ao nível da realização de ações de manutenção e /ou reabilitação dos pavimentos, este limite é designado por “PCI Crítico” ou “Nível de Serviço Mínimo Aceitável” (Transportation Research Board, 2011). Ou seja, para secções do pavimento onde o PCI é superior ao PCI Crítico é espectável que apresentem condições aceitáveis de funcionamento. Secções com valor do PCI inferior ao PCI Crítico necessitam, em geral, de intervenções ao nível da manutenção, de forma a manter o pavimento funcional, ou de reabilitação, para garantir a segurança dos utilizadores (FDOT, 2008).

Os valores de PCI adotados para caracterizar os diferentes níveis de serviço dependem de vários fatores que são (Transportation Research Board, 2011):

- Tipo de aeroporto e as suas dimensões - os aeroportos de aviação geral, aeroportos de uso público que não possuem serviço agendado ou têm menos de 2.500 embarques anuais, podem ter níveis de serviço mais baixos do que os aeroportos principais que são aeroportos de serviços comerciais com mais de 10.000 embarques de passageiros por ano.

- Tipo de infraestrutura em análise - os níveis de serviço exigidos para pavimentos de pistas são geralmente mais elevados do que para pavimentos de caminhos de circulação ou de placas de estacionamento. Além disso, alguns aeroportos podem adotar níveis de serviço maiores para instalações principais do que para instalações secundárias ou terciárias.
- Número e tipo de aeronaves que operam na infraestrutura - por norma os níveis de serviço mais elevados são exigidos para instalações que acolhem um maior número de operações de aeronaves, ou quando há tráfego de aeronaves de grandes dimensões e mais pesadas.
- Tipo de pavimento - algumas entidades gestoras usam diferentes níveis de serviço para diferentes tipos de pavimentos, visto que geralmente são usadas em diferentes zonas da rede de pavimentos e por isso têm funções distintas.

A Tabela 3.5 mostra vários valores de PCI adotados na definição de níveis de serviço para a avaliação de pavimentos flexíveis de pistas, caminhos de circulação e placas de estacionamento de aeroportos internacionais norte-americanos.

Tabela 3.5 - Exemplos de valores de PCI adotados em aeroportos norte-americanos para a definição de níveis de serviço de pavimentos flexíveis

	Nível de Serviço								
	Pistas			Caminhos de Circulação			Placas de Estacionamento		
	Nível de serviço desejável	PCI Crítico		Nível de serviço desejável	PCI Crítico		Nível de serviço desejável	PCI Crítico	
		Todas as secções	Secções individuais		Todas as secções	Secções individuais		Todas as secções	Secções individuais
TRB (2011)	80	65	55	70	60	45	70	60	40
MDOT (2008)		70			60			55	
FDOT (2008)	75	65		70	65		65	65	
AC 150/5380-7B (2014)		70							

Os valores do TRB são definidos para aeroportos de aviação geral de média dimensão. Os valores do MDOT e do FDOT são para aeroporto principais

Somente o Transportation Research Board (TRB) e o Florida Department of Transportation (FDOT) recomendam valores quanto ao nível de serviço desejável. O TRB recomenda a verificação de um valor de PCI Crítico para o total das secções analisadas e de um valor crítico por secção individual. Quanto ao Michigan Department of Transportation (MDOT) e ao Florida Department of Transportation (FDOT), os valores apresentados foram definidos tendo em conta a rede de aeroporto de cada estado. Por fim, o valor recomendado pela AC 150/5380-7B foi obtido por leitura do gráfico apresentado anteriormente na Figura 3.1 em conjunto com a escala de classificação apresentada na norma de ASTM D 5340-12 (ver Figura 3.2).

Como referido anteriormente, para além dos níveis de serviço para estimar as necessidades de M&R do pavimento, podem ser definidos e considerados no processo de decisão Níveis de Desencadeamento (“*Trigger Levels*”). Estes fornecem orientação sobre o melhor momento de intervenção na preservação dos pavimentos. Os níveis de desencadeamento podem ser gerais ou específicos. Os níveis de desencadeamento gerais proporcionam uma orientação sobre quais são os tipos de procedimentos de M & R considerados para um determinado estado do pavimento. Já os níveis específicos para um tratamento estão relacionados com a necessidade de aplicar um tratamento de preservação no momento certo para ser efetivo, i. e., antes que o pavimento atinja um estado em que um tratamento diferente e mais caro seja necessário (Transportation Research Board, 2011).

A Figura 3.4 apresenta um exemplo de níveis de serviço e níveis de desencadeamento definidos em função da evolução do estado do pavimento.

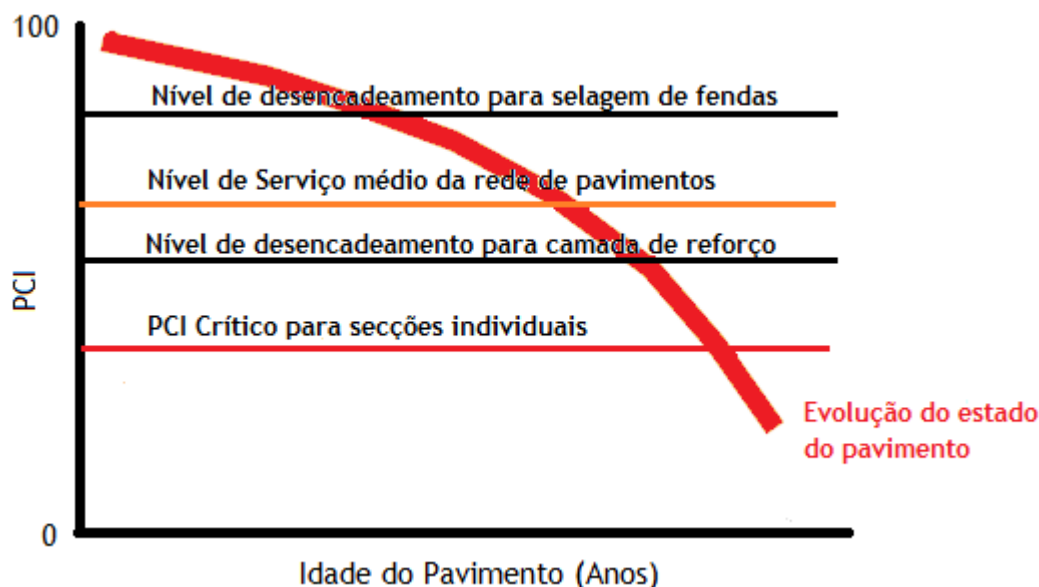


Figura 3.4 - Exemplos de níveis de serviço e níveis de desencadeamento (adaptado de Transportation Research Board, 2011).

4. CASO DE ESTUDO - Aeroporto Internacional Aristides Pereira, Boavista - Cabo Verde

4.1. Introdução

Este capítulo apresenta todo o procedimento realizado na avaliação da qualidade dos pavimentos e na interpretação de resultados com vista à identificação do tipo de intervenção de manutenção necessária para a pista do Aeroporto Internacional Aristides Pereira (AIAP), localizado na ilha da Boavista, República de Cabo Verde. Os principais aspetos abordados prendem-se com a segmentação da pista 03-21, o levantamento do estado do pavimento, a avaliação da qualidade do pavimento através da determinação do índice PCI, assim como a identificação do tipo de intervenção mais adequado e orientações sobre os tratamentos de manutenção a considerar.

Uma vez que, no seguimento de um trabalho anterior desenvolvido pela Mestre Débora Lima (Lima, 2016), em que foram efetuadas campanhas de levantamento das degradações superficiais de dos pavimentos das pistas de dois aeroportos de Cabo Verde (Aeroporto Internacional Amílcar Cabral na ilha do Sal e Aeroporto Internacional Aristides Pereira na ilha da Boavista), estavam disponíveis os dados de levantamento das degradações superficiais do pavimento da pista 03-21 do AIAP para tratamento, estes dados foram usados no desenvolvimento do caso de estudo apresentado neste capítulo.

4.2. Localização e caracterização do Aeroporto Internacional Aristides Pereira

A República de Cabo Verde é um país insular situado no Oceano Atlântico, entre as latitudes 14° 23' e 17° 12' Norte e as longitudes 22° 40' e 25° 22' Oeste, aproximadamente a 450 km da costa ocidental Africana. O arquipélago é constituído por 10 ilhas das quais 9 são habitadas, possuindo uma superfície de território de 4033 km², como mostra a Figura 4.1(ver Figura 4.1)(Lima, 2016).

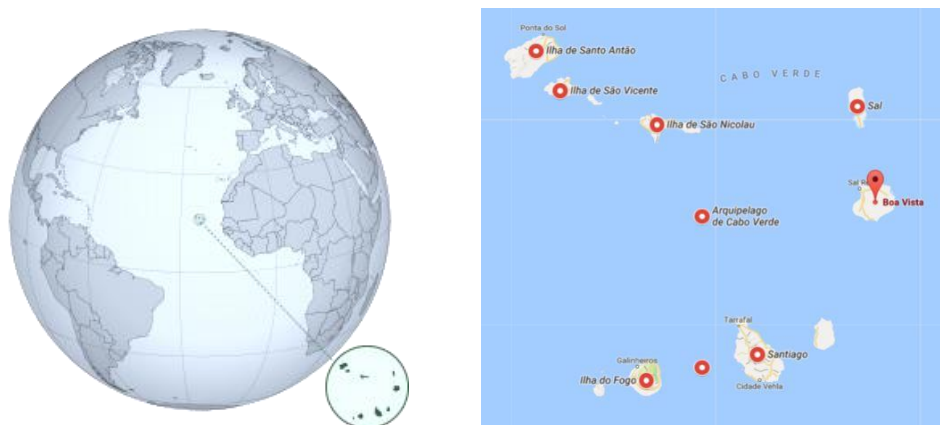


Figura 4.1 - Localização Geográfica da República de Cabo Verde.

Visto que a acessibilidade entre ilhas e com outros países é essencial, o país possui atualmente um complexo aeroportuário constituído por quatro aeroportos e três aeródromos.

O Aeroporto Internacional Aristides Pereira (AIAP) localiza-se na localidade de Radil, situada a cerca de cinco quilómetros a sudeste da capital da ilha da Boavista, Sal Rei (ver a Figura 4.2). O aeroporto possui dois códigos de identificação, GVBA segundo a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) e BVC segundo a *International Air Transport Association* (IATA).

O AIAP é um dos aeroportos mais utilizados de Cabo Verde devido à principal atividade da ilha, o turismo. É o terceiro aeroporto mais movimentado do país, tendo verificado nos últimos anos um crescimento significativo do tráfego de aeronaves, o que justifica a implementação de um SGPA e consequentemente a avaliação do estado dos seus pavimentos.



Figura 4.2 - Localização do Aeroporto Internacional Aristides Pereira na Ilha da Boavista, Cabo Verde.

O aeroporto tem a capacidade de receber aeronaves do tipo 4D de acordo com a classificação ICAO (ICAO, 2009) e possui como ajudas à navegação o NDB (*Non-Directional Beacon*) e o PAPI (*Precision Approach Path Indicator*). Em termos de serviços de salvamento e combate de incêndio, o aeroporto está dentro da categoria 7 (Silva, 2013).

O Edifício Terminal do aeroporto tem cerca de 6500 m² de área e capacidade para processar cerca de 500 passageiros por hora em operações mistas de partidas e chegadas (Silva, 2013).

O AIPA possui uma pista de designação 03-21, com 2100 m de comprimento e 45 m de largura, constituída por pavimento flexível. No entanto, antes da sua passagem a Aeroporto Internacional em 2007, o Aeroporto da Boavista era um Aeródromo cuja pista media 1200 m de comprimento por 30 m de largura. Assim sendo, a pista original foi expandida para a pista atual, tendo sido alongada em 280 m na cabeceira 03 e em 600 m na cabeceira 21. Em largura foi aumentada 7,5 m para cada lado da pista.

O aeroporto possui ainda duas plataformas de estacionamento, a plataforma D com capacidade para suportar aeronaves até 20 toneladas, utilizada para estacionamentos de longa duração (*'night-stop'*) e sem posições específicas de estacionamento e a plataforma C, com configuração de estacionamento "*nose-In*" e capacidade para estacionamento de 5 aeronaves (3 aeronaves "*narrow body*" e 2 aeronaves "*wide body*") (Silva, 2013).

A Figura 4.3 apresenta a planta do "Lado Ar" do Aeroporto Internacional Aristides Pereira (Anexo I).

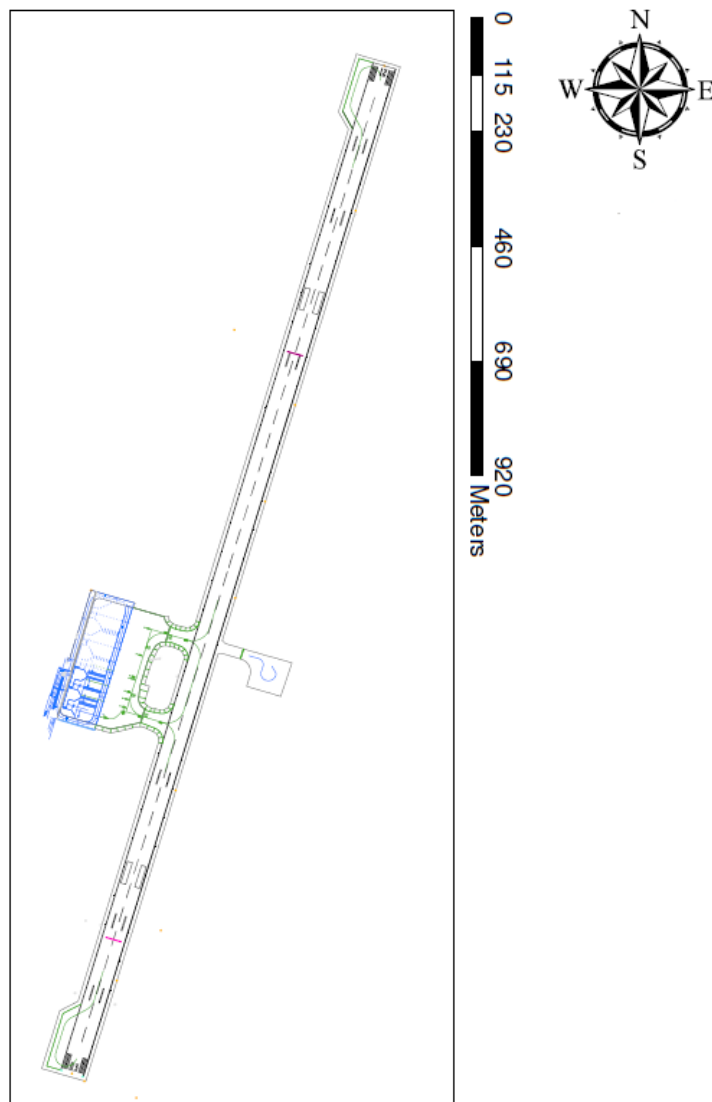


Figura 4.3 - Planta “Lado Ar” do AIAP.

4.3. Segmentação da Pista

Um dos passos iniciais para avaliar a qualidade dos pavimentos através do método do PCI é a segmentação da rede de pavimentos.

Na análise efetuada foi atribuído o código BVC à rede de pavimentos de AIAP, tendo-se analisado um único ramo, designado por R03 (Runway), que corresponde à pista 03-21. O ramo foi dividido em cinco secções (A, B, C, D e E) com base nas diferentes zonas identificadas na pista (sem consideração das bermas). Assim, a secção A corresponde aos primeiros 280 m junto à cabeceira 03, a secção C corresponde à pista original (1200 m por 30 m), a Secção E aos restantes 600 m junto à cabeceira 21, e as secções B e D aos alargamentos transversais de 7,5 m. A Figura 4.4 (e em pormenor no Anexo II) apresenta a segmentação do ramo R03 do AIAP.

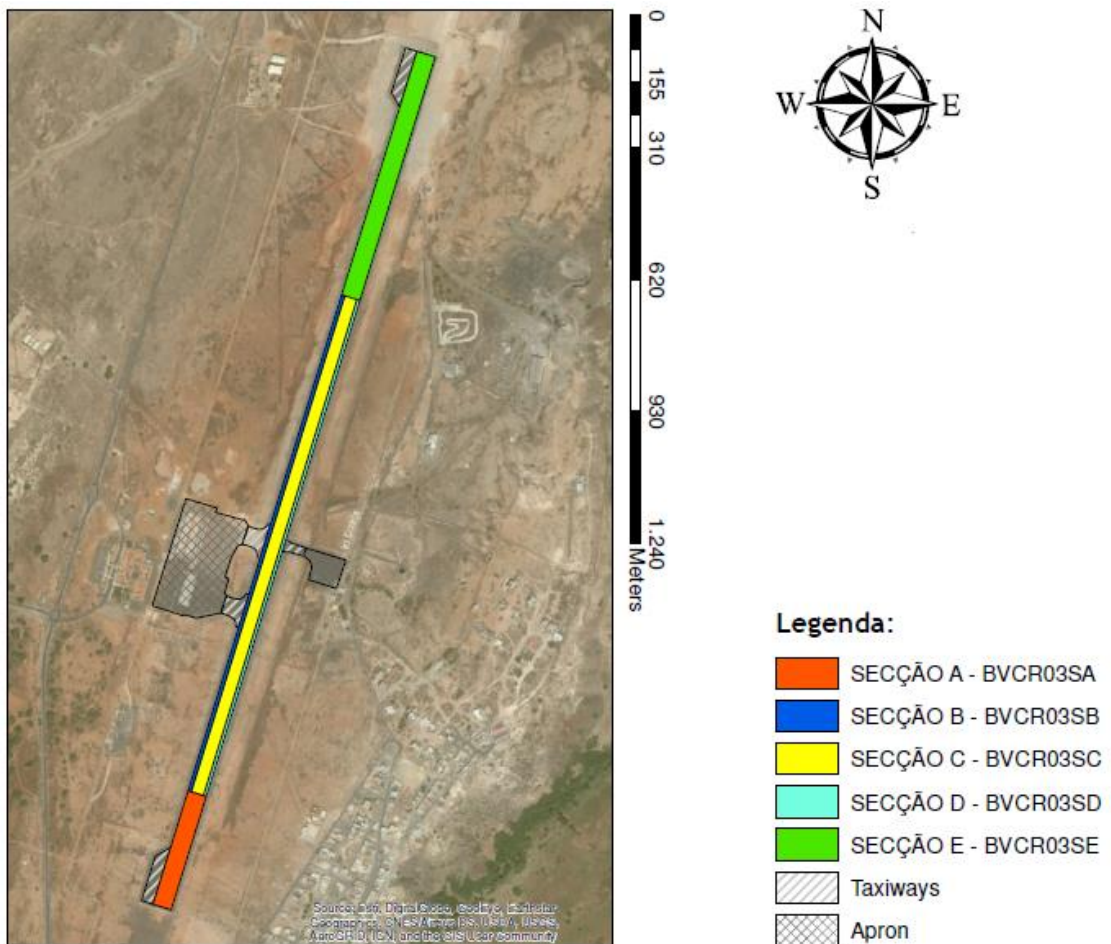


Figura 4.4 - Segmentação da pista 03-21 do Aeroporto Internacional Aristides Pereira (Boavista - Cabo Verde).

Na segmentação das secções em unidades de amostra e para facilitar o levantamento das degradações, decidiu-se dividir a pista em 10 corredores longitudinais, os corredores junto as bermas tem 2,5 m de largura e os restantes 5 m. Tentou-se criar unidades de amostra com uma área de 500 m², no entanto não foi possível, podendo haver unidades de amostra com áreas a variar entre os 395 m² e 605 m² para as diferentes zonas da pista (ver Figura 4.5 e Tabela 4.1)

Tabela 4.1 - Numeração das unidades de amostra analisadas e respetivas áreas.

Secção A		Secção B		Secção C		Secção D		Secção E	
nº UA	Área	nº UA	Área	nº UA	Área	nº UA	Área	nº UA	Área
4	500,2	2	500,2	3	500,2	1	500,2	2	500,2
6	500,2	4	500,2	8	500,2	3	500,2	6	500,2
8	500,2	6	500,2	13	500,2	5	500,2	10	500,2
10	348,9	8	500,2	18	500,2	7	500,2	14	500,2
12	500,2	10	500,2	23	500,2	9	500,2	18	500,2
14	500,2	12	500,2	28	500,2	11	500,2	22	500,2
16	500,2	14	500,2	33	500,2	13	500,2	26	500,2
18	500,2	16	552,7	38	500,2	15	500,2	30	500,2
20	348,9	18	605,2	43	500,2	17	605,2	34	500,2
22	395,2			48	500,2			38	500,2
24	395,2			53	500,2			42	500,2
				58	500,2			46	500,2
				63	500,2			50	500,2
				68	605,24				

4.4. Levantamento e tratamento de dados

Antes de iniciar a inspeção ao estado do pavimento, foi determinado segundo a norma ASTM D 5340-12 o número mínimo de unidades de amostra a analisar por secção para que o cálculo do PCI fosse representativo a um nível de confiança de 95% (Exp. 2.1) e o espaçamento a considerar entre unidades de amostra. A Tabela 4.2 apresenta o número de unidades de amostra por secção, amostragem e espaçamento entre unidades de amostra, considerados no presente caso de estudo.

Tabela 4.2- Número de unidades de amostra por secção, amostragem e espaçamento entre U.A.

Ramo	Secção	Localização	Área [m ²]	Nº de Unidades de Amostra (N)	Amostragem (n)	Espaçamento (i)
R03	A	Cabeceira 03	12600	28	11	2
	B	Zona central (Noroeste)	9000	18	9	2
	C	Zona central	36000	72	14	5
	D	Zona central (Sudeste)	9000	18	9	2
	E	Cabeceira 21	27000	54	13	4

Depois de determinar o número mínimo de unidades de amostra a analisar foi atribuído um identificador único a todas as unidades de amostra de cada secção como pode ser observado no exemplo da Figura 4.5.

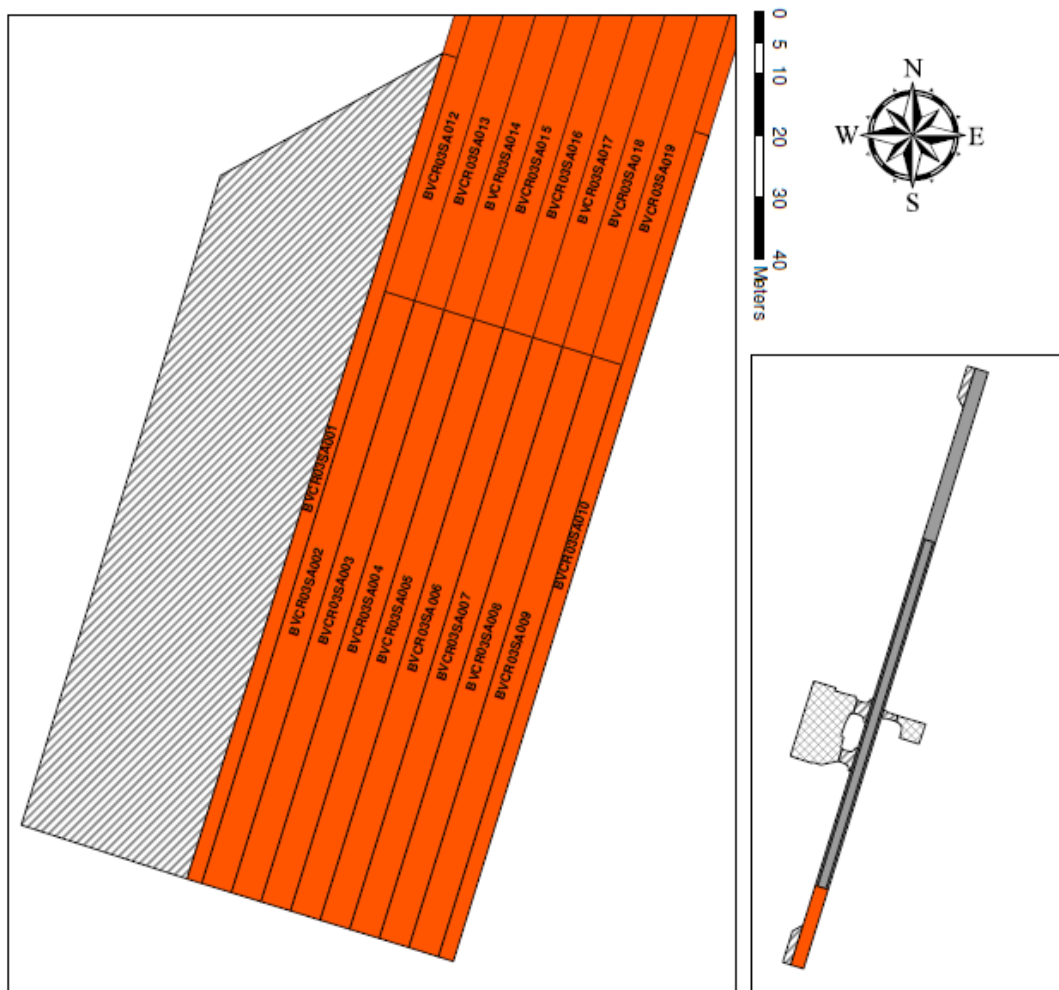


Figura 4.5 - Numeração das unidades de amostra, exemplo da Seção A.

No Anexo III encontra-se a representação da pista com a localização de todas as unidades de amostra a examinar.

4.4.1. Levantamento do estado do pavimento

O levantamento das degradações existentes à superfície do pavimento foi realizado em veículo com recurso a um protótipo equipado com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação. Foram feitas duas campanhas de levantamento, uma no período noturno, para levantamento das degradações do tipo: ondulações, depressões, rodeiras e empolamentos, e outra no período diurno, para levantamento das restantes degradações superficiais (pele de crocodilo, exsudação, fendas cruzadas, erosão “jet-blast”, fendas de reflexão, polimento de agregados, fendas longitudinais e transversais, derrame de óleo e outros solventes, escorregamento lateral, reparações e cortes técnicos, desagregação superficial dos agregados, fendas em “meia-lua” e desagregação superficial dos masticque).

A inspeção realizada em veículo com recurso a protótipo equipado com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação teve como principal objetivo inovar no sistema de levantamento das degradações existentes nos pavimentos flexíveis aeroportuários. O desenvolvimento do protótipo usado teve por base estudos anteriores e um protótipo desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da UBI para levantamento de degradações superficiais de pavimentos rodoviários (Lima, 2016) (Maganinho, 2013).

Este procedimento foi realizado por uma equipa do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da UBI em parceria com ASA - Aeroportos Segurança Aérea S.A. de Cabo Verde, que é a entidade responsável pela gestão dos aeroportos em Cabo Verde. As campanhas de levantamento foram realizadas ao longo dos dias 1, 2 e 3 de junho de 2016, querendo isto dizer que os dados recolhidos são recentes e válidos.

O sistema do protótipo é composto pelos seguintes equipamentos:

- 1 estrutura metálica para fixar o equipamento de captação de imagem;
- 1 câmara de vídeo *Garmin Elite* para captação de imagem;
- 2 feixes laser de 20 mW, posicionados horizontal e transversalmente ao sentido de marcha do veículo de inspeção;
- 2 recetores GPS Dupla Banda (Trimble 4000SSi);
- 1 recetor de GPS GIS (Trimble GeoXT);
- 1 recetor de GPS USB;
- 1 computador portátil;
- 1 veículo do tipo *pick up*.

O protótipo é constituído por uma estrutura metálica com o equipamento de captação de imagem fixado na carroçaria do veículo de inspeção e por feixes laser fixados na zona inferior traseira do veículo, centrados em relação à câmara. Um dos recetores foi mantido estático como referência durante os levantamentos para a recolha de informação, e o outro recetor GPS foi fixado no tejadilho do veículo de inspeção para levantamento cinemático de dados de georreferenciação (ver Figura 4.6)(Lima, 2016).



Figura 4.6 - Equipamentos e a sua disposição no veículo usados no levantamento dos pavimentos.

A deformação da projeção dos feixes laser visualizada no registo de imagem permitiu identificar as degradações do tipo ondulação, rodeiras, depressões e empolamento. As restantes degradações dos pavimentos flexíveis são identificadas diretamente por visualização do registo de imagem.

Concluída a inspeção obteve-se um conjunto de informações, imagens e dados de georreferenciação, que depois de transferidas para um projeto de SIG permitiram visualizar a superfície do pavimento a analisar.

4.4.2. Tratamento dos dados

O tratamento dos dados iniciou-se com a georreferenciação das imagens obtidas no levantamento com veículo. Os passos seguidos na georreferenciação foram idênticos aos adotados por Lima (2016) no tratamento dos dados recolhidos na pista 01-19 do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral, na ilha do Sal (Lima, 2016):

- Converteu-se os dados provenientes do GPS Trimble 4000SSi que apresentavam o formato do proprietário no formato *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX), utilizando o *software* TEQC da UNAVCO;
- Os ficheiros em formato *RINEX* foram carregados e processados no *website Natural Resources Canada*, uma vez que disponibiliza um software online para *Precise Point Positioning* (PPP), livre e de fácil acesso, independente do fabricante do GPS. Utilizou-

se o processamento cinemático para corrigir as trajetórias e o sistema de coordenadas globais *Internacional Terrestrial Reference Frame* (ITRF). Para aumentar a precisão dos dados de georreferenciação aguardou-se 15 dias pela publicação das orbitas finais antes de fazer o processamento. O sistema permitiu ainda fazer a correção do efeito das marés, já que o levantamento foi efetuado numa ilha, com o oceano muito próximo, o que afeta o posicionamento;

- Os ficheiros ITRF foram depois convertidos para o sistema de coordenadas cartesianas WGS84 UTM zona 27 Norte, fuso em que se encontra localizada a República de Cabo Verde;
- As imagens recolhidas foram extraídas dos ficheiros vídeo gerados nas campanhas de levantamento e, posteriormente, ajustadas às coordenadas corrigidas.

Depois da georreferenciação das imagens recolhidas, estes dados foram transferidos para um projeto de ArcGis® 10. Para cada unidade de amostra a analisar foram carregadas as imagens correspondentes ao levantamento, este processo foi realizado tanto para as imagens diurnas como para as noturnas.

De seguida, com o auxílio das ferramentas disponíveis no ArcGIS® e segundo as indicações da norma ASTM D 5340-12, procedeu-se à identificação e definição dos níveis de gravidade das degradações presentes à superfície do pavimento em cada unidade de amostra, tendo-se também medindo o comprimento ou a área afetada por cada tipo de degradação.

Para registo da informação identificada e medida no SIG foram criadas *shapefiles* do tipo linha ou polígono em função do tipo de degradação e da forma de medição dos locais afetados (área ou comprimento). Na tabela de atributos de cada *shapefile* foram criados os seguintes campos:

- Código: código da unidade de amostra em análise;
- Área_m2 (Área) ou Comp_m (Comprimento): dependente do tipo de medição da degradação;
- NG (nível de gravidade): nível de gravidade da degradação observada, sendo as opções possíveis para registo B (Baixo), M (Médio) ou A (Alto);
- Obs. (observações): para registrar alguma informação relevante identificadas na fase de tratamento dos dados.

Ao longo do tratamento dos dados do levantamento diurno surgiram diversas dificuldades, sendo a mais relevantes a dificuldade na identificação e diferenciação entre a desagregação superficial dos agregados e a desintegração do masticue, assim como, na classificação dos níveis de gravidade destes dois tipos de degradações. A verificação desta situação deve-se

essencialmente ao posicionamento da câmara no veículo de inspeção, visto que não permite ter uma percepção clara da textura/rugosidade da superfície do pavimento, e às mudanças de tonalidade das imagens provocadas pela distorção da câmara.

Quanto ao tratamento dos dados do levantamento noturno, as maiores dificuldades estão relacionadas com: a interpretação da projeção dos feixes laser devido às alterações na projeção induzidas pelas marcações do pavimento, dificultando a identificação de degradações do tipo ondulações.; a análise ao pormenor das zonas de transição entre a pista e as placas de estacionamento devido à maior probabilidade de ocorrência de rodeiras, empolamento e depressões provocada pelo tráfego;

Depois de analisadas todas as unidades de amostra, as informações recolhidas foram transferidas para folhas de cálculos MS Excel, uma para cada unidade de amostra, de forma a determinar o PCI (ver Figura 4.7).

Cálculo do PCI - BVCR03SA004			
Ramo:	R03	Secção:	A U. A.: 4

Area da Unidade de Amostra= 500 [m2]

Tipo de Degradação	N. G.	Quantidade					Obs.:	Total	Densidade [%]	VD (Ábacos)	VD Ordenado
1. Pele de Crocodilo	L							0	0		35,9
	M							0	0		17,3
	H							0	0		15,8
2. Exudação								0	0		9,3
3. Fendas Cruzadas	L							0	0		
	M							0	0		
	H							0	0		
4. Ondulação	L							0	0		
	M							0	0		
	H							0	0		
5. Depressões	L							0	0		
	M							0	0		
	H							0	0		
6. Erosão " Jet-Blast"								0	0		
7. Fendas de Reflexão	L							0	0		
	M							0	0		
	H							0	0		
8. Fendas Long e Trans.	L	100						100	20,00	17,3	
	M							0	0		
	H							0	0		
9. Derrame de óleo, combustível ou outros solventes								0	0		
10. Reparações e Cortes técnicos	L							0	0		
	M							0	0		
	H							0	0		
11. Polimento de Agregados								0	0		
12. Desagregação Superficial dos Agregados	L							0	0		
	M							0	0		
	H							0	0		
13. Rodeiras	L							0	0		
	M							0	0		
	H	6,24						6,24	1,25	35,9	
14. Escorregamento Lateral	L							0	0		
	M							0	0		
	H							0	0		
15. Fendas de " Meia-Lua"								0	0		
16. Empolamento	L							0	0		
	M	5,09	2,83					7,92	1,58	15,8	
	H							0	0		
17. Desagregação Superficial do Mastique	L							0	0		
	M	36,72	6,76	45,44	2,95			91,87	18,37	9,3	
	H							0	0		

Figura 4.7 - Exemplo folha de cálculo de registo de informação para determinação do PCI.

O cálculo do PCI para cada unidade de amostra seguiu a metodologia da norma ASTM D5340-12, exposta anteriormente no ponto 2.5. As Figura 4.7 e 4.8 mostram um exemplo do cálculo do valor do PCI para a unidade de amostra número 4 da secção A.

HDV =	51	Valor máximo de VD
m =	5,64	
Fracção Decimal =	0,64	
DV's =	5	

#	1	2	3	4	5	6	7	Total	q	CDV
1	35,9	17,3	15,8	9,3				78,3	4	40
2	35,9	17,3	15,8	5				74	3	45
3	35,9	17,3	5	5				63,2	2	42
4	35,9	5	5	5				50,9	1	51
5										
6										
7										

Max CDV= 51
 PCI = 100 - Max CDV = 49

Classificação : **Mau**

Figura 4.8 - Exemplo do cálculo do PCI da unidade de amostra 4 na secção A (BVCR03SA004).

4.5. Resultados e Discussão

4.5.1. Pavement Condition Index - PCI

Com base no tratamento dos dados recolhidos a partir da inspeção efetuada com veículo, os resultados obtidos no cálculo do PCI para as unidades de amostra por secção são apresentados nos gráficos das Figuras 4.9, 4.11, 4.13, 4.15 e 4.17. No Anexo IV apresenta-se a representação gráfica dos resultados do PCI para todas as unidades de amostra inspeccionadas.

Foram também criados histogramas para representar a frequência dos valores de PCI nos intervalos definidos pela norma utilizada (Falha estrutural, Seriamente danificado, Muito mau, Mau, Razoável, Bom e Muito Bom). Estes são apresentados nas Figuras 4.10, 4.12, 4.14, 4.16 e 4.18.

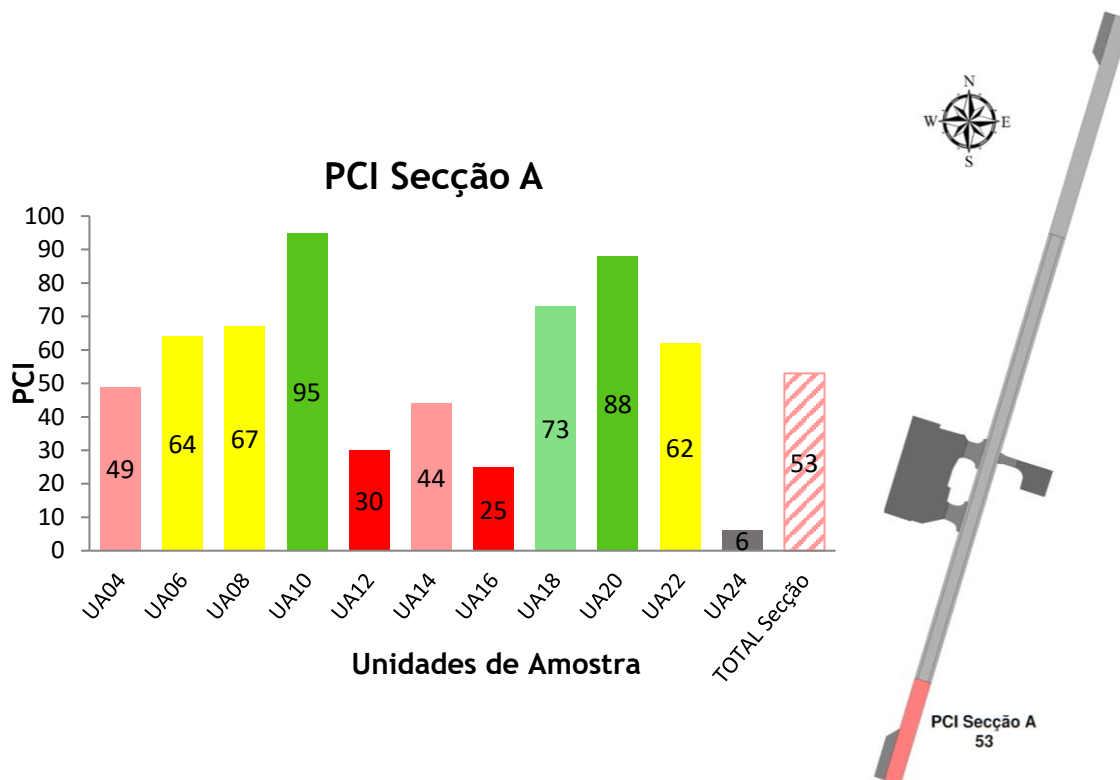


Figura 4.9 - Valores de PCI para as unidades de amostra seleccionadas na secção A (Cabeceira 03).

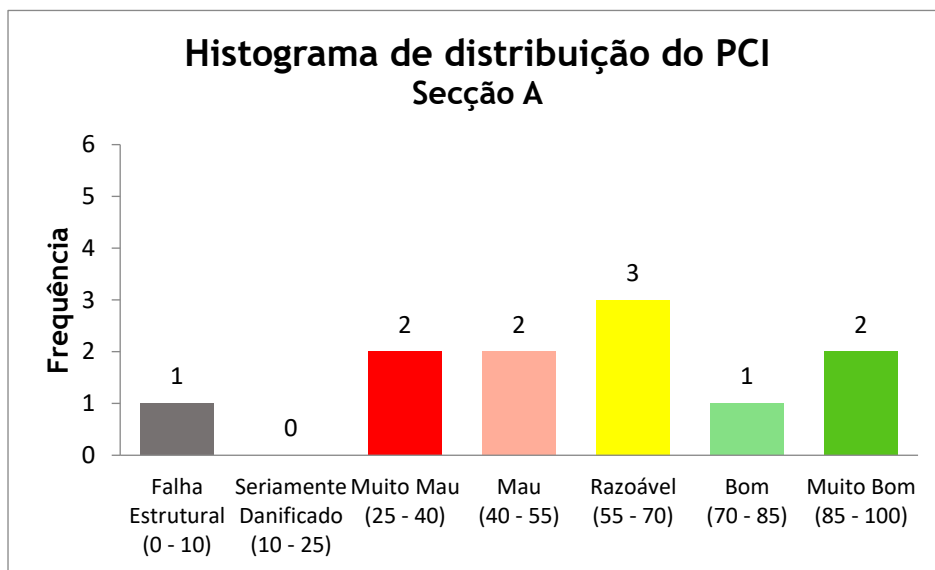


Figura 4.10 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra seleccionadas na secção A.

Na seção A verificou-se alguma disparidade entre os valores de PCI aferidos para as unidades de amostra analisadas. Isto deve-se sobretudo ao facto da Cabeceira 03 da pista ser a mais utilizada, tanto para o posicionamento para a descolagem como para a aterragem das aeronaves. Observa-se ainda que o valores mais baixos de PCI foram obtidos para a unidades de amostra localizadas no lado esquerdo e na zona central da secção, o que é coerente, pois são as zonas mais solicitadas devido à passagem das aeronaves para descolagem e aterragem, enquanto que a zona mais à direita apresenta melhores resultados do PCI.

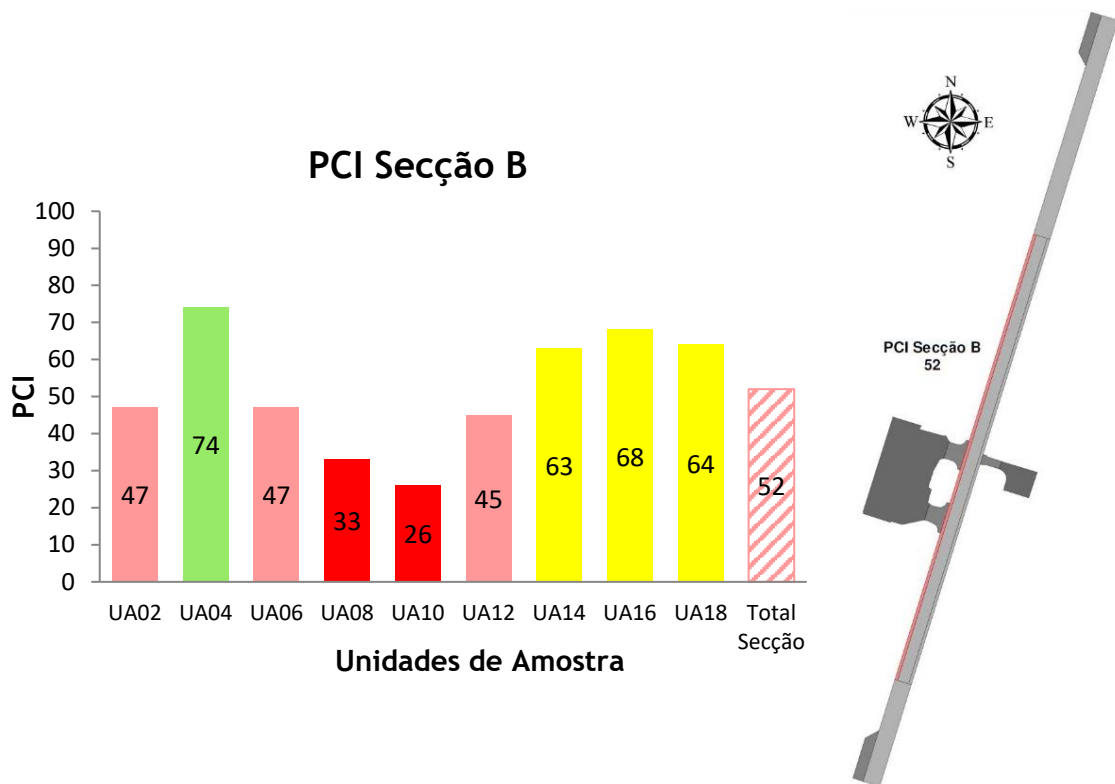


Figura 4.11 - Valores de PCI para as unidades de amostra seleccionadas na secção B (Lateral Esquerda).

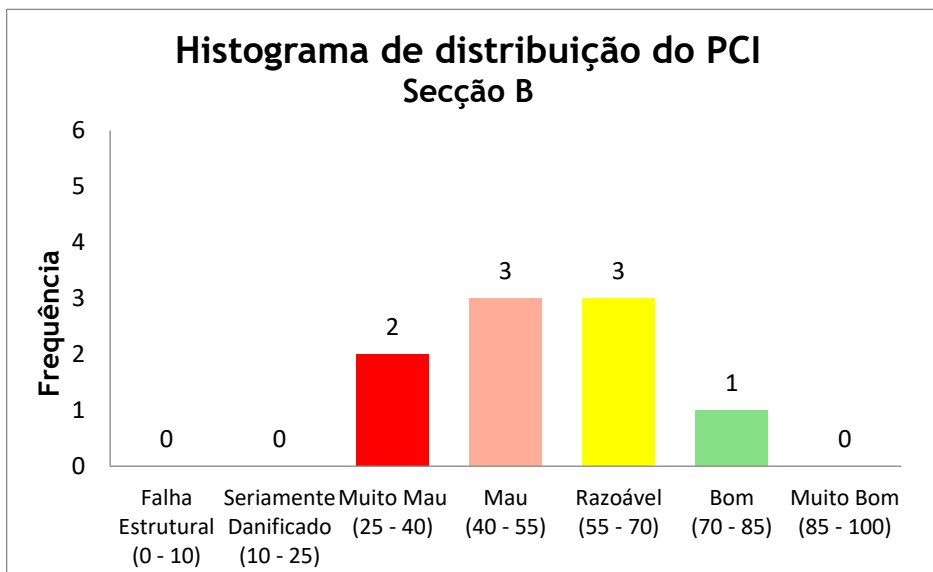


Figura 4.12 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra seleccionadas na secção B.

Relativamente à secção B, é possível observar que cerca de metade das unidades de amostra se encontram em mau e muito mau estado, o que se deve à proximidade destas com as placas de estacionamento. Já as restantes unidades de amostra apresentam valores de PCI mais elevado, pois estão cada vez mais afastadas da zona de entrada/saída das placas de estacionamento e estão localizadas na extremidade esquerda da pista, que geralmente não está sujeita às ações do tráfego.

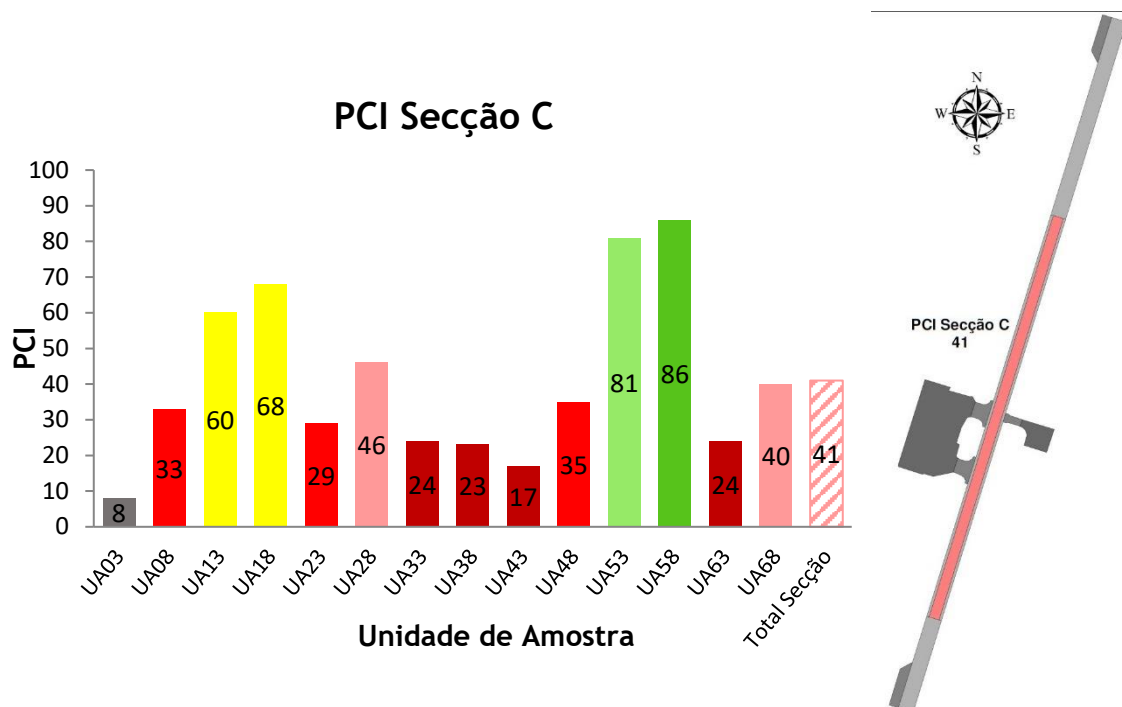


Figura 4.13 - Valores de PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção C (Central).

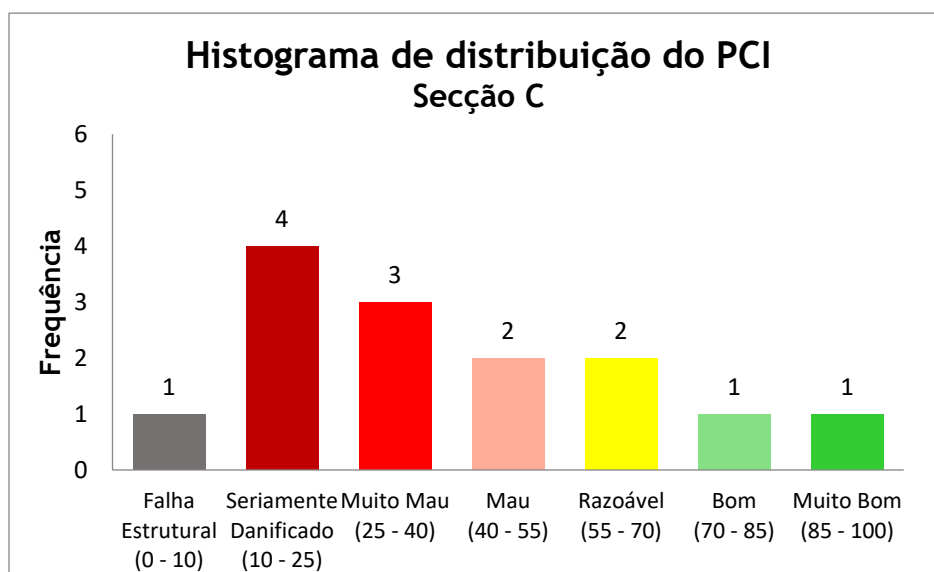


Figura 4.14 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção C.

Quanto à secção C, é possível constatar que é a secção mais degradada das cinco consideradas. As unidades de amostra apresentam valores de PCI em todos os intervalos da escala do PCI, no entanto, a maioria destes estão concentrados nos intervalos “Seriuamente Danificado” e “Muito Mau”. Estes resultados traduzem a concentração de solicitações que se verificam nesta secção, uma vez que é onde incide a maior parte das ações do tráfego (aterragem, descolagem e circulação para as placas de estacionamento). As unidades de amostra com melhores resultados encontram-se na extremidade direita da secção.

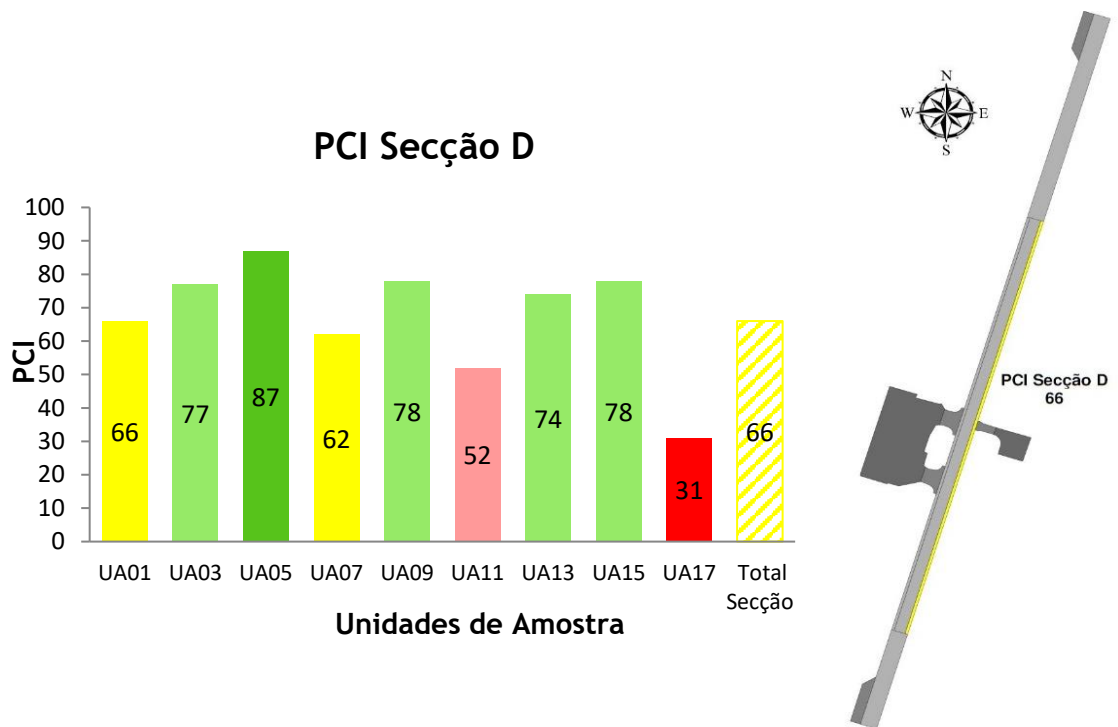


Figura 4.15 - Valores de PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção D (Lateral Direita).

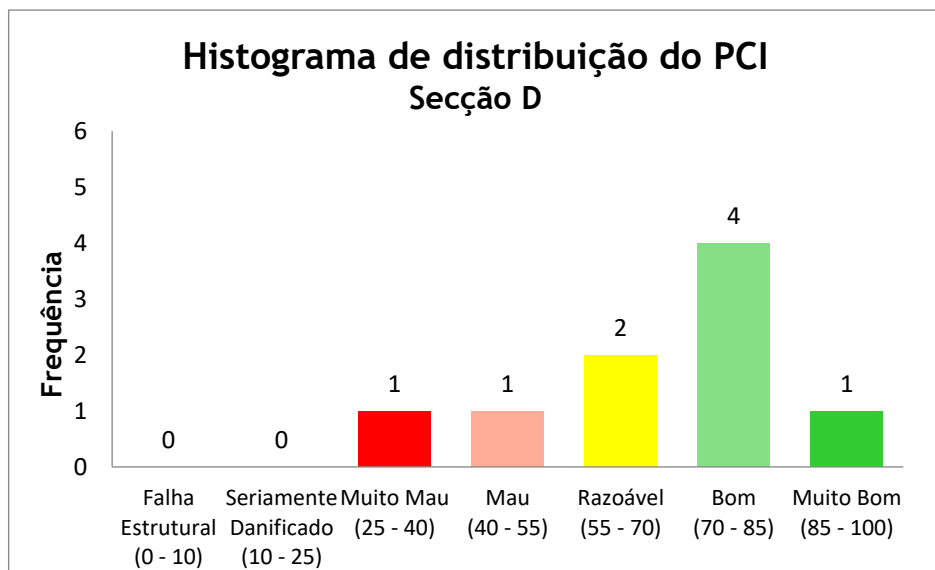


Figura 4.16 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção D.

Em relação à secção D, constatou-se que se encontra em relativamente bom estado, visto que, a maior parte das unidades de amostra se encontram no intervalo de “Bom”. As unidades de amostra mais deterioradas apresentam degradações do tipo depressões ou empolamentos, o que pode significar uma má execução na construção desta zona da pista. Trata-se de uma zona pouco solicitada em termos de tráfego de aeronaves.

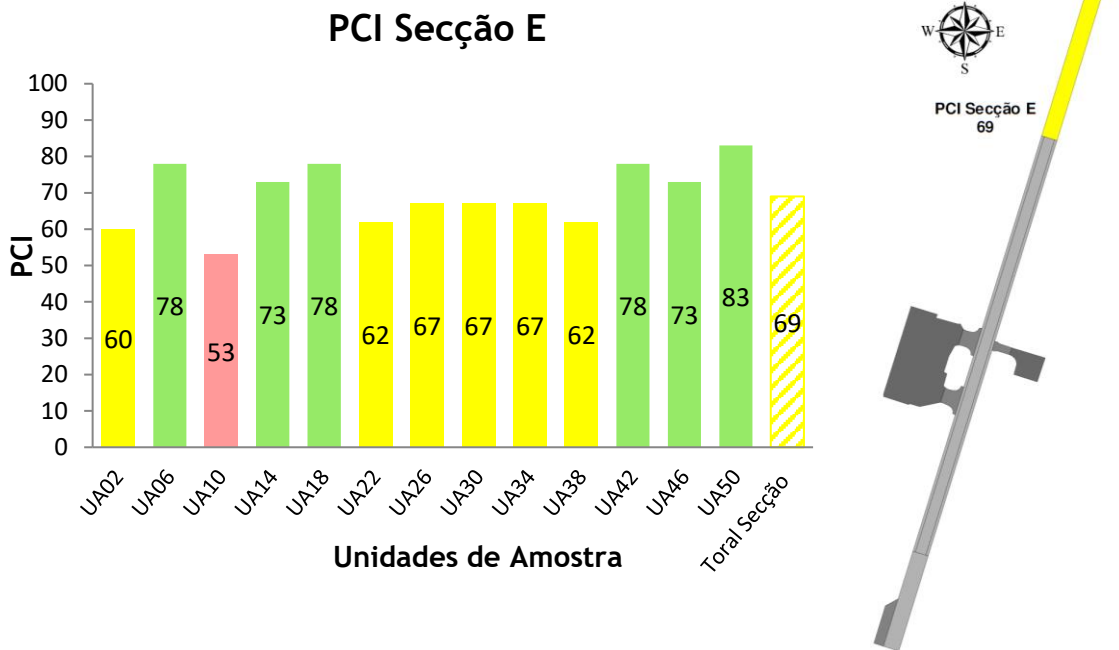


Figura 4.17 - Valores de PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção E (Cabeceira 21).

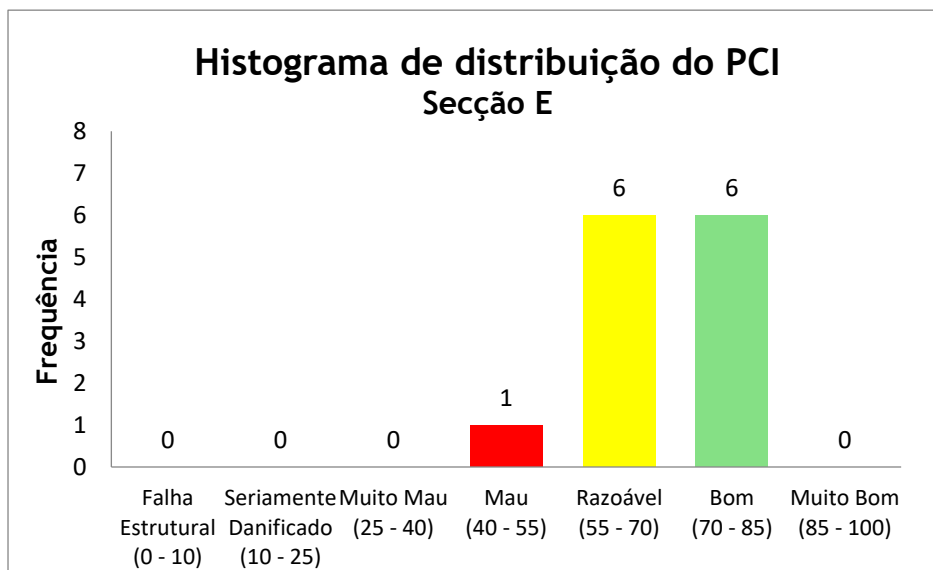


Figura 4.18 - Histograma de distribuição do PCI para as unidades de amostra selecionadas na secção E.

A secção E constitui a zona da pista menos degradada. A grande maioria das unidades de amostra apresentam valores de PCI nos intervalos de “Razoável” e “Bom”, o que já era espectável, por esta secção corresponder à Cabeceira 21, a menos utilizada das duas, visto que a maior parte das descolagens e aterragens ocorrem no sentido 03-21 da pista, para além de ser uma das zonas mais recentes da pista.

A Tabela 4.3 apresenta os valores de PCI obtidos para cada secção e o valor de PCI total da pista, calculado através da média ponderada do PCI das secções a dividir pelo total das áreas

das seções. A Figura 4.19 apresenta a planta do AIAP com a seções da pista e a respetiva classificação do PCI (ver Anexo V).

Tabela 4.3 - Resultados do valor de PCI por secção e total para a pista do AIAP.

Secção	Localização	PCI	PCI Total da Pista
A	Cabeceira 03	53	56
B	Zona central (Noroeste)	52	
C	Zona central	41	
D	Zona central (Sudeste)	66	
E	Cabeceira 21	69	

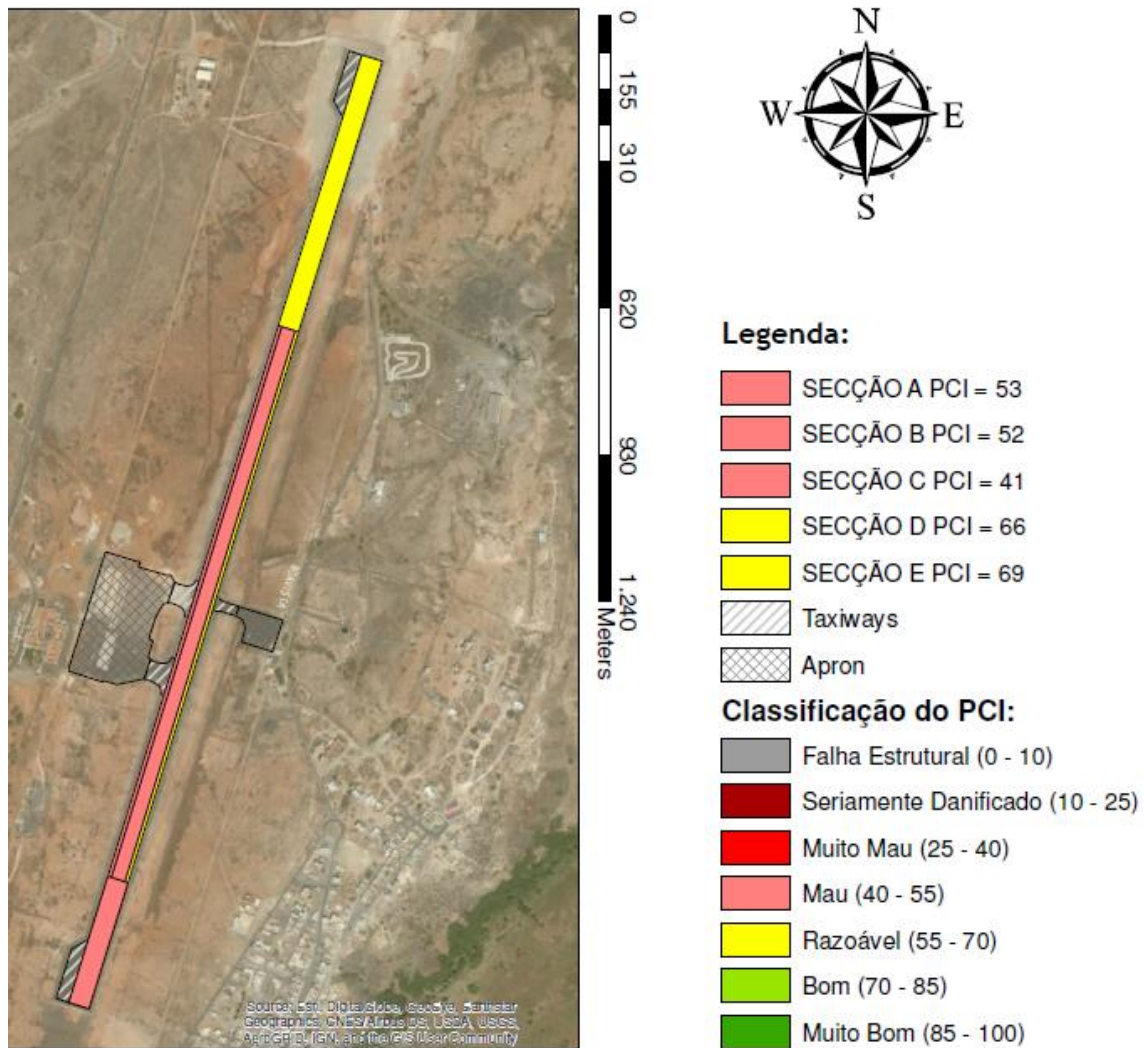


Figura 4.19 - Representação da pista do AIAP e respetivos valores de PCI para cada secção.

4.5.2. Degradações superficiais do pavimento

De forma a complementar a análise efetuada através da determinação do PCI, foi feita uma avaliação da densidade das degradações mais significativas detetadas na área analisada da pista (entendida como a percentagem de área ou comprimento afetada pelas degradações).

Ao todo foram encontrados onze dos dezassete tipos de degradações considerados no catálogo de degradações superficiais para pavimentos flexíveis da norma ASTM D 5340-12, sendo que, as mais significativas foram as seguintes: fendas longitudinais e transversais, desagregação superficial do mastique, desagregação superficial dos agregados, empolamento, rodeiras e depressões. As densidades das degradações mais significativas, por unidade de amostra inspecionada e para o total da área da pista analisada, são apresentadas nas Figuras 4.20 a 4.25. As densidades correspondentes às restantes degradações apresentam-se no Anexo VI.

É possível observar que o tipo de degradação que apresenta uma maior densidade são as fendas longitudinais e transversais, estando localizadas essencialmente nas juntas de construção do pavimento. No entanto, os níveis de gravidade identificados são essencialmente o “Médio” e “Baixo”. O facto de a pista ter sofrido uma expansão e o uso de materiais diferentes dos da pista original, assim como uma pobre execução das juntas, podem justificar a ocorrência destes problemas.

As degradações do tipo desagregação superficial dos agregados e do mastique apresentam também densidades significativas, pois afetam a maioria das unidades de amostra inspecionadas. Estas foram identificadas com um nível de gravidade elevado nas secções A e C, o que vai de encontro ao facto de estas secções serem as que estão sujeitas às ações mais severas do tráfego (manobras de descolagem e de aterragem de aeronaves).

Os empolamentos foram identificados maioritariamente nas secções B, C e D, o que pode estar relacionado com problemas ao nível da fundação (deficiente capacidade de suporte e fracas condições de drenagem), agravados em particular na secção C pelas ações do tráfego e eventual sub-dimensionamento do pavimento.

Relativamente às rodeiras observou-se que se localizam, exclusivamente, nas secções A e C, e que a maioria apresenta um nível de gravidade elevado, o que é sustentado pelo facto de estas secções estarem sujeitas às ações mais severas por parte do tráfego, nas manobras de descolagem e de aterragem das aeronaves, que implica a passagem repetitiva das rodas das aeronaves nos mesmos locais.

Quanto às depressões, verificou-se uma maior incidência nas secções B, C, D e E, apresentando na sua maioria um nível de gravidade Alto, estando relacionados com os mesmos fatores

referidos para o caso do empolamento. No entanto, a maioria das depressões são localizadas, ou seja, cada uma abrange pequenas áreas do pavimento.

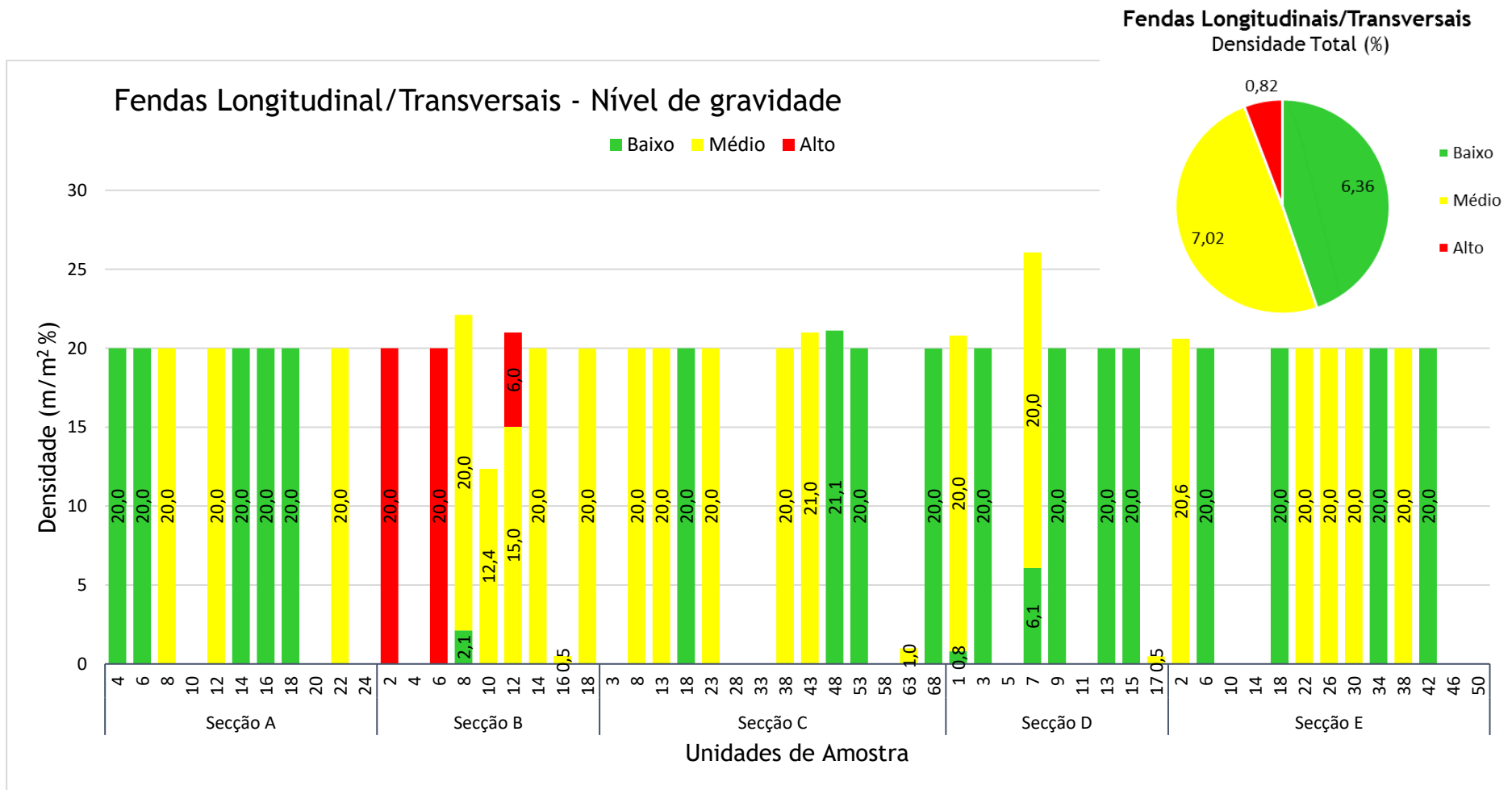
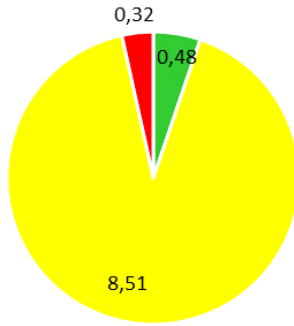


Figura 4.20 - Densidade das fendas longitudinais e transversais, por unidades de amostra inspecionadas e para o total da área da pista analisada.

Desagregação do Mastique
Densidade Total (%)



Desagregação Superficial do Mastique - Nível de gravidade

■ Baixo ■ Médio ■ Alto

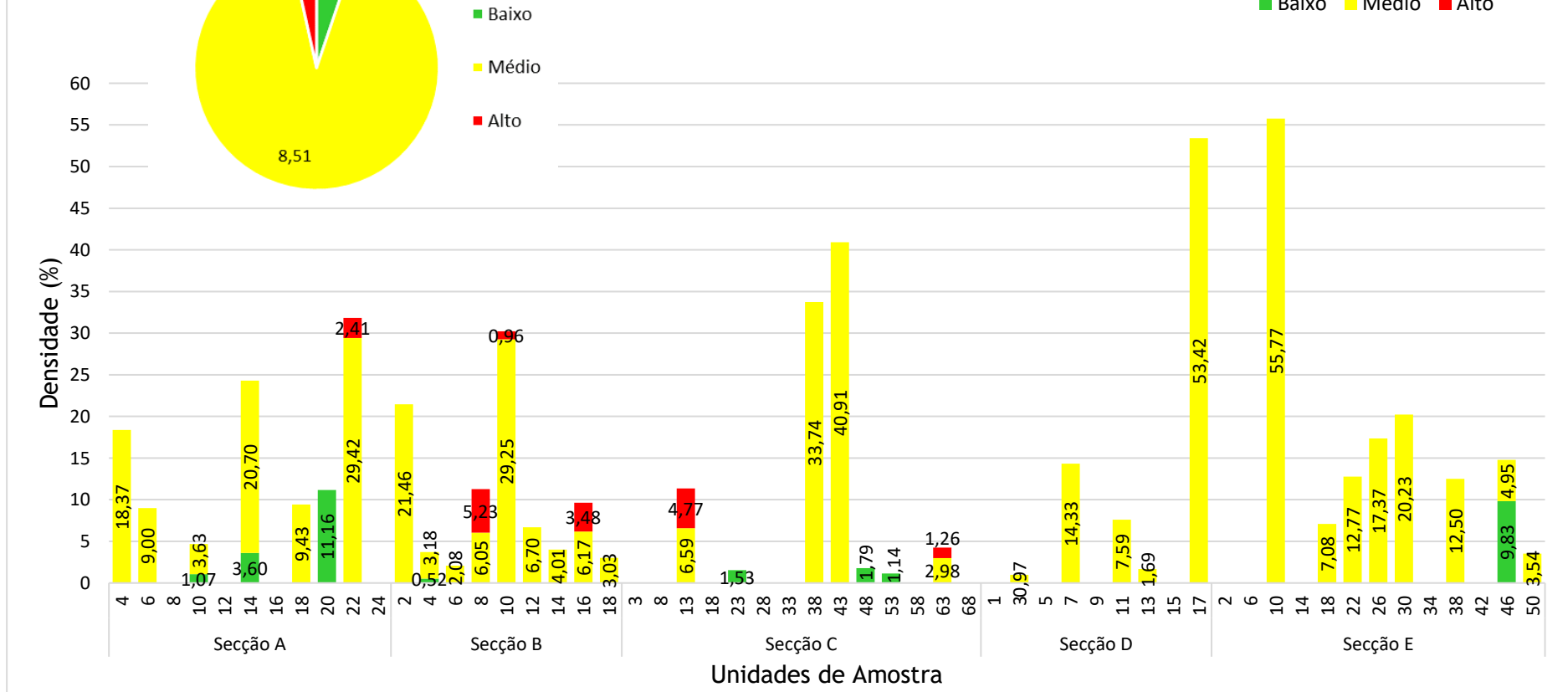


Figura 4.21 - Densidade da desagregação superficial do mastic, por unidades de amostra inspecionadas e para o total da área da pista analisada.

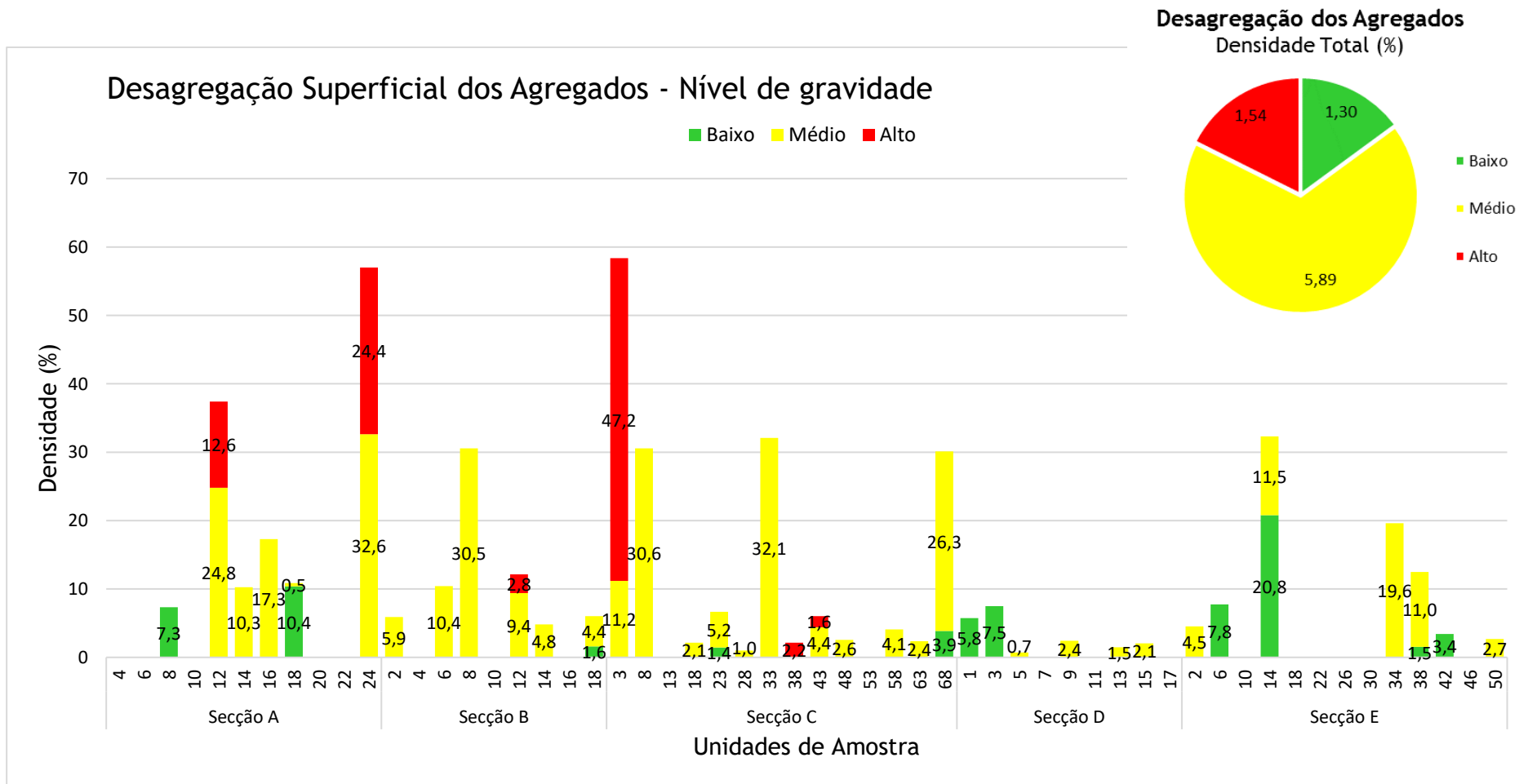


Figura 4.22 - Densidade da desagregação superficial dos agregados, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

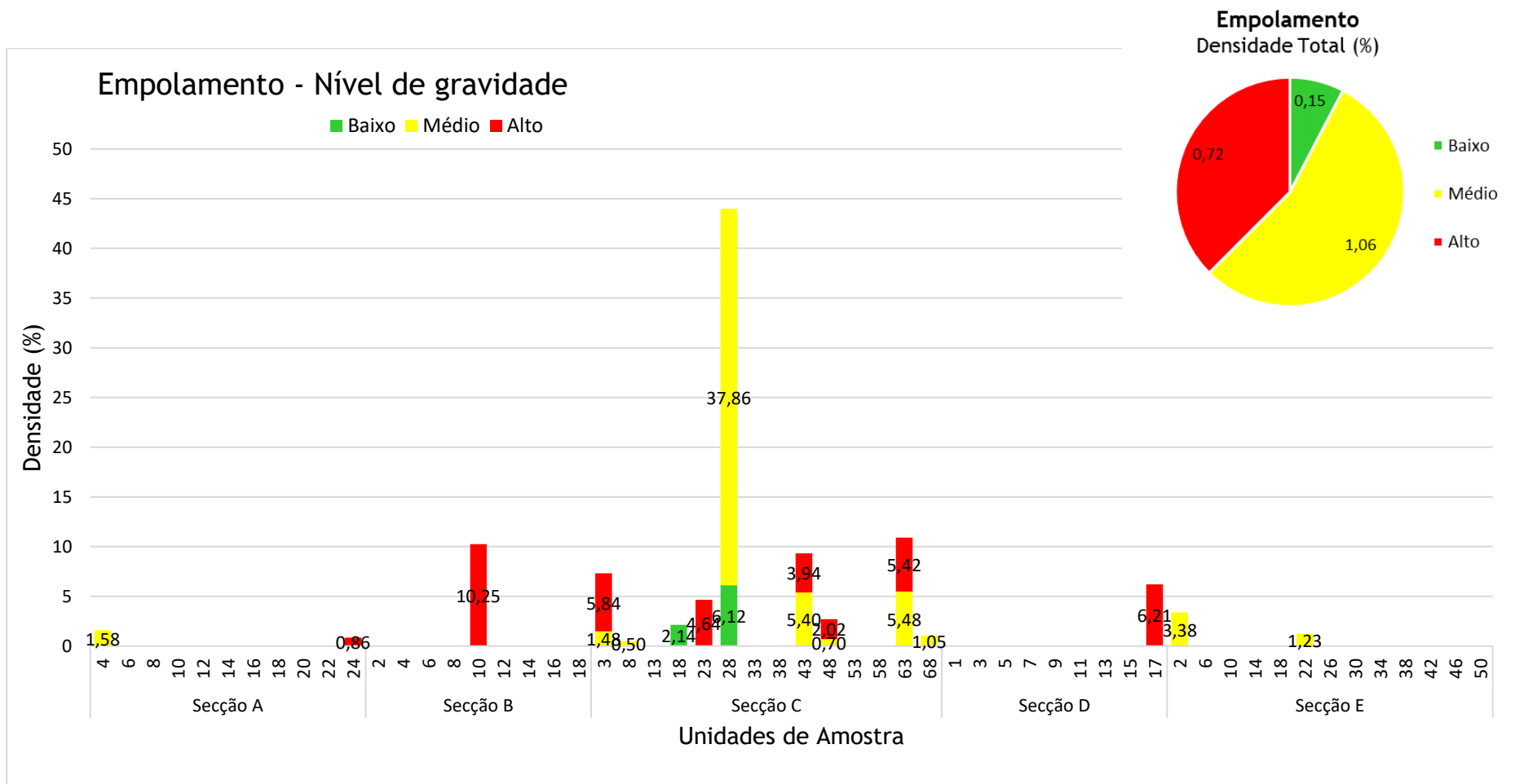


Figura 4.23 - Densidade do empolamento, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

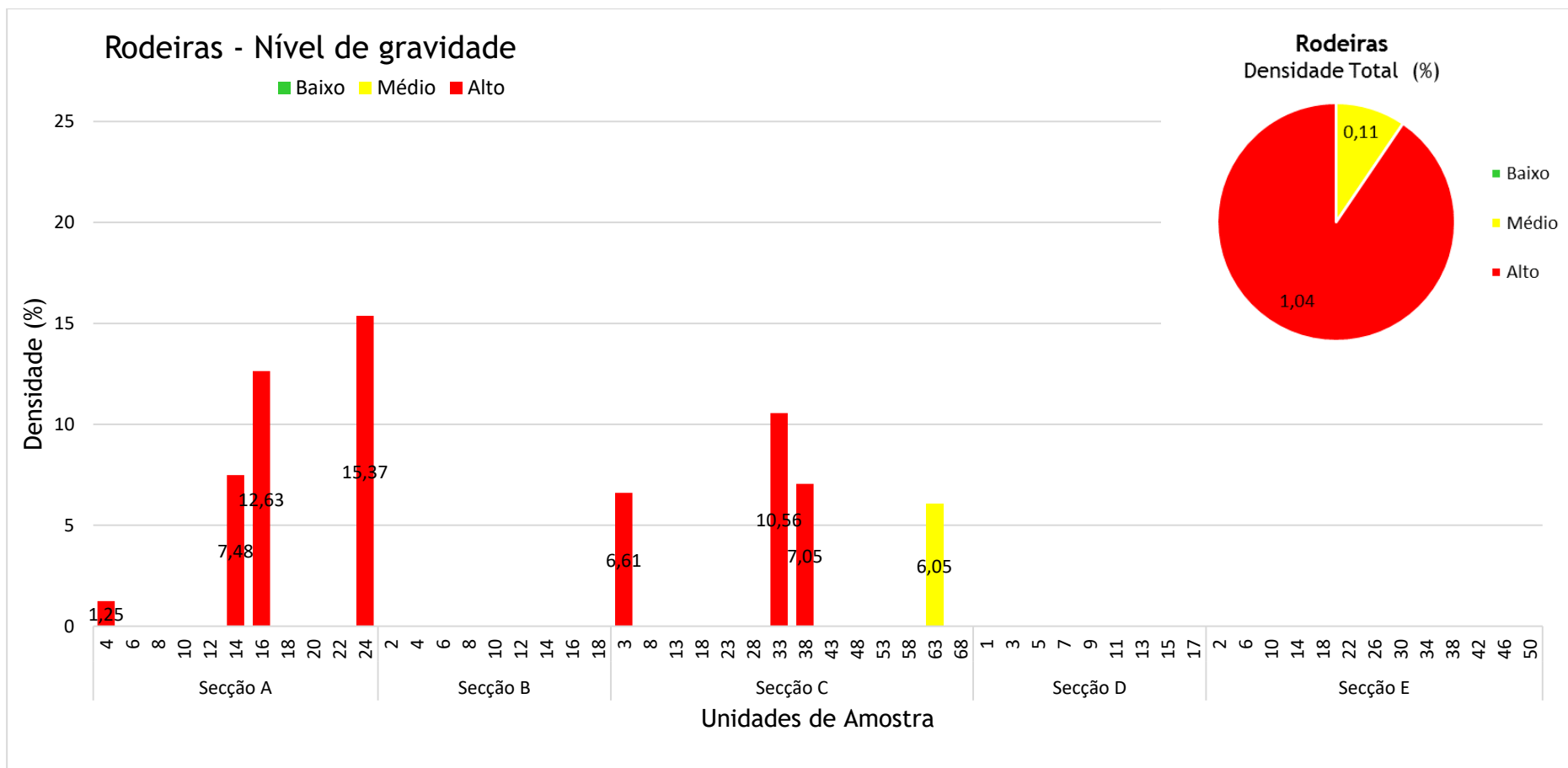


Figura 4.24 - Densidade das rodeiras, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

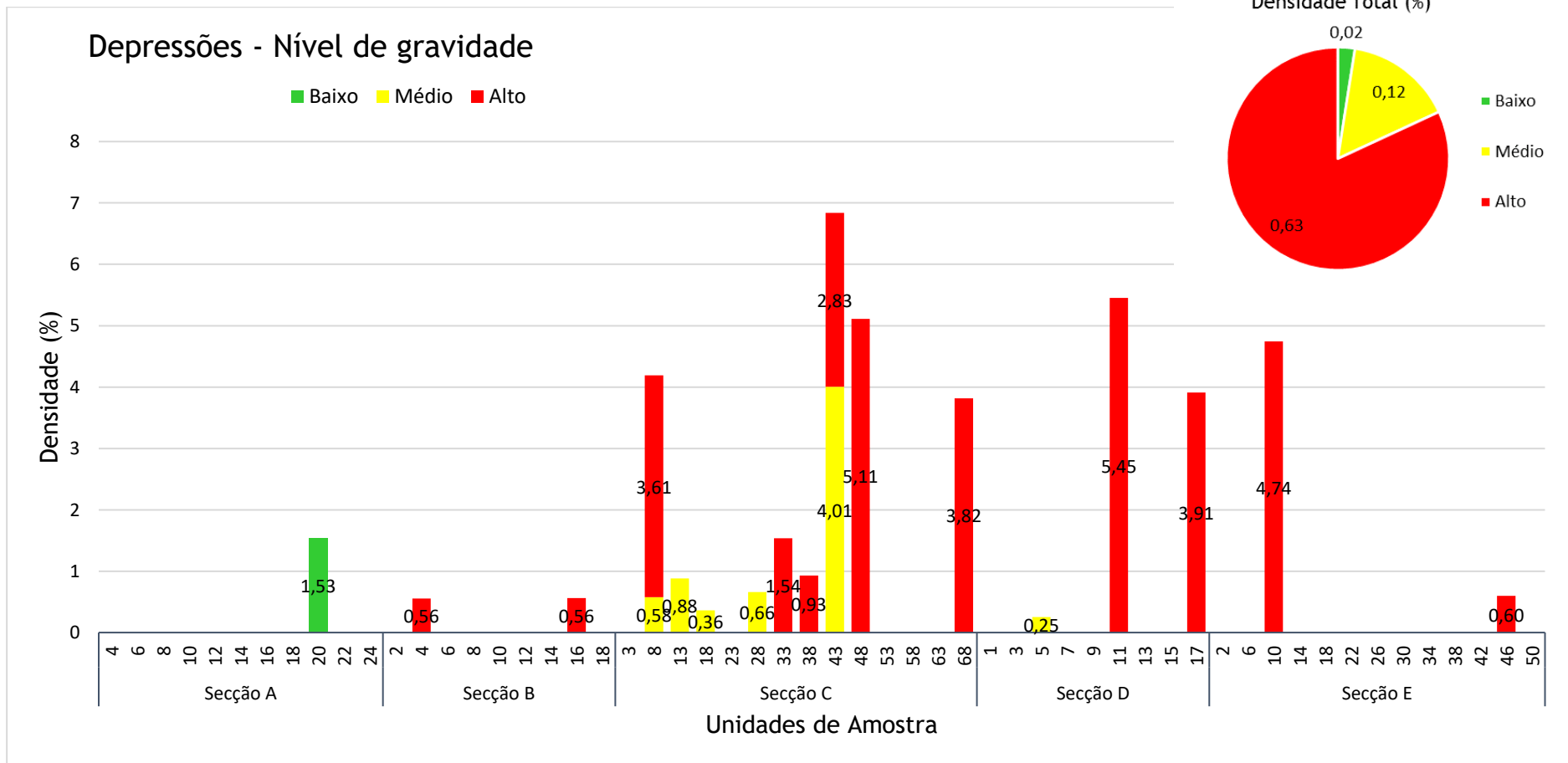


Figura 4.25 - Densidade das depressões, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

4.5.3. Tipo de Intervenção e Níveis de Serviço

Depois de determinados e analisados os valores de PCI para cada secção, foi definido um valor crítico de PCI assim como os limites para os diferentes tipos de manutenção tendo em conta as características do Aeroporto Internacional Aristides Pereira (tipo, dimensão, tipo de infraestrutura (ex.: pista), tipo de pavimento e número e dimensão das aeronaves que operam no aeroporto) e a pesquisa bibliográfica efetuada.

Assim, tendo em conta estes fatores e o carácter internacional do aeroporto, assim como a previsão de crescimento do número de passageiros, e consequentemente do número de aeronaves a operar no aeroporto, os valores de PCI desejável, crítico e mínimo aceitável por secção são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Níveis de Serviço adotados para o AIAP.

Níveis de Serviço	Valor de PCI
Desejável	80
PCI Crítico	70
Mínimo aceitável (secções individuais)	55

O limite adotado para as decisões de M&R (PCI Crítico) foi de 70, este valor é apontado por alguns autores como o valor mínimo aceitável para a zona da pista num aeroporto (MDOT, 2008)(AC 150/5380-7B, 2014), apesar de tratar de um valor elevado, pode justificar-se pelo facto de se tratar de um aeroporto internacional com previsão positiva do crescimento do número de passageiros/aeronaves a operar. Quanto ao valor de PCI definido como limite que separa a necessidade de intervenção ao nível da reabilitação da reconstrução do pavimento, optou-se por um valor mais baixo, de 55 pontos PCI, visto é o valor apontado para o nível de serviço mínimo para secções individuais, e também porque ainda é possível executar trabalhos de manutenção corretiva acima deste valor sem que o seu custo seja exagerado (MDOT, 2008)(Transportation Research Board, 2011).

A Figura 4.26 mostra os intervalos escolhidos para cada tipo de intervenção de M&R, assim como os valores de PCI desejável, crítico e mínimo por secção propostos para suporte ao processo de decisão sobre a necessidade de intervenção nos pavimentos da pista do Aeroporto Internacional Aristides Pereira.

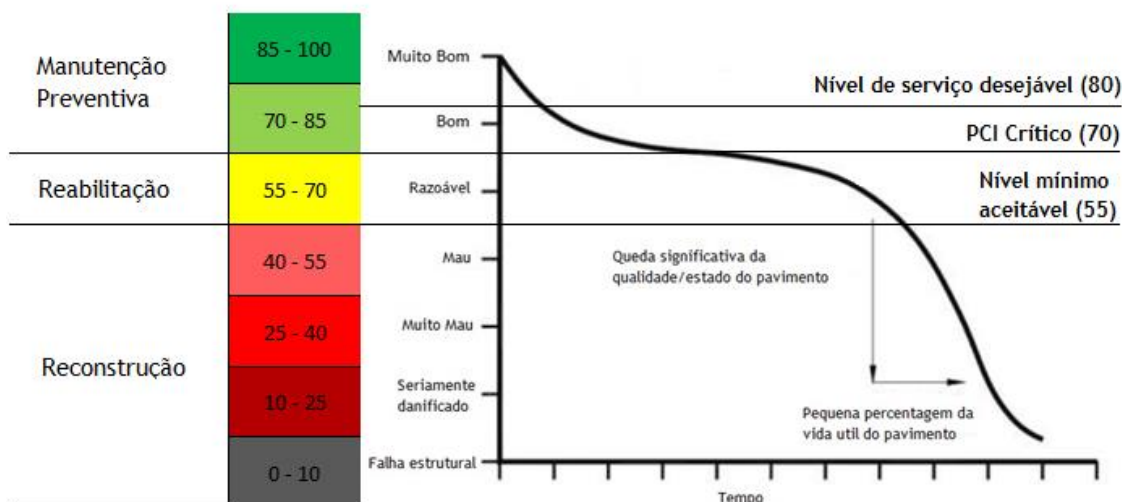


Figura 4.26 - Tipos de intervenção no pavimento e níveis de serviço em função do valor de PCI para a pista AIAP.

Desta forma, através dos valores de PCI é possível determinar o tipo de intervenção que o pavimento da pista do AIAP necessita. Caso uma secção do pavimento apresente um valor de PCI acima do PCI Crítico, é presumível que uma manutenção preventiva seja suficiente para que os pavimentos mantenham um bom estado de conservação. Para secções onde os valores de PCI ficam abaixo do PCI Crítico é necessário verificar se ainda é possível corrigir os problemas com ações de reabilitação ou, se o estado do pavimento aponta para um estado de degradação avançada, para a reconstrução do mesmo.

A seguinte Tabela 4.5 apresenta o tipo de intervenção necessária para as diferentes secções da pista, assim como uma avaliação global do PCI da pista 03-21 do AIAP.

Tabela 4.5 - Tipos de intervenção de M&R consoante o valor de PCI para cada secção e total da pista do AIAP.

Secção	Localização	PCI Secção	Tipo de Intervenção
A	Cabeceira 03	53	Reconstrução
B	Zona central (Noroeste)	52	Reconstrução
C	Zona central	41	Reconstrução
D	Zona central (Sudeste)	66	Reabilitação
E	Cabeceira 21	69	Reabilitação
Total da pista		PCI = 56	Reabilitação

Tendo em conta que os valores de PCI calculados para as secções da pista do AIAP variam entre 41 e 69 pontos e, numa perspetiva global, com um valor do PCI total da pista (média ponderada pela área de todas as secções) de 56, verifica-se que a pista necessita de uma intervenção do tipo reabilitação do pavimento, que inclui medidas como a colocação de camadas de reforço ou a substituição da camada de desgaste, no entanto o valor de PCI da pista encontra-se muito próximo do valor limite para intervenções de reconstrução do pavimento, que é de 55.

Salienta-se que a secção C apresenta um PCI inferior a 55 e que os tipos de degradações presentes no pavimento apontam para problemas ao nível da estrutura e fundação do pavimento, o que remete para a uma intervenção do tipo reconstrução. Deve-se ainda considerar a análise pormenorizada das secções A e B, uma vez que apresentam valores de PCI ligeiramente inferiores ao nível de serviço mínimo individual definido, apontando também para a necessidade da reconstrução do pavimento.

4.5.4. Propostas de tratamentos por degradação

Depois de analisados os valores de PCI obtidos, e determinado o tipo de intervenção necessária para a pista 03-21, foi criado um guia com propostas de reabilitação por tipo de degradação identificada e com maior impacto nas unidades de amostra analisadas. Neste guia de manutenção propõe-se os tipos de trabalho de reparação para os níveis de gravidade de cada degradação (ver Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Atividades de manutenção para as degradações mais significativas identificadas no AIAP.

Degradações	N.G. /Percentagem das UA inspeccionadas	Tipos de atividades de manutenção
Fendas Longitudinais e Transversais	B (6,36%)	
	M (7,02%)	Selagem das fendas
	A (0,82%)	Selagem das fendas
Desagregação Superficial (Agregados e Mastique)	B (Mastique 0,48% /Agregados 1,30%)	Tratamentos Superficiais Rejuvenescedores (Betume)
	M (Mastique 8,51% /Agregados 5,89%)	Tratamentos Superficiais -"Chip Seal Coat" (Betume e agregados)
	A (Mastique 0,32% /Agregados 1,54%)	Tratamento Superficiais - "Microsurfacing" (Betume, água, agregados finos e filler)
Empolamento	B (0,15%)	
	M (1,06%)	Reparação (Superficial)
	A (0,72%)	Reparação (Profunda)

Continuação da Tabela 4.6 - Atividades de manutenção para as degradações mais significativas identificadas no AIAP.

Rodeiras	B (0%)	
	M (0,11%)	Reparação (Profunda)
	A (1,04%)	Reparação (Profunda)
Depressões	B (0,02%)	
	M (0,12%)	Reparação (Profunda)
	A (0,63%)	Reparação (Profunda)

No entanto, tendo em conta que os tipos de intervenção obtidos foram de reabilitação e de reconstrução, e o conjunto alargado de operações individuais que seria necessário efetuar, justifica-se a substituição das camadas superficiais do pavimento e eventualmente o reforço do mesmo, assim como a reconstrução da parte central da pista, coincidente com a pista original do aeroporto, da zona da cabeceira 03 e da entrada para as placas de estacionamento, que correspondem às secções A e B respetivamente.

Para o caso particular da pista em estudo, a presença significativa de degradações cujas causas estão relacionadas com problemas ao nível da fundação do pavimento, como depressões, rodeiras e empolamentos, deve ser considerada na escolha de medidas adicionais que visem colmatar esses problemas (sustentadas num diagnóstico mais rigoroso).

Após a definição da estratégia de conservação, o passo seguinte da aplicação do SGPA é definir o programa de conservação, planeando as intervenções necessárias e a prioridade das mesmas.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho encontra-se estruturado em duas partes essenciais, uma parte teórica e uma parte prática. Na parte teórica são expostos os conceitos necessários para sustentar uma aplicação a um caso de estudo apresentado na parte prática.

Assim sendo, a componente teórica incluiu a exposição de conceitos relacionados com aplicação de Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) e com uma das suas componentes mais importantes, a avaliação do estado dos pavimentos, a partir da qual é possível interpretar o estado de conservação dos pavimentos, e assim estimar as necessidades de intervenção de manutenção e de reabilitação.

Esta parte inclui também um levantamento dos principais tratamentos de conservação, tipos de intervenção de M&R e níveis de serviço considerados no processo de gestão de uma rede de pavimentos flexíveis aeroportuários, incluindo a apresentação de critérios de seleção para cada tipo de intervenção e níveis de serviço, definidos em função dos valores de PCI obtidos para os pavimentos.

Da informação recolhida conclui-se que existem três tipos de intervenção, a manutenção preventiva, a manutenção corretiva (reabilitação) e a reconstrução do pavimento. Quanto aos tratamentos de conservação, verificou-se que, de um modo geral, as atividades de manutenção/reabilitação mais usuais, aplicadas em pavimentos aeroportuários flexíveis, são as seguintes: substituição da camada de desgaste ou colocação de uma camada de reforço, criação de textura no pavimento, reparações do pavimento, aplicação de tratamentos superficiais, selagem de fendas/juntas e reconstrução ou reciclagem do pavimento. Relativamente aos níveis de serviço, são propostos o nível de serviço desejável, o nível de serviço mínimo aceitável ou PCI Crítico, o nível de serviço relacionado com a segurança e ainda os níveis de serviço de desencadeamento.

Quanto aos limites que definem os tipos de intervenção a adotar, a bibliografia consultada aponta para intervalos de valores de 100 a 70 para a manutenção preventiva, de 70 a 55 ou 40 para a reabilitação e valores inferiores a 55-40 para a reconstrução do pavimento TRB (2011) AC 150/5380-7B (2014) MDOT (2008). Para os níveis de serviço são apontados os seguintes valores e critérios: 80 a 75 para o nível de serviço desejável; 70 a 65 para o PCI Crítico das pistas ou até 55 para secções individuais; o nível de serviço relacionado com a segurança é definido em termos de níveis mínimos de fricção para os pavimentos das pistas; e os níveis de serviço de desencadeamento são específicos para determinados tipos de atividades de intervenção.

Relativamente à componente prática em que é efetuada a aplicação dos conhecimentos a um caso de estudo, a pista 03-21 do Aeroporto Internacional Aristides Pereira (Ilha da Boavista - Cabo Verde), os dados recolhidos nas campanhas de inspeção dos pavimentos, realizadas em junho de 2016, permitiram identificar em gabinete o tipo, o nível de gravidade e a extensão das anomalias presentes no pavimento da pista 03-21 do AIAP. As maiores dificuldades sentidas na fase de tratamento dos dados foram:

- A qualidade das imagens captadas durante o levantamento não permitiu efetuar em gabinete uma distinção e uma avaliação clara do nível de gravidade das degradações do tipo desagregação superficial do agregado e desagregação superficial do masticue. Para uma adequada identificação e avaliação do nível de gravidade destes dois tipos de degradações, a perceção da rugosidade, da textura da superfície do pavimento e da profundidade da degradação são requisitos essenciais. A resolução espacial das imagens não permitiu identificar com o grau de rigor necessário estas características, pelo que uma deslocação ao local, para calibração da leitura das imagens seria desejável. Essa deslocação para calibração não foi possível, pelo que se optou por rever com cuidado esses dados e consultar um técnico de manutenção envolvido no levantamento dos dados.
- A distorção das imagens devido ao posicionamento da câmara no veículo usado na inspeção provocou alterações na tonalidade o que dificultou a identificação de degradações, como por exemplo, a erosão do “jet-blast”. A distorção provocou também alterações no posicionamento de algumas marcações no pavimento o que exigiu uma maior atenção na identificação da extensão e posicionamento das degradações.
- A utilização do feixe laser longitudinal não permitiu a identificação em boas condições das degradações do tipo ondulação, uma vez que seria desejável um alcance longitudinal maior da projeção do feixe para esse efeito.

Após o tratamento dos dados de georreferenciação e de imagem num projeto SIG, procedeu-se ao cálculo do PCI para as unidades de amostra selecionadas (56 unidades de amostra), tendo-se verificado que apresentam valores de PCI que se distribuem ao longo de todos os intervalos da classificação PCI (valores obtidos entre 6 a 95 pontos PCI). Contudo, a maioria das unidades de amostra apresentam valores correspondentes aos intervalos de Mau (9 unidades de amostra), Razoável (16 unidades de amostra) e Satisfatório (13 unidades de amostra), traduzindo-se em 3 secções com PCI compreendido entre 41 e 53 pontos (Mau), correspondentes à cabeceira 03, parte central da pista (pista original) e acesso às placas de estacionamento; e duas secções com PCI de 66 e 69 pontos (Razoável), referentes à expansão transversal direita da pista e à cabeceira 21 (menos usadas pelas aeronaves). Assim, a análise destes resultados permite concluir que a pista do AIAP se encontra num estado significativo de deterioração, apresentando um PCI da pista de 56 pontos (perto do limite inferior da classificação Razoável).

Da análise das anomalias observadas e respetiva densidade, identificou-se várias degradações debilitantes que traduzem um estado avançado de degradação do pavimento, apontando para problemas ao nível da estrutura do pavimento e da fundação, nomeadamente, a presença de fendas longitudinais e transversais a desagregação superficial dos agregados e do masticue, empolamentos, rodeiras e depressões. Estas degradações apresentam, de uma forma geral, densidade significativa nas secções A, B e C.

Quanto à utilização dos valores de PCI para definição do tipo de intervenção e verificação de níveis de serviço, foram definidos limites de intervenção e níveis de serviço para a pista do AIAP com base na bibliografia consultada e nas características específicas do aeroporto. Para definição do tipo de intervenção foram adotados os valores de 100 a 70 para a manutenção preventiva, de 70 a 55 para a manutenção corretiva (reabilitação) e para a reconstrução de 55 até 0. Para os níveis de serviço os valores adotados para a pista do AIAP foram de 80 para um nível serviço desejável, 70 para o valor de PCI Crítico e de 55 para o nível mínimo aceitável para secções individuais.

Assim, concluiu-se que as medidas necessárias para recuperar o estado do pavimento da pista do AIAP enquadram-se em intervenções do tipo reabilitação, visto que o valor de PCI total da pista 03-21 é de 56 pontos. As atividades de manutenção adequadas poderão passar pela colocação de camadas de reforço, pela substituição da camada de desgaste e/ou pela realização de reparações localizadas profundas. No entanto, a proximidade deste valor ao limite definido para uma intervenção do tipo reconstrução requer uma análise mais cuidada dos valores de PCI obtidos por secção, tendo-se verificado que três das cinco secções do pavimento (A, B e C) se encontram num estado avançado de deterioração, o que implica a reconstrução do pavimento.

Desta forma, numa perspetiva global, justifica-se a substituição das camadas superficiais do pavimento e eventualmente o reforço do mesmo nas secções D e E, assim como a reconstrução da parte central da pista (zona mais degradada do pavimento correspondendo à secção C) e das secções A e B. A presença significativa de degradações cujas causas estão relacionadas com problemas ao nível da fundação do pavimento deve ainda ser tida em conta na escolha de medidas adicionais que visem colmatar este tipo de problemas (como o melhoramento da parte superior da fundação ou o tratamento da sub-base com ligantes hidráulicos).

Como trabalhos futuros apontam-se os seguintes desenvolvimentos:

- Melhoria do protótipo utilizado no levantamento do estado do pavimento, com o objetivo de colmatar as dificuldades identificadas;

- Aplicação do método de avaliação da qualidade dos pavimentos (ASTM D 5340-12) a caminhos de circulação e a placas de estacionamento (avaliação do PCI para pavimentos rígidos);
- Aprofundamento da análise de estratégias de conservação através do desenvolvimento de uma componente de orçamentação e definição do programa de conservação. O desenvolvimento destes aspetos permitirá concluir a definição de um SGPA adaptado ao conjunto de infraestruturas aeroportuárias de Cabo Verde.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AC 150/5380-6B. (2007). Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements. *U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA), U.S.A.*

AC 150/5380-6C. (2014). Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements. *U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA), U.S.A.*

AC 150/5380-7B. (2014). Airport Pavement Design and Evaluation (PMP). *U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA), U.S.A.*

ANAC. (2015). Glossário da Aviação Civil. *Autoridade Nacional de Aviação Civil, Lisboa, Portugal.*

ASTM D5340-12. (2012). Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. *American Society for Testing Materials, U.S.A.*

Decker, C. S. (2017). Standards for Specifying Maintenance of Airport Pavements - 5380-6. *FAA Western Pacific Region(AWP), Federal Aviation Administration, U.S.A.*

FDOT. (2008). Common Airport Pavement Maintenance Practices. *Florida Department of Transportation - Aviation Office, Florida, U.S.A.*

Fernades, C. (2010). Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários - Caracterização e Aplicabilidade. *Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.*

ICAO. (2009). Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation - Aerodromes. *Aerodrome Design and Operations, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, I.*

Lima, D. (2016). Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários para Cabo Verde. *Departamento Engenharia Civil E Arquitetura, Universidade Da Beira Interior.*

Maganinho, L. (2013). Desenvolvimento de uma base de dados de patologias para a avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários com recurso a GPS , imagem vídeo e SIG. *Departamento de Engenharia Civil E Arquitectura, Universidade de Beira Interior.*

MDOT. (2008). STATEWIDE PAVEMENT MANAGEMENT REPORT- PHASE ONE AND TWO AIRPORTS. *Michigan Department of Transportation, Bureau of Aeronautics and Freight Services - Airports Division, Michigan, U.S.A.*

Silva, A. (2013). Sistema de Gestão de Segurança Operacional nos Aeroportos de Cabo Verde: Implementação da Fase II - Gestão de Risco. *Departamento de Engenharia Aeronáutica,*

Universidade Da Beira Interior.

Transportation Research Board. (2011). Common Airport Pavement Maintenance Practices. *Airport Cooperative Research Program, TRB, Federal Aviation Administration, Washington D.C., U.S.A.*

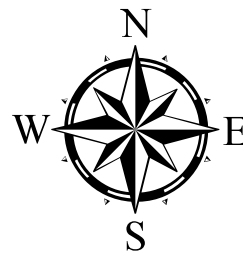
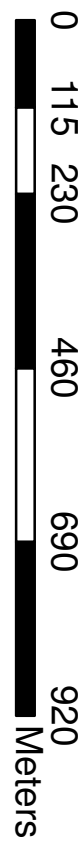
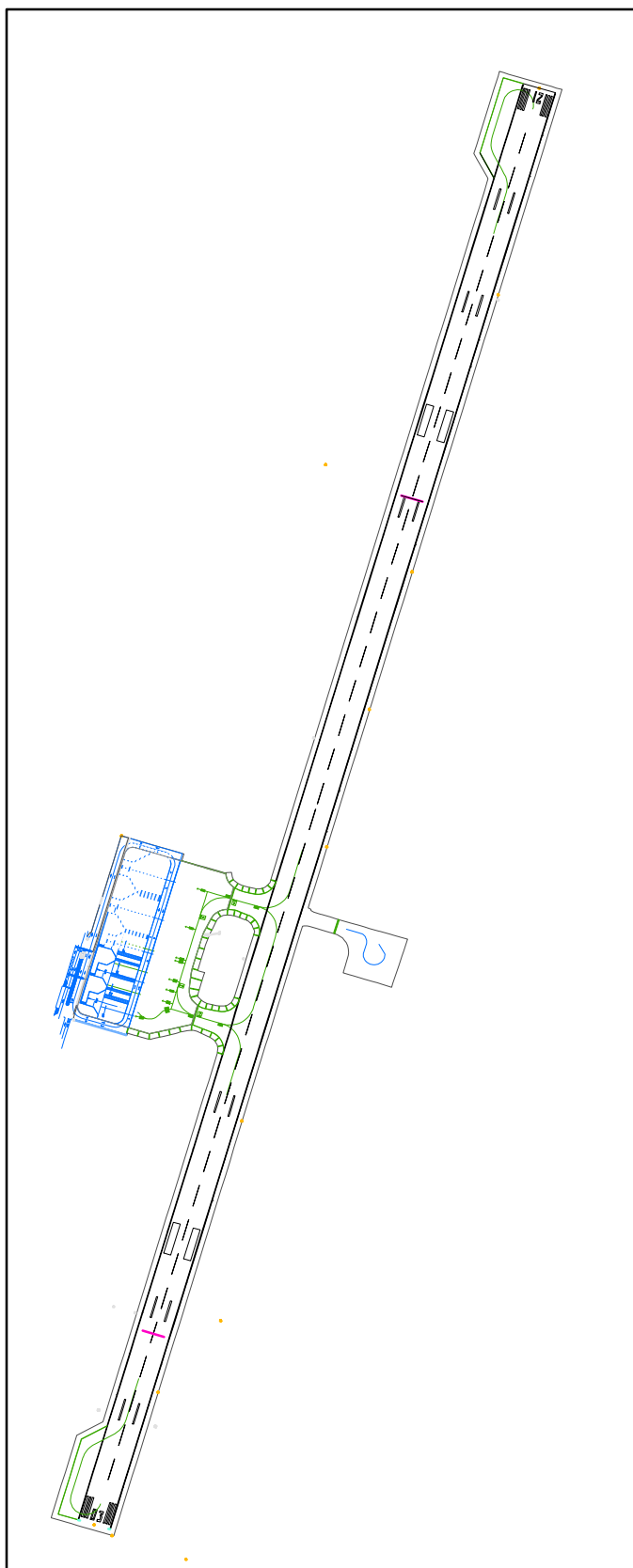
UFC 3-270-06. (2001). PAVER ASPHALT SURFACED AIRFIELDS PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI). *Unified Facilities Criteria (UFC), Department of Defense, U.S.A.*

US Army Corps of Engineers. (2009). ASPHALT SURFACED AIRFIELDS: PAVER™ DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL. *Tyndall Air Force Base, Florida, U.S.A.*

7. ANEXOS

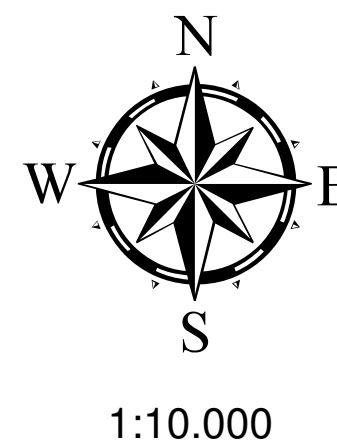
- I. Planta “Lado Ar” do Aeroporto Internacional Aristides Pereira
- II. Segmentação da rede de pavimentos do Aeroporto Internacional Aristides Pereira
- III. Localização das unidades de amostra inspecionadas
- IV. Representação PCI das unidades de amostra inspecionadas.
- V. Representação gráfica do PCI para cada secção do AIAP.
- VI. Densidade das degradações superficiais identificadas nas unidades de amostra inspecionadas.

Anexo I - Planta "Lado Ar" do AIAP






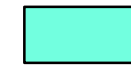



1:10.000

Anexo II - Segmentação do Aeroporto Internacional Aristides Pereira

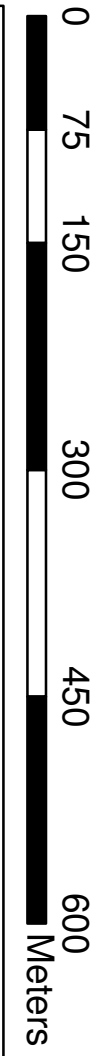
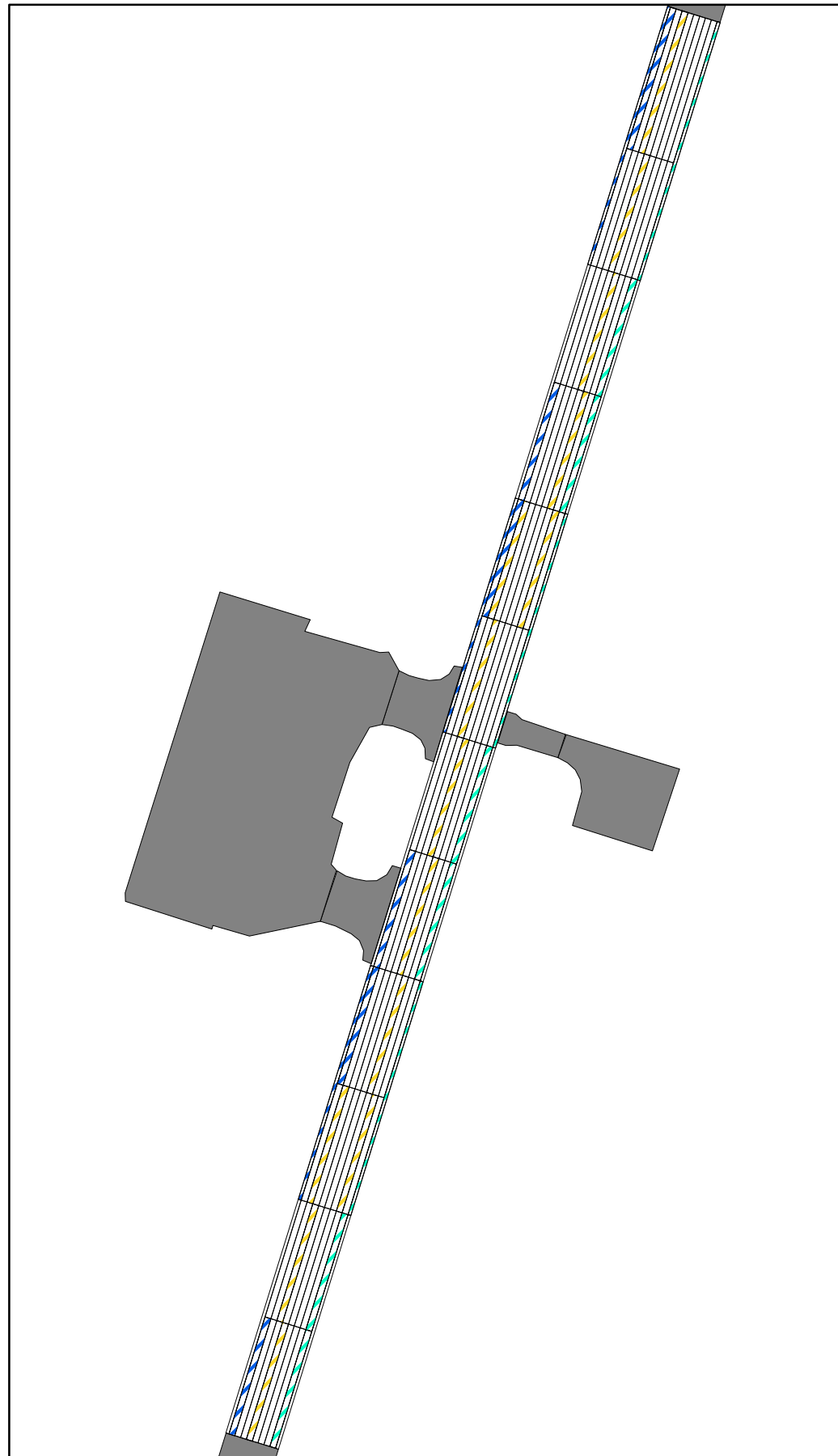
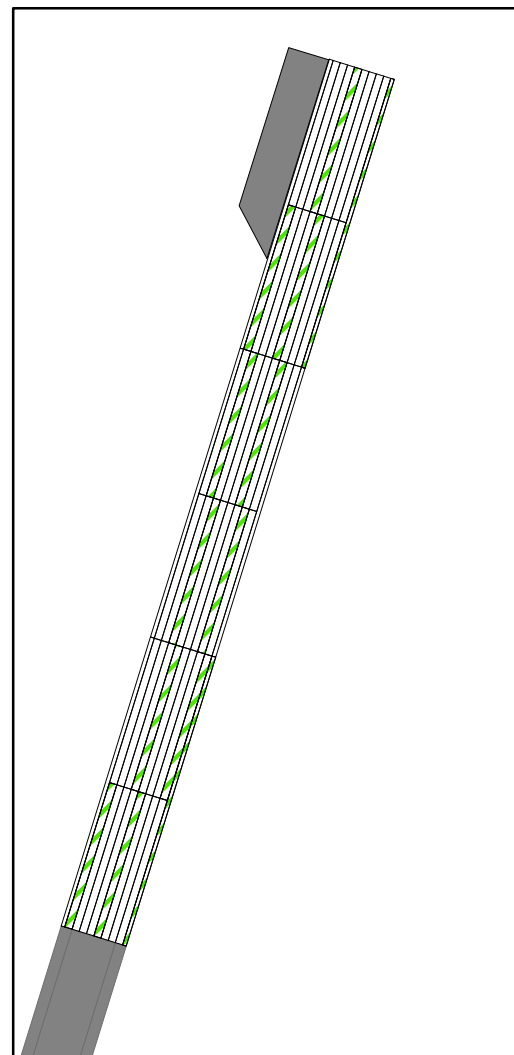
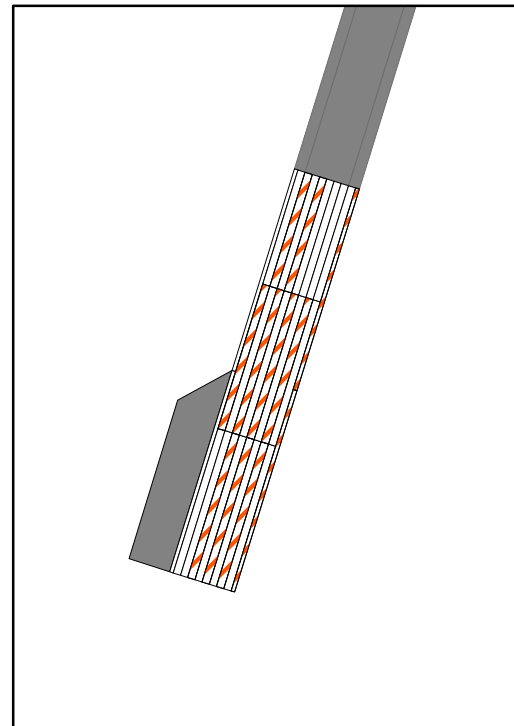


0
155
310
620
930
1.240
Meters

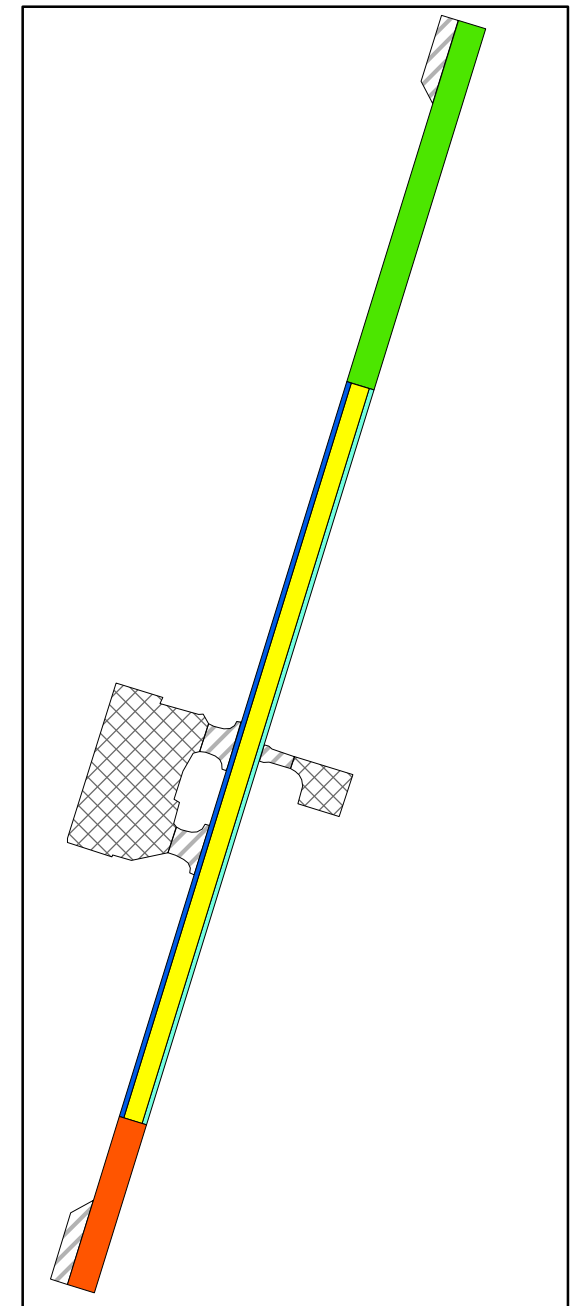
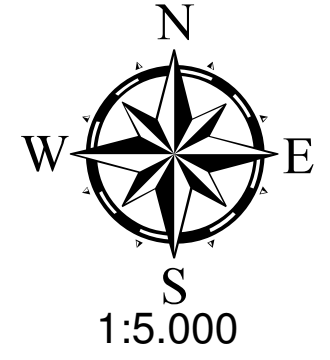
Legenda:

-  SECÇÃO A - BVCR03SA
-  SECÇÃO B - BVCR03SB
-  SECÇÃO C - BVCR03SC
-  SECÇÃO D - BVCR03SD
-  SECÇÃO E - BVCR03SE
-  Taxiways
-  Apron

Anexo III - Unidades de amostra inspecionadas



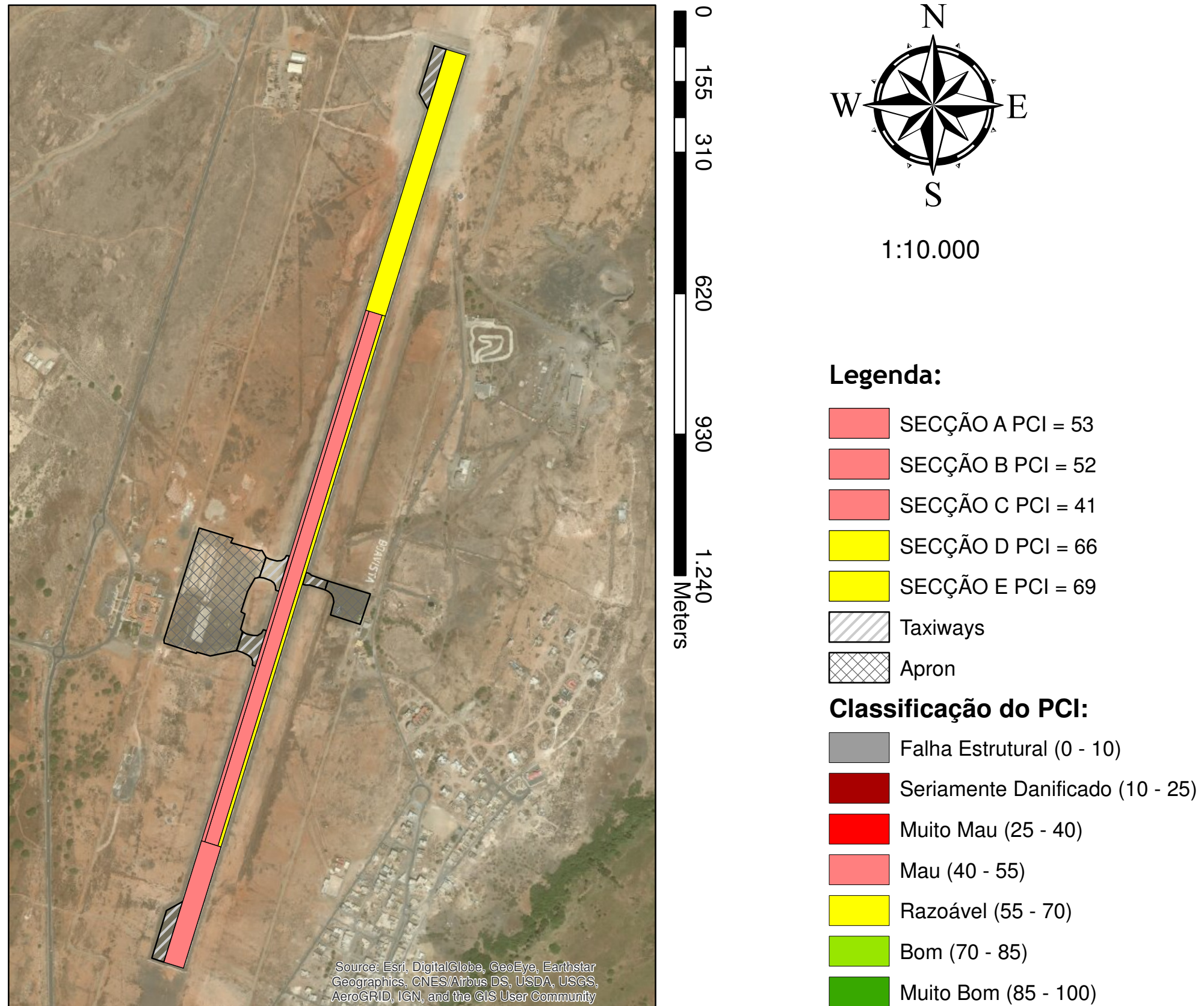
- Legenda:**
- U.A. Secção A**  SECÇÃO A
 -  U.A. Secção A  SECÇÃO B
 - U.A. Secção B**  U.A. Secção B  SECÇÃO C
 - U.A. Secção C**  U.A. Secção C  SECÇÃO D
 - U.A. Secção D**  U.A. Secção D  SECÇÃO E
 - U.A. Secção E**  U.A. Secção E  Apron
 -  Taxiways



Anexo IV - Representação PCI das unidades de amostra inspecionadas



Anexo V - Representação gráfica do PCI para cada secção do AIAP



Anexo VI - Densidade das degradações superficiais identificadas nas unidades de amostra inspecionadas.

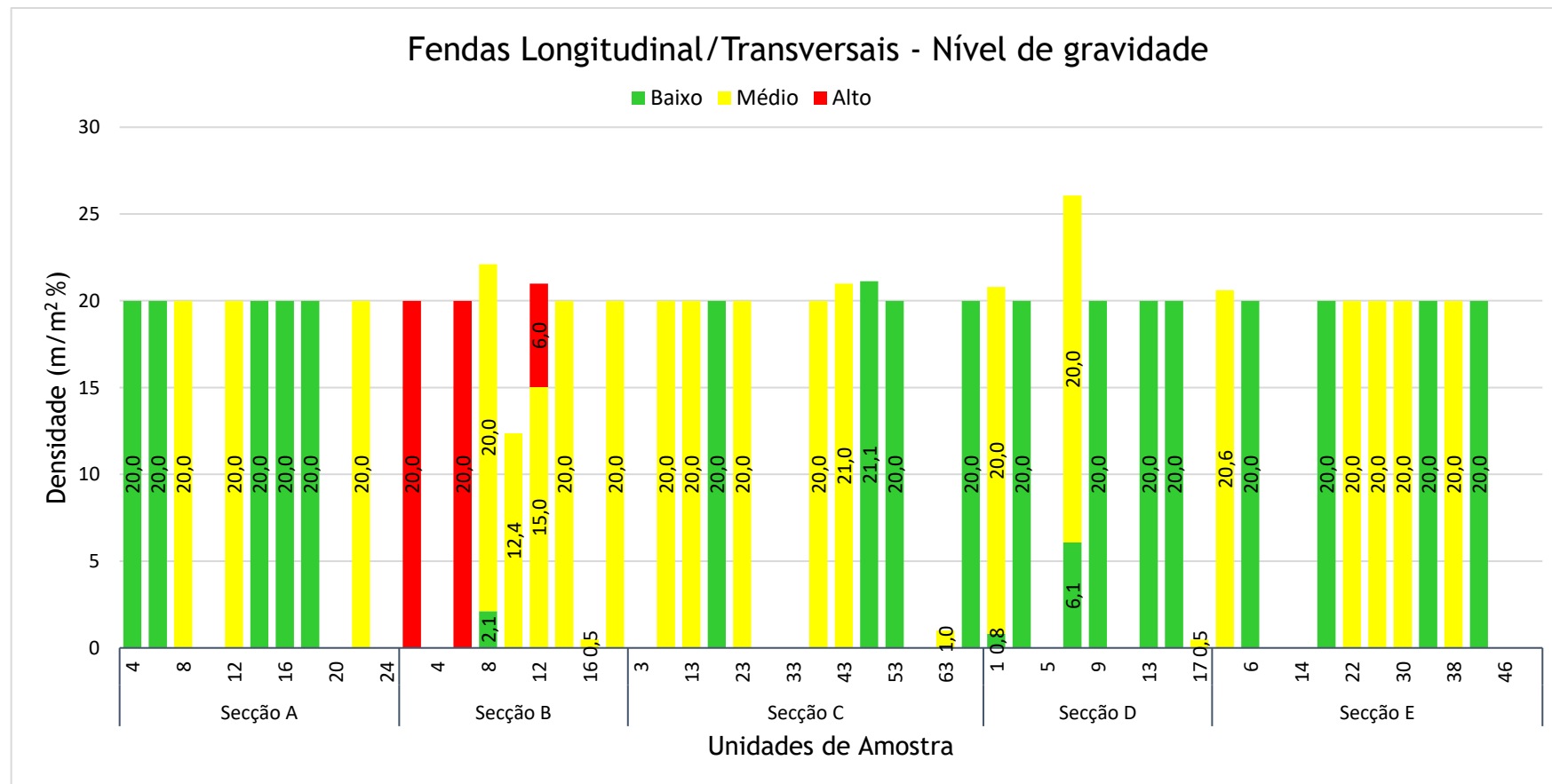


Figura VI.1 - Densidade das fendas longitudinais e transversais, por unidades de amostra inspecionadas e para o total da área da pista analisada.

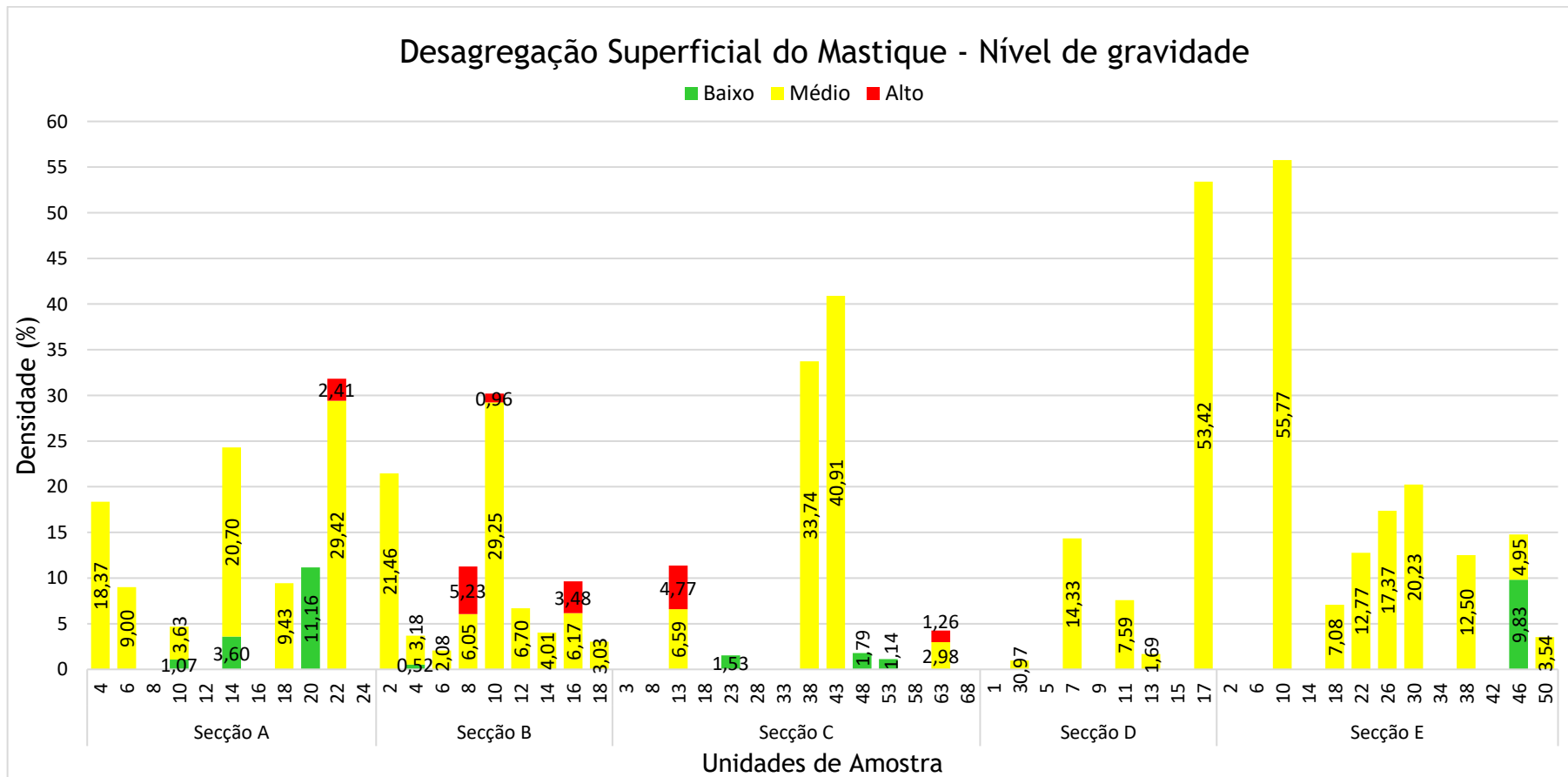


Figura VI.2 - Densidade da desagregação superficial do mastique, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

Desagregação Superficial dos Agregados - Nível de gravidade

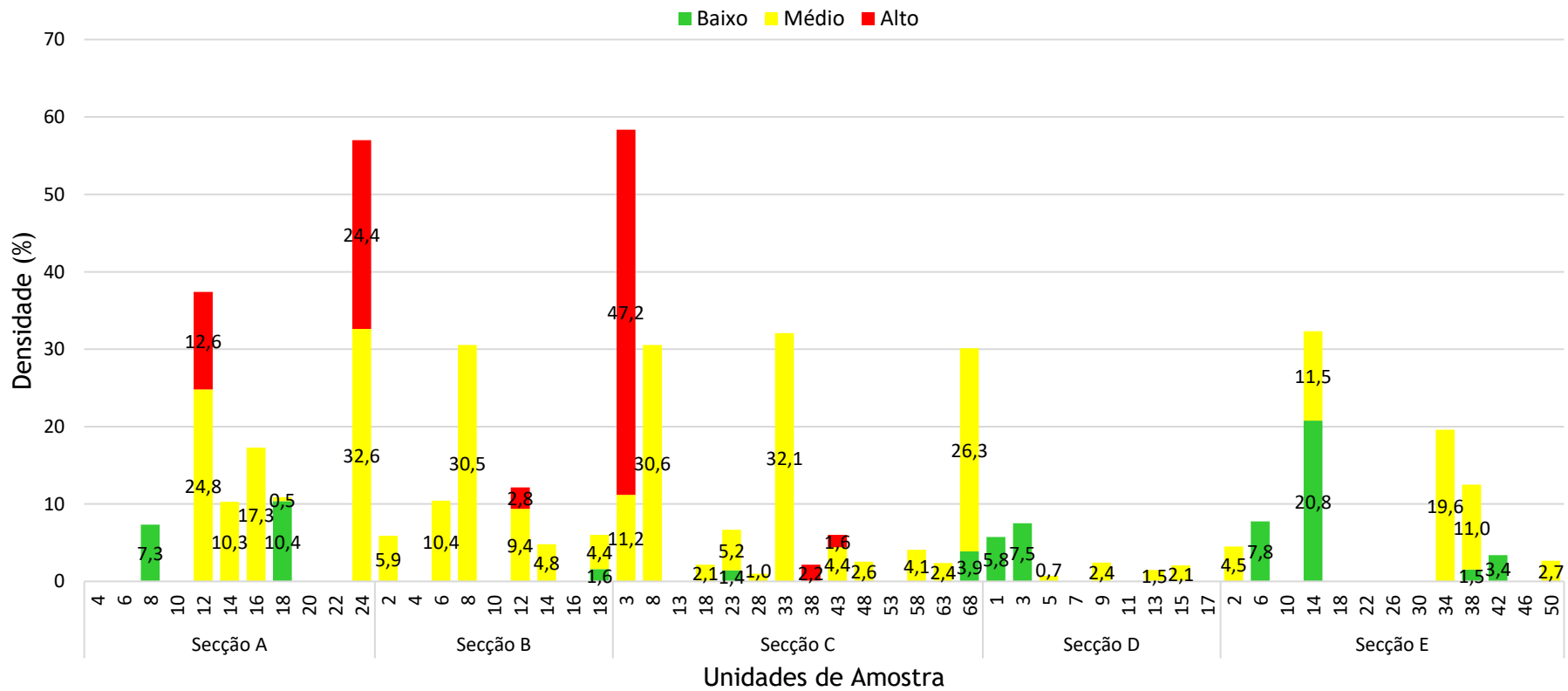


Figura VI.3 - Densidade da desagregação superficial dos agregados, por unidades de amostra inspecionadas e para o total da área da pista analisada.

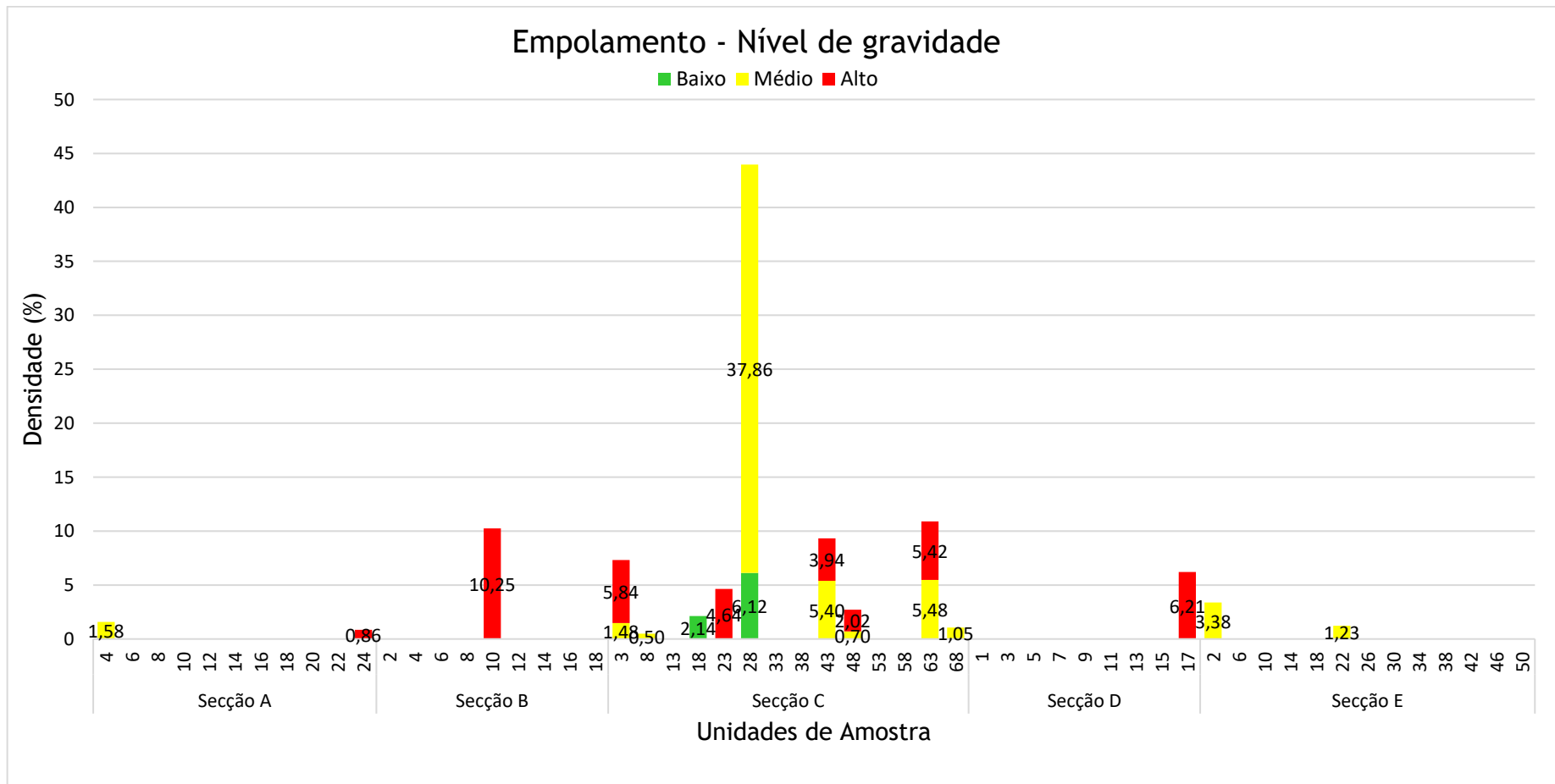


Figura VI.4 - Densidade do empolamento, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

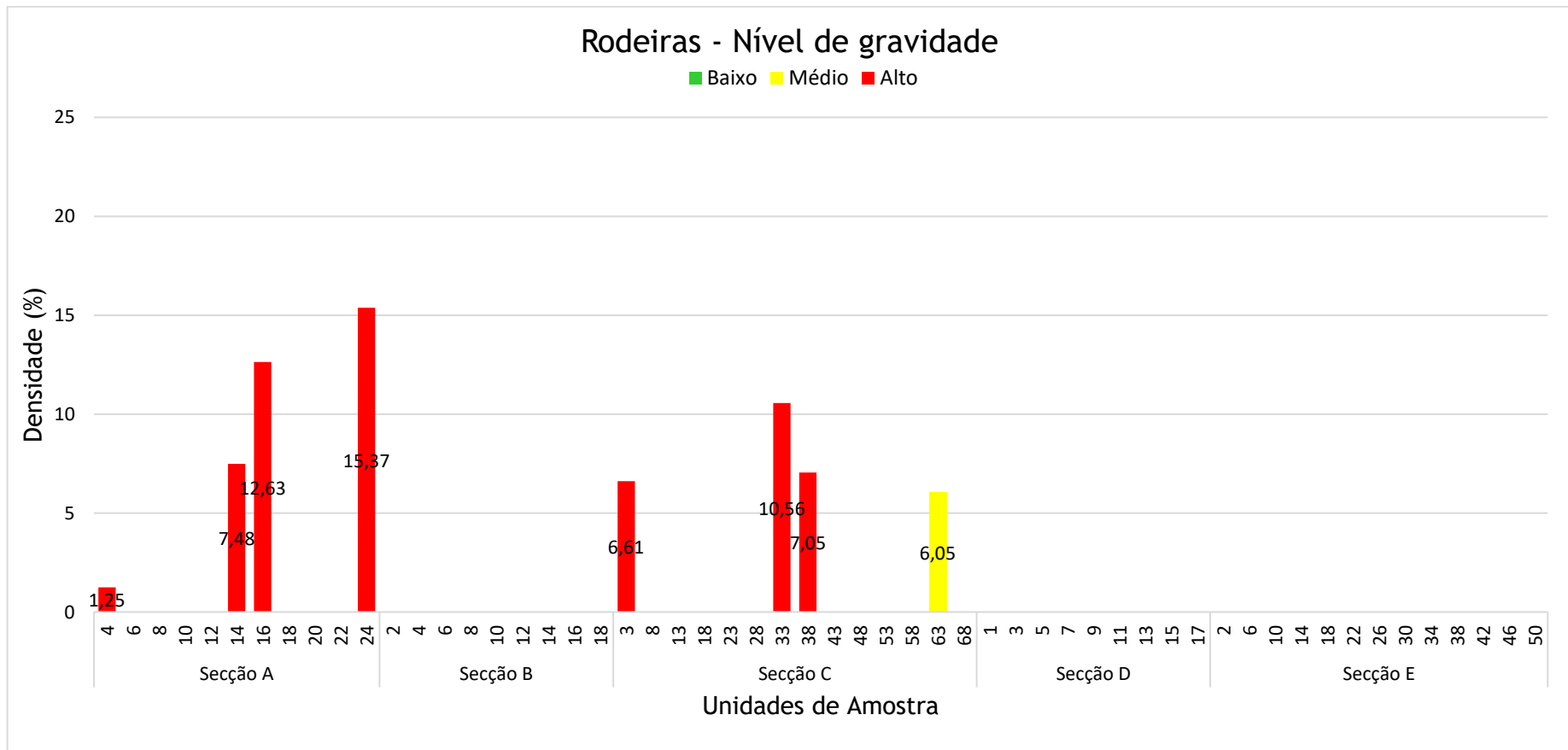


Figura VI.5 - Densidade das rodeiras, por unidades de amostra inspecionadas e para o total da área da pista analisada.

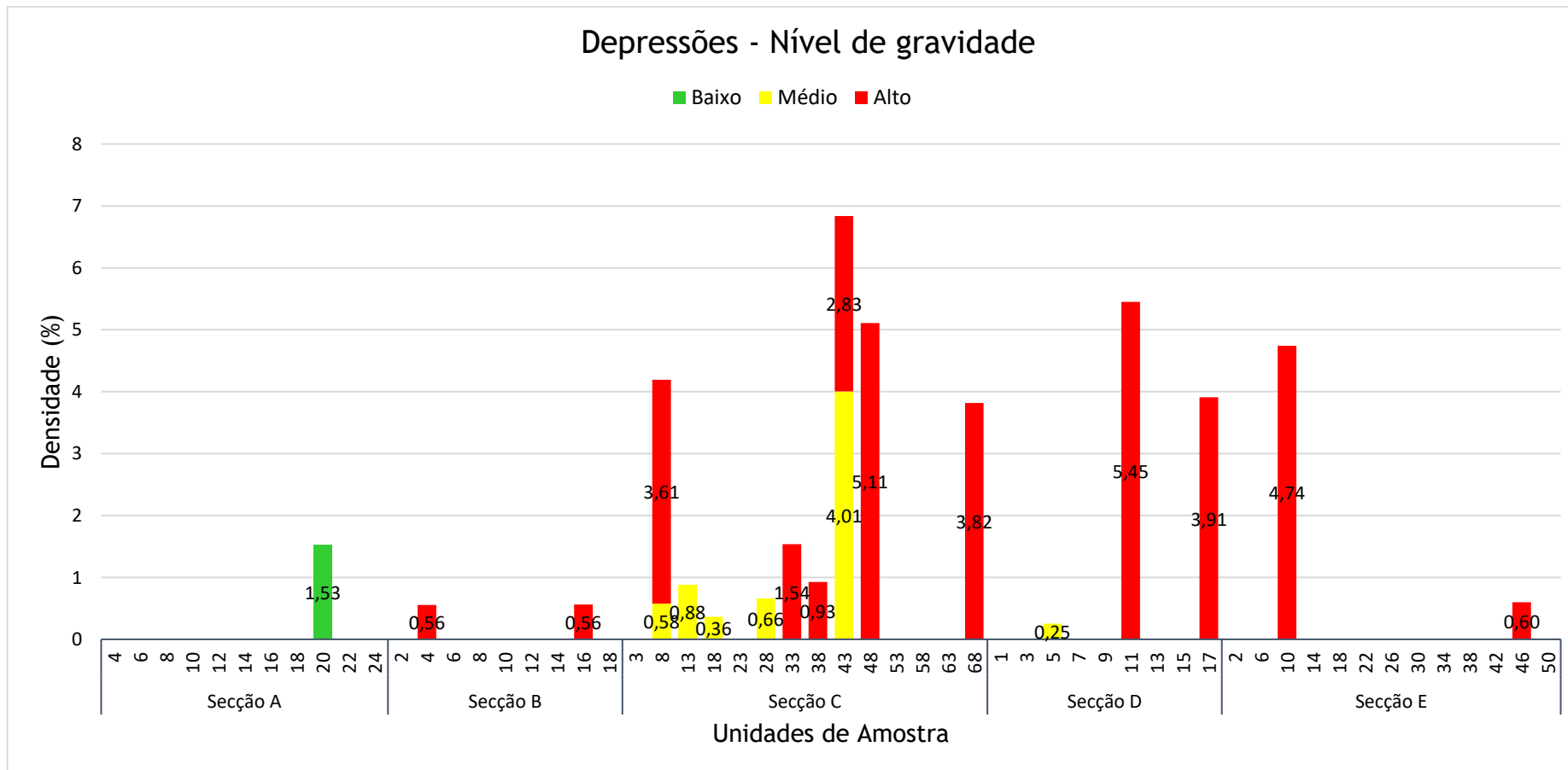


Figura VI.6 - Densidade das depressões, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

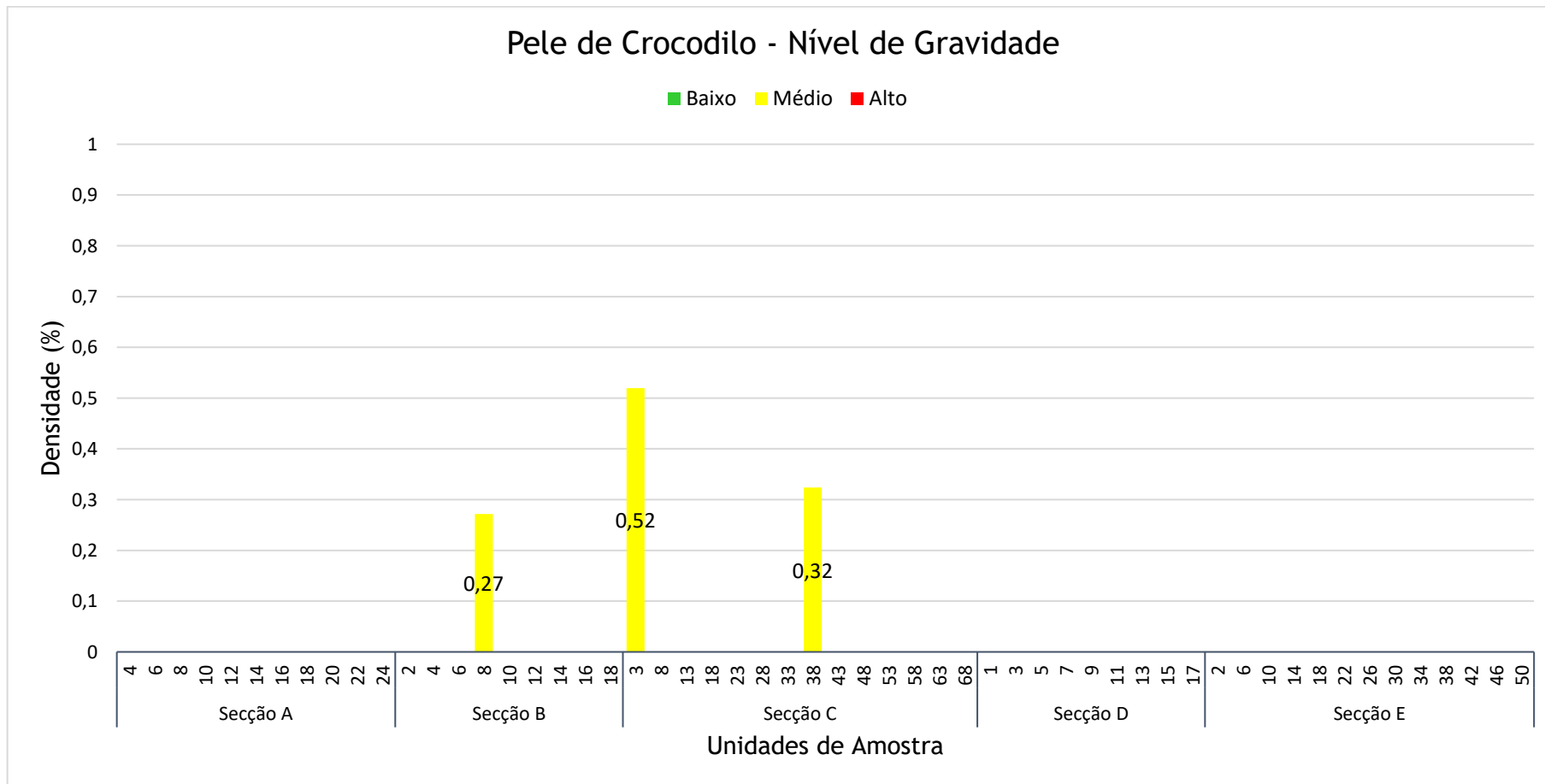


Figura VI.7 - Densidade da pele de crocodilo, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

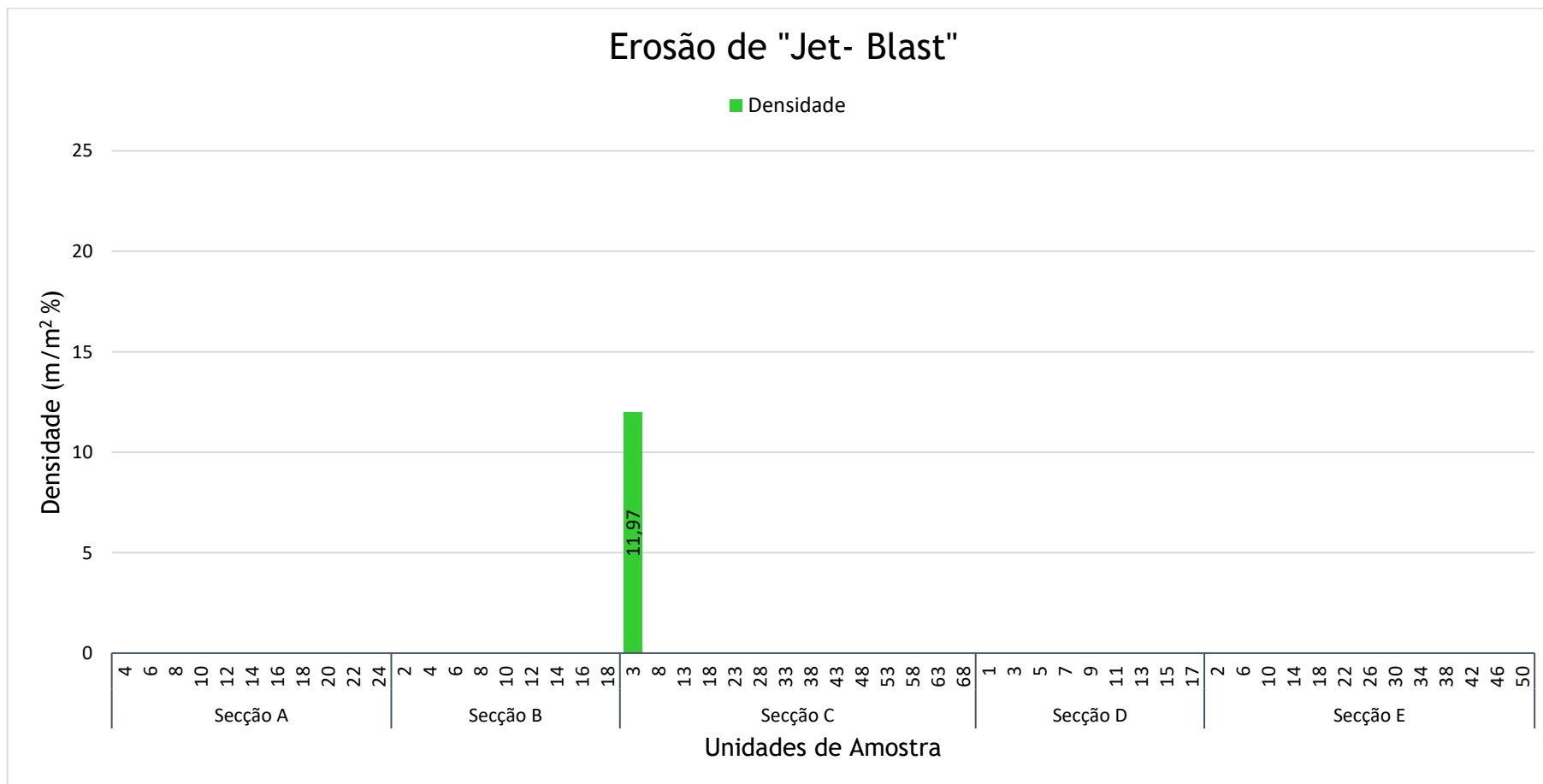


Figura VI.8 - Densidade da erosão do "jet-blast", por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

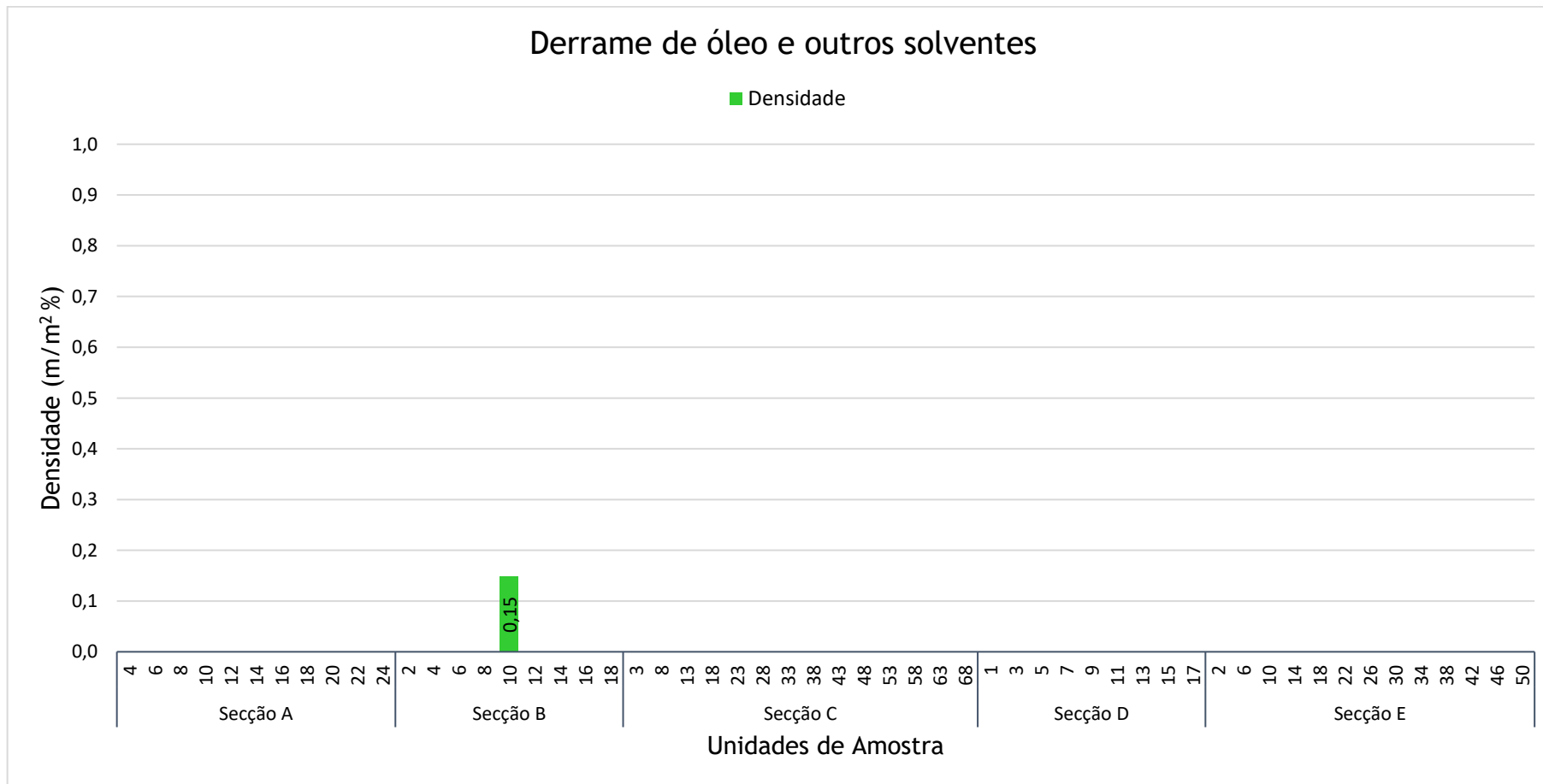


Figura VI.9 - Densidade do derrame de óleo e outros solventes, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.

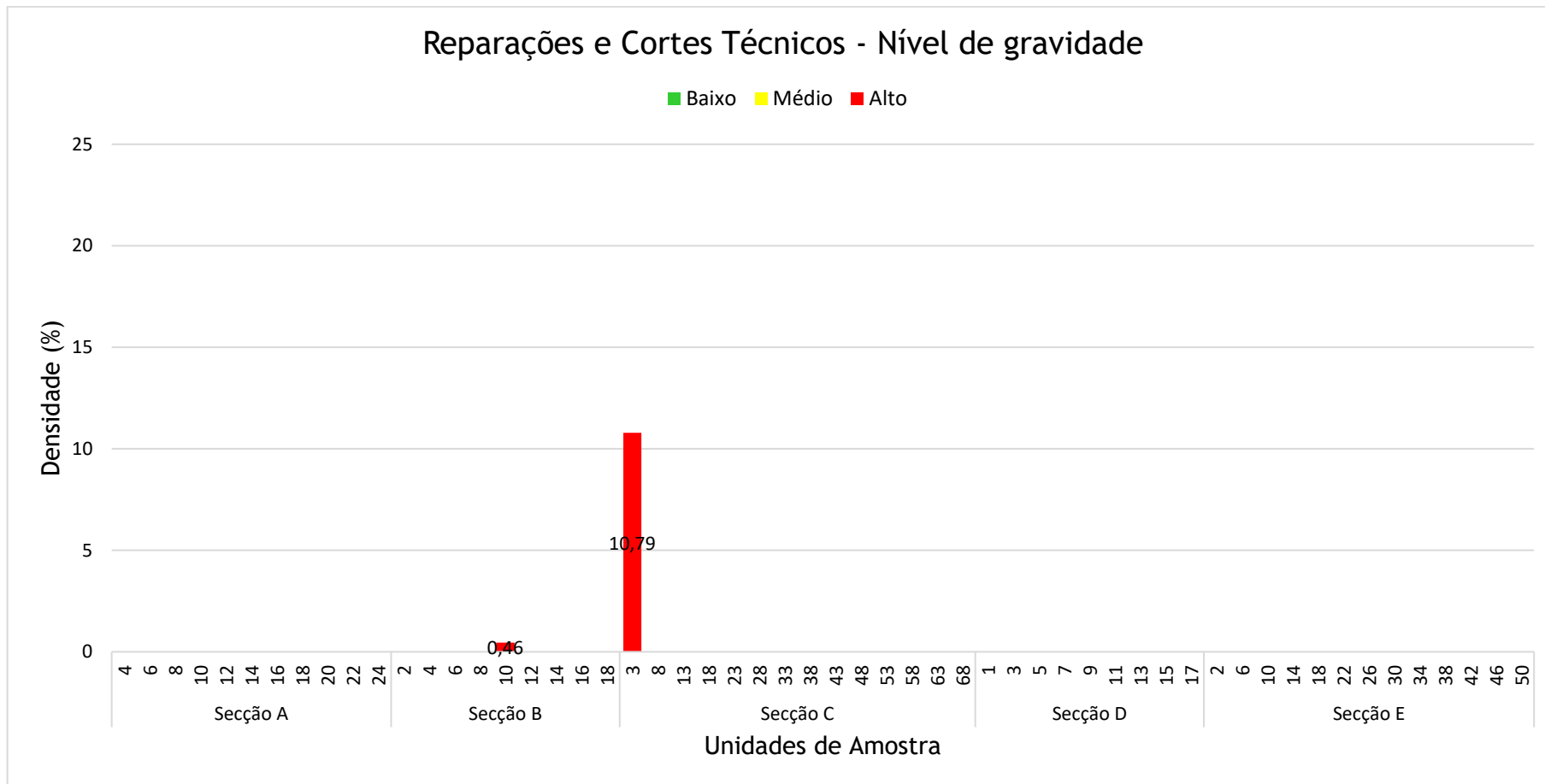


Figura VI.10 - Densidade das reparações e cortes técnicos, por unidades de amostra inspecionadas e para o total da área da pista analisada.



Figura VI.11 - Densidade do polimento de agregados, por unidades de amostra inspeccionadas e para o total da área da pista analisada.